

# **De mes yeux à tes mains : Etude différentielle du statut visuel**

**Par France RICHARD**

Thèse de doctorat en psychologie

*Mention psychologie cognitive*

Dirigée par Serge PORTALIER

Présentée et soutenue publiquement le 15 juillet 2002

Devant un jury composé de : Serge PORTALIER, professeur de l'université Lyon 2 Christian LORENZI,  
Professeur à l'Université Paris 5 René PRY, Professeur à l'Université Montpellier 3 François  
VITAL-DURAND, Directeur de Recherches à l'Inserm Lyon et Directeur d'Etudes à l'Ecole pratique  
des hautes études de Lyon (EPHE)



# Table des matières

..	1
<b>Remerciements . .</b>	<b>3</b>
<b>Résumé .</b>	<b>5</b>
<b>Mots clefs .</b>	<b>7</b>
<b>Introduction . .</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre 1 : le toucher : anatomie et physiologie. .</b>	<b>11</b>
1- L'organe du toucher : la peau. .	12
2- Les recepteurs .	14
2-1 Les types de recepteurs .	17
3- La surface palmaire de la main . .	18
3-1 La substitution sensorielle . .	19
4- Les voies de traitement . .	20
4-1 La plasticité cérébrale .	22
5- En résumé . .	24
6- Du système épaule-bras au mouvement .	26
6-1 La vitesse de déplacement .	27
6-2 Le type de mouvement .	27
<b>Chapitre 2 : le traitement perceptif des objets. .</b>	<b>29</b>
1- La propriété de forme .	29
2- La propriété de longueur . .	30
3- La propriété d'orientation .	31
4- Les propriétés de contour et de surface .	32
4-1 Le traitement du contour et de la surface à partir de la perception d'une scène visuelle . .	32
<b>Chapitre 3 : des activites mentales aux differences individuelles. .</b>	<b>41</b>
1- L'architecture cognitive . .	41

2- Les représentations .	42
3- Fonctions des activités mentales .	43
4- La notion d'apprentissage . .	45
4-1 Définition .	45
4-2 Les types d'apprentissage . .	46
5- De l'apprentissage à la modélisation de la structure psychique . .	48
5-1 Défectologie et vicariance .	49
5-2 Le modèle de la vicariance .	50
6- Le traitement des informations .	51
6-1 La prise de référentiel .	51
6-2 Le point de vue de Klatzky et Lederman (1987) .	55
6-3 La notion de trace .	57
6-4 Les relations intermodalitaires . .	61
<b>Chapitre 4 : l'exploration haptique. .</b>	<b>65</b>
1- Les propriétés des objets .	66
1-1 Les propriétés matérielles .	66
1-2 Les propriétés géométriques . .	66
1-3 Les propriétés hybrides . .	66
1-4 Les propriétés fonctionnelles . .	66
2- Les procédés d'exploration à la recherche des propriétés .	66
2-1 Les procédures exploratoires .	67
2-2- Les procédés d'exploration décrits par Klatzky et Lederman (1987) .	70
3- La boucle sélection-extraction des EP (Klatzky et Lederman, 1993) .	79
3-1 Compatibilité des procédures exploratoires .	80
4- Les activités cognitives impliquées dans la résolution d'une tâche haptique .	84
5- Le modèle de la macrostructure de Klatzky et Lederman (1993) . .	86
5-1 Le composant sensori-moteur . .	87
5-2 Le composant des procédures exploratoires . .	88
5-3 Liens entre procédures exploratoires .	89



5-4 Le composant de propriété .	90
5-5 Liens entre propriétés .	91
5-6 Liens entre procédures exploratoires et propriétés . .	91
5-7 Le composant d'objet .	91
5-8 Liens entre objets et valeurs de propriétés .	91
5-9 Liens objet à objet .	92
5-10 Liens entre objet et propriété . .	92
<b>Chapitre 5 : conclusion, objectifs et materiel experimentaux. . .</b>	<b>95</b>
Conclusion et objectifs expérimentaux .	95
Le matériel et les consignes expérimentales. . .	97
1- Le but de la tâche .	98
2- Le matériel . .	98
3- Construction des figures .	99
4- Organisation des séances . .	100
5- Procédure .	100
6- Les épreuves . .	101
7- L'entraînement haptique .	101
8- L'entraînement auditif .	102
9- Consigne .	102
10- Les aveugles .	103
<b>Chapitre 6 : les performances generales. . .</b>	<b>105</b>
1- Les performances . .	106
1-1 Les voyants .	106
1-2 Incidence du statut visuel .	113
2- Le type d'erreurs . .	120
2-1 Les voyants .	120
2-2 Le statut visuel : . .	124
3- Les séances d'entraînement . .	128
3-1 Le nombre de bonnes réponses .	129

3-2 Les amplitudes d'erreurs . .	130
3-3 Discussion . .	131
3-4 Le passage aux hexagones . .	131
3-5-Les amplitudes d'erreurs . .	133
3-6 Discussion . .	134
<b>Chapitre 7 : du statut visuel au statut haptique. .</b>	<b>137</b>
La difficulté des items .	137
1- L'écart minimal entre la cible et un distracteur .	138
1-1 Les voyants .	138
1-2 Le statut visuel . .	144
2 L'influence de la ressemblance entre les distracteurs. .	151
2-1 Les voyants .	151
2-2 Le statut visuel . .	158
3 La position de la cible . .	165
3-1 Les voyants .	165
3-2 Le statut visuel . .	170
4- L'influence de la figure .	174
4-1 Les voyants .	175
4-2 Le statut visuel . .	183
<b>Chapitre 8 : les procedes d'exploration haptique. .</b>	<b>193</b>
1- Le codage des procédés . .	194
1-1 L'enveloppement (E) .	194
1-2 Le suivi de contour (SC) .	195
1-3 La métrique 1 (M1) .	195
1-4 La métrique 2 (M2) .	195
1-5 La métrique 3 (M3) .	195
2-Les procédés d'exploration haptique . .	195
2-1 Résultats attendus . .	195
2-2 Nombre d'exploration des figures .	197

2-3 Nombre d'exploration du modèle . .	198
2-4 Le nombre de doigts d'exploration .	199
2-5 Les procédés d'exploration haptique . .	200
2-6 Les procédés d'exploration en fonction des figures .	208
<b>Chapitre 9 : l'incidence de la main d'exploration. . .</b>	<b>217</b>
1- Sujets .	218
2- Le nombre de bonnes réponses . .	218
3- Les amplitudes d'erreurs . .	219
4- Les hexagones .	220
4-1 Le nombre de bonnes réponses .	220
4-2 Les amplitudes d'erreurs . .	221
4-3 Discussion . .	221
5- Les procédés d'exploration haptique .	222
<b>Conclusion et perspectives de recherche. .</b>	<b>225</b>
Principaux résultats . .	227
Les performances .	227
L'incidence du matériel expérimental .	228
Les stratégies d'exploration . .	229
La dominance manuelle . .	232
Perspectives de recherches .	232
Le type de matériel .	232
<b>Références bibliographiques. . .</b>	<b>237</b>



---

*A l'envie et au rêve, a ma mere, a ma sœur, a ma famille, a mes ami(e)s,*



## Remerciements

Je tiens à remercier les nombreuses personnes qui m'ont aidées tout au long de mon parcours universitaire et en particulier, au cours de ma thèse.

Tout d'abord, je voudrais remercier monsieur Portalier, pour la direction de cette thèse, son soutien et sa confiance tout au long de ces années.

Mes remerciements se dirigent également vers les membres du jury, messieurs Portalier, Lorenzi, Pry et Vital-Durand avec une mention particulière à messieurs Cornoldi et Lorenzi pour le rapport de cette thèse.

J'adresse tous mes remerciements aux membres du Laboratoire Développement et Handicap, et notamment à l'équipe Perception Cognition et Handicap avec une pensée plus marquée pour Sylvie, Thierry et Valérie, pour leur soutien et leur aide.

Je tiens aussi à remercier Laurence et Sandrine, pour leurs conseils et leur présence, au cours de mes premières années de thèse.

Je remercie également Edouard Gentaz, pour m'avoir donné le petit coup de pouce du départ, et pour ses conseils avisés.

Je remercie Hervé Bruni, pour la conception informatique de l'épreuve auditive, ainsi que tous les moniteurs du Service Informatique pour la Recherche .

Je souhaite remercier toutes les personnes aveugles et voyantes qui se sont prêtées au jeu des expérimentations.

Je remercie monsieur Duchon-Doris, monsieur Kokouma et madame Loisel, pour m'avoir offert la possibilité de rencontrer des personnes aveugles.

Je remercie également l'école Galliéni et l'association Valentin Haüy, pour m'avoir souvent proposé une petite place dans leurs locaux.

Enfin, je tiens à remercier mes amis et ma famille, pour leur soutien et leurs encouragements, tout au long de mes études, et particulièrement dans les moments de doutes et de découragements.

Un merci particulier à Maman, Babeth, Christine, Augustine, Damdouane, Brigitte, Valérie et Gaëlle.

Je remercie également la Fédération des Aveugles, pour la délivrance d'une bourse. Son aide m'a été doublement précieuse. En effet, outre l'aspect financier, elle m'a donné l'envie de poursuivre et d'honorer la confiance qu'elle m'a octroyée.

**A tous, merci mille fois de m'avoir accompagnée sur la route de mon rêve.**





## Résumé

Cette recherche se propose d'étudier l'incidence d'un entraînement haptique sur les performances et les procédés d'exploration haptique, mis en place dans une tâche de reconnaissance de figures géométriques bi-dimensionnelles, selon le statut visuel des sujets (voyants sous occlusion visuelle momentanée, aveugles tardifs et aveugles précoces). Notre problématique s'interroge sur les conséquences des différences de structuration cognitive des sujets, en fonction de leur statut visuel, dans une tâche haptique. Nous postulons que le mode de raisonnement des voyants et des aveugles tardifs sera différent de celui des aveugles précoces, et ce, quelle que soit leur expérience haptique.

Dans une première analyse, nous avons observé la progression différentielle des performances générales, en fonction du statut visuel. Dans un second temps, nous avons étudié le rôle de la difficulté des items sur les performances des sujets. Dans une troisième partie, nous nous sommes intéressés à l'évolution des procédés d'exploration, toujours en lien avec le statut visuel. Enfin, nous avons poursuivi notre travail sur le rôle de la main d'exploration. Cette analyse complémentaire, effectuée auprès de voyants, nous a permis de faire émerger l'incidence de la latéralité, sur les performances et les procédés d'exploration.

Les résultats nous indiquent que les voyants sont moins performants que les aveugles, précoces et tardifs, dans notre tâche de reconnaissance de dessins géométriques, mais qu'ils améliorent significativement leurs performances. Les aveugles obtiennent des résultats élevés, dès la première épreuve. De ce fait, l'amélioration n'est pas perceptible mais se laisse entrevoir par la diminution de la variabilité interindividuelle.

Par ailleurs, les temps d'exploration sont plus longs pour les voyants et les aveugles tardifs, en comparaison des aveugles précoces. La difficulté des items ne perturbe pas ce rapport entre les groupes. Ces résultats valident l'hypothèse d'une tentative de traduction visuelle des informations, parallèlement à un traitement direct des informations haptiques.

D'autre part, l'amélioration des performances débute par les figures les plus allongées et par les items induisant les risques d'erreurs les plus élevées et donc par les erreurs les plus aisées à éviter.

Au niveau des procédés d'exploration, nous avons observé une préférence pour les procédés métriques chez les aveugles, tandis que les voyants recourent à tous les procédés à leur disposition. L'entraînement ne permet pas de sélectionner un ou deux procédés.

Enfin, nous n'avons pas pu mettre en évidence un effet de la main d'exploration. De nouvelles recherches seront nécessaires, pour compléter cette étude et mieux comprendre, d'une part l'évolution des procédés d'exploration et d'autre part, l'incidence du statut visuel sur ceux-ci.



## Mots clefs

Perception haptique - Statut visuel - Expérience haptique - Procédures exploratoires - Dessin en relief.



# Introduction

Au yeux de nombreuses personnes, le toucher est une modalité accessoire qu'il n'est pas nécessaire de développer outre mesure. Or, comme il est important d'apprendre à voir (Portalier, 1991), il est important d'apprendre à toucher. Toutefois, de part sa constitution anatomo-physiologique, le toucher ne bénéficie pas d'un organe spécifique, comme les yeux ou les oreilles pour la vision et l'audition. Il doit partager ses fonctions avec d'autres. L'organe du toucher est la peau. Or, la peau est répartie sur l'ensemble du corps. Ses fonctions principales sont la protection du corps et les échanges entre le corps et l'environnement. Cet état participe sans doute, à l'impression que le toucher est une modalité moins importante que la vue ou l'audition.

De plus, le toucher se décline sous deux axes, le toucher passif et le toucher actif. Si le dernier utilise les mêmes récepteurs que le premier, il n'en reste pas moins que les voies de traitement sont distinctes. Ainsi, Valenza, Ptak, Zimine, Badan, Lazeyras et Schnider (2001) ont montré que des patients cérébro-lésés, présentant une désorganisation de l'exploration haptique, avec impossibilité de mettre en œuvre des procédures exploratoires, parviennent à identifier des objets si quelqu'un dessine la forme directement sur leur peau. En revanche, ces mêmes sujets sont incapables d'identifier les formes grâce à leur exploration active. En effet, dans sa forme active, le toucher dépend de facteurs moteurs, impliquant les articulations et les muscles. De ce fait, la modalité haptique émerge du regroupement d'informations multiples (divers récepteurs cutanés (pression, chaleur, vibration,...), récepteurs musculaires et articulaires, ...) que le sujet devra analyser et confronter. Par ailleurs, l'acteur principal d'une exploration volontaire est la main. Mais la main est constituée de la paume et de cinq doigts mobiles. Ainsi, les

informations peuvent provenir de six à douze lieux distincts, si les deux mains participent à l'exploration. A partir de ces nombreuses informations, le sujet devra construire une représentation unitaire de l'objet exploré. De plus, la taille des doigts n'autorise qu'une appréhension morcelée de l'objet. Ces caractéristiques rendent la modalité haptique très séquentielle. En revanche, elles permettent la mise en place de procédures exploratoires spécifiques, particulièrement intéressantes à étudier.

Toutes ces considérations nous ont amenés à nous interroger sur la possibilité d'apprendre à toucher et à explorer. Autrement dit, nous nous sommes demandés s'il est possible d'améliorer ses performances haptiques, et si les procédures exploratoires sont modifiées, dans le même temps. Nous nous intéresserons à cette question, dans une approche différentielle du statut visuel. En effet, les personnes aveugles, tardives et précoces, sont-elles comparables entre elles et se distinguent-elles des voyants, au regard de cette modalité ? L'exploration haptique de figures géométriques planes sera notre champ d'étude. Nous proposerons aux sujets une tâche de reconnaissance de figures en relief parmi des distracteurs.

Pour reprendre la démarche qui nous a conduit à cette recherche, nous développerons des éléments théoriques, avant de nous pencher sur notre expérimentation. Dans un premier temps, nous nous proposons de reprendre les fondements théoriques qui nous ont permis de construire et de développer notre problématique.

Nous débuterons notre approche, par un rappel des bases physiologiques, anatomiques et neurologiques du toucher (chapitre 1) qui débouchera sur l'étude du traitement perceptif des objets (chapitre 2). Ces données nous dirigeront sur deux axes. Le premier, nous conduira de la plasticité cérébrale, au modèle de la vicariance (Reuchlin, 1978), dans une analyse différentielle du statut visuel, en passant par l'étude des activités mentales (chapitre 3). Ces éléments nous permettront de comprendre les différents modes de raisonnement et de résolution de la tâche que les sujets peuvent mettre en place. Le second axe, nous amènera à l'étude des procédures exploratoires, avec le modèle de la sélection et de l'extraction de ces procédés (Klatzky et Lederman, 1993). Dans un cinquième chapitre, nous développerons notre problématique et le matériel expérimental. Le chapitre 6 étudiera l'évolution des performances, à l'issue d'un entraînement haptique, tandis que le chapitre 7 mettra l'accent sur la difficulté des items et son influence sur les performances. Le chapitre 8 sera consacré à l'étude des procédés exploratoires mis en place par les sujets pour résoudre la tâche. Ces trois chapitres seront développés autour de l'analyse différentielle du statut visuel (voyants, aveugles tardifs, aveugles précoces). Le chapitre 9 ouvrira notre recherche sur le rôle de la latéralité. Nous comparerons les performances de voyants droitiers, explorant avec la main droite avec celles d'autres voyants droitiers, explorant cette fois avec la main gauche. Enfin, nous résumerons nos principaux résultats et nous étudierons les différentes perspectives de recherches, inspirées par notre étude.

# Chapitre 1 : le toucher : anatomie et physiologie.

Dans cette recherche, nous nous intéressons à la modalité tactile. Cette modalité peut se décomposer en deux axes. Le premier correspond au toucher passif, le second au toucher actif que l'on qualifie aujourd'hui, sur le modèle anglophone, d'haptique. Ce dernier met en action des mouvements volontaires qui peuvent prendre la forme de procédés d'exploration tels ceux décrits au cours d'explorations d'objets en trois dimensions (3D) par Lederman et Klatzky (1987). Le toucher actif allie donc une approche kinesthésique (du grec kinêsis signifiant mouvement) à une sensation cutanée (du latin cutis : peau) qui, pris isolément, constitue le toucher passif (Revesz, 1950). En résumé, et pour reprendre la définition de Loomis et Lederman (1986), le terme haptique regroupe tous les sous-systèmes sensoriels impliquant la peau, les muscles et les articulations.

Dans l'histoire de la psychologie, l'étude du toucher dans sa forme passive remonte au XVIII<sup>e</sup> siècle avec les travaux de E. Weber. Les recherches de E. Weber, physiologiste allemand, (1795-1878) traitaient du système nerveux cutané de l'homme. Ce dernier cherchait notamment à mesurer la sensibilité tactile à différentes localisations du corps. Pour cela, il a conçu un outil nommé *compas de Weber*. Il a également réalisé le même type d'expérience avec la recherche du rapport perceptif minimal de poids perçus exclusivement par le toucher, c'est-à-dire sans l'intervention des muscles, autrement dit, sans soulèvement. Nous verrons ultérieurement que le soulèvement est un des procédés d'exploration haptique, mobilisant par conséquent une activité motrice volontaire, définie

par Lederman et Klatzky (1987). Les travaux de Weber lui ont permis d'établir une loi, dite loi de Weber, postulant que « la différence de sensation reste égale quand le rapport des excitations reste égal ». Ainsi, la différence entre deux stimuli, n'est pas plus difficile à discriminer, pour des stimuli de faible amplitude que pour des stimuli de forte amplitude, à condition, que l'écart entre ces deux types de stimuli soit proportionnel. Cette loi a été reprise et mathématisée par Fechner (1801-1887) qui se chargea par là même de diffuser les travaux de Weber. Aujourd'hui, Weber est essentiellement connu pour son test de discrimination statique de deux points (1835). Ce test a permis à des auteurs tels que Moberg (1958) d'établir une cartographie palmaire des différentes discriminations en fonction des zones. Nous reviendrons sur ces diverses sensibilités tactiles un peu plus loin dans ce chapitre.

Nous nous sommes aperçus par ce bref historique des recherches sur le toucher, que l'étude de cette modalité était intimement liée à une approche physiologique. C'est pourquoi nous avons opté pour une description anatomique et physiologique du toucher pour débiter notre thèse. Ces données nous permettront de mieux cerner ce qu'est le toucher et ainsi de mieux comprendre son fonctionnement.

## 1- L'organe du toucher : la peau.

La peau, organe du toucher par excellence représente quatre kilogrammes du poids d'un individu de soixante-dix kilogrammes. Elle recouvre la totalité du corps, ce qui correspond à une surface de trois à six mètres carrés. Elle sert de protection entre le corps interne et l'environnement. Elle intervient aussi comme frontière entre le corps et le milieu dans lequel ce dernier évolue. Par conséquent, elle a également un rôle de messenger entre l'extérieur et l'intérieur. Elle doit principalement transmettre les informations externes au cerveau. Pour cela, elle possède différents récepteurs cutanés, répartis en concentrations plus ou moins fortes sur l'ensemble du corps et à des profondeurs variables selon leur spécificité.



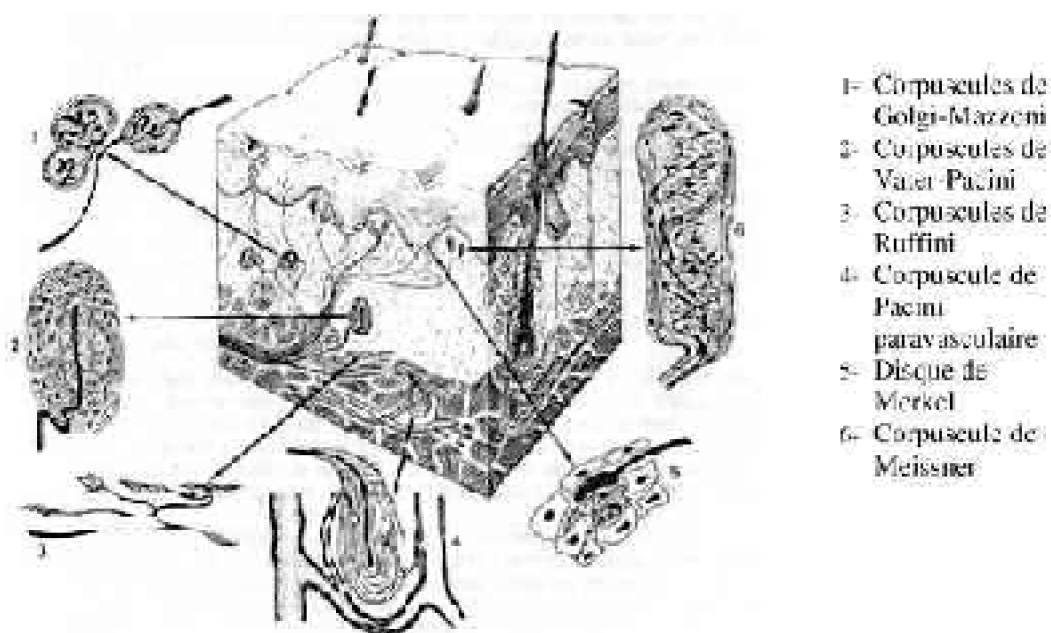


Figure 1 : Reconstruction tridimensionnelle d'un fragment de peau d'après Tubiana et Thomine (1990)

La peau est constituée de trois couches : l'épiderme, le derme et l'hypoderme. Ces trois épaisseurs correspondent à chacun des trois feuillets primaires constitutifs de l'embryon. Ces trois feuillets sont : l'ectoderme, le mésoderme et l'endoderme. Chacun de ces feuillets va se développer séparément et former le corps humain. Ainsi, l'ectoderme est le précurseur de l'épiderme et permet grâce à la crête neurale qu'il possède de développer le système nerveux. Le mésoderme, tout comme l'endoderme est à l'origine des organes et fournit également le derme (Franceschini, 1994).

L'épiderme est la couche la plus superficielle de la peau. C'est elle qui est directement en contact avec l'extérieur, d'où son rôle de revêtement. Elle appartient de ce fait aux tissus épithéliaux<sup>1</sup>. L'épiderme est le support des poils, cheveux et ongles, ainsi que des glandes sudoripares et sébacées. Ces glandes sont responsables du nettoyage des pores, de la régulation thermique (sueurs) et de la protection du corps (sécrétion d'un film gras).

Le derme et l'hypoderme sont des tissus conjonctifs<sup>2 \*</sup>. Le derme est une couche très solide de la peau qui permet l'enracinement de l'épiderme et repose lui-même sur l'hypoderme. L'hypoderme quant à lui sert de réserve graisseuse, de protection thermique et d'amortisseur : nous nous faisons tout de même beaucoup moins mal en tombant sur une partie charnue de notre anatomie que sur la tête ; ceci grâce à la couche graisseuse hypodermique. Le derme a une fonction essentiellement métabolique et immunitaire. C'est également une partie de la peau très vascularisée et innervée.

<sup>1</sup> Epithélium : (du grec epi : sur et thèle : mamelon) Tissu formé d'une ou plusieurs couches de cellules et recouvrant le corps, les cavités internes, les organes...

<sup>2 \*</sup> Tissu conjonctif : Tissu servant à unir des parties organiques, autrement dit, des parties du corps.

Au cours de ces considérations physiologiques et anatomiques, nous avons peu parlé des récepteurs sensoriels. C'est l'un des paradoxes de cet organe de la peau. En effet, le toucher a deux fonctions principales : la protection du corps et par delà, le rôle de messenger entre l'extérieur et l'intérieur. Contrairement à la vue, où l'œil est entièrement consacré aux réceptions de stimuli visuels (couleurs, formes, mouvements) la peau a des activités diversifiées, elle sert :

- d'enveloppe protectrice,
- de protection contre les agressions extérieures,
- d'échange avec l'environnement,
- de thermorégulateur,
- elle a une fonction métabolique,
- une fonction immunitaire,
- et enfin une fonction sensorielle.

C'est cette dernière fonction qui nous intéresse plus particulièrement. Et encore, il ne s'agit que d'une partie de cette fonction. En effet, la fonction sensorielle englobe la perception de la douleur, de la chaleur, des vibrations, des chatouillements, des fourmillements, du contact, de la pression, de la douleur et de la sensation d'humidité. Selon la taille des fibres sensibles, les informations transmises diffèrent. Ainsi, les fibres myélinisées de grand diamètre seraient dévolues à la sensibilité discriminative, celles de petit diamètre seraient impliquées dans les sensibilités thermiques et algiques<sup>3</sup> localisées, tandis que les fibres non myélinisées transmettraient des informations algiques diffuses (Roll, 1994).

Voyons à présent comment se répartissent les récepteurs impliqués dans la perception tactile et comment les informations sont envoyées et traitées au niveau du cerveau.

## 2- Les recepteurs

Les plus gros récepteurs de la peau, de 1 à 2 mm de diamètre, sont les corpuscules de Vater-Pacini, ils se situent dans la partie la plus profonde de la peau (l'hypoderme). Ils sont principalement localisés au niveau des muscles et des articulations. Ces récepteurs et les fibres nerveuses qu'ils activent ont une conduction rapide, c'est-à-dire qu'ils réagissent et transmettent rapidement l'information. Ils interviennent lors de la perception de vibrations (Rosenzweis et Leiman, 1991). Ces cellules apparaissent très précocement dans la vie intra-utérine du fœtus (vers la septième semaine dans la région péri-buccale et vers la onzième semaine sur les doigts). Du fait de leur large anatomie, la précision de ces cellules est faible. Les informations transmises ne permettent donc pas au cerveau de

<sup>3</sup> algique : relatif à la douleur.

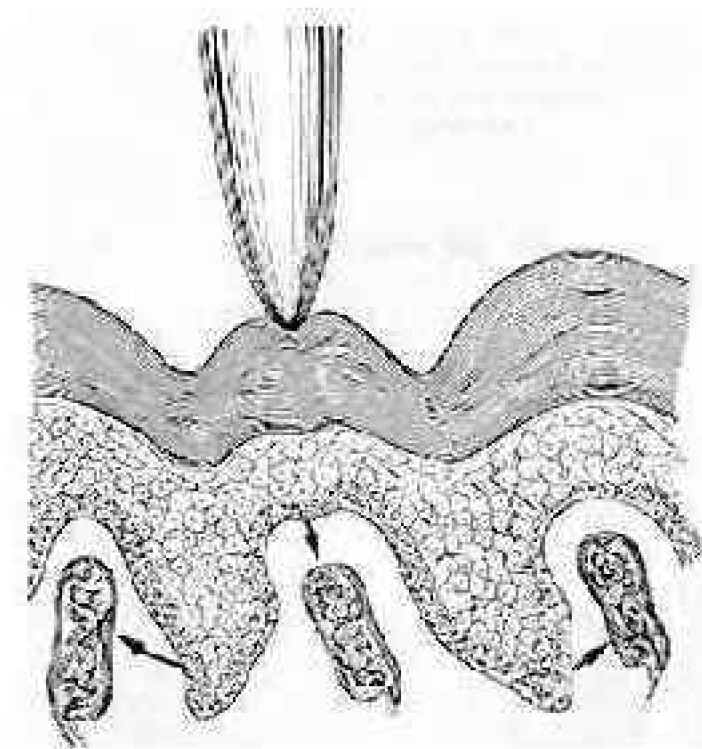
localiser les stimuli. Mais leur rapidité de réaction leur autorise la perception de stimulations de fréquences faibles comme de fréquences élevées.

	CONSTITUANTS	ÉPAISSEURS	CATÉGORIE	RÔLES	CARACTÉRISTIQUES
<b>ÉPIDERME</b> Couche superficielle	<ul style="list-style-type: none"> <li>0 kératinocytes (80%)</li> <li>0 mélanocytes (15%)</li> <li>0 cellules de Langerhans (5%)</li> <li>sur 100 à 1000nm (millimètre)</li> <li>0 cellules de Merkel (très peu nombreuses)</li> <li>— sur 1500 à 2000nm (millimètre)</li> </ul>	épaisseur de 0.04 mm pour les paumes et les plantes de pieds — Très fine	non élastique	protection	peu élastique, épais, peu de vaisseaux sanguins
<b>DERME</b> Couche intermédiaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>0 fibroblastes</li> <li>0 mastocytes</li> <li>0 mélanocytes</li> <li>0 cellules sanguines</li> <li>0 corpuscules sensibles :</li> <li>• Corpuscule de Meissner</li> <li>• Corpuscule de Vater-Pacini</li> <li>• Corpuscule de Golgi-Mazzoni</li> <li>• Corpuscule de Krause</li> <li>• Corpuscule de Ruffini</li> </ul>	0.3 à 3 mm	très élastique	métabolisme, défense, équilibre hydrique, équilibre osmomotique, équilibre électrolytique	très vascularisé, riche en élastine (élastine) et en collagène
<b>HYPODERME</b> Couche profonde	<ul style="list-style-type: none"> <li>0 Corpuscule de Vater-Pacini (très gros de 1 à 3 mm de diamètre)</li> <li>0 Adipocyte (50 à 150µm) — stockage de lipides</li> <li>0 Cellules préadipocytaires</li> </ul>	épaisseur variable, élasticité variable	très élastique	réserve, amortisseur, protection thermique	forte vascularisation

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes couches constitutives de la peau d'après Rosenzweis et Leiman, (1991)

Les seconds mécanorécepteurs à adaptation rapide sont les corpuscules de Meissner. A l'opposé des corpuscules de Vater-Pacini, ils ne répondent pas aux stimuli vibratoires mais sont directement impliqués dans la discrimination et dans la localisation spatiale. Ils sont d'ailleurs en grand nombre dans les zones corporelles permettant une discrimination fine comme les extrémités des doigts, la langue ou encore les lèvres. Ils se situent dans la zone superficielle du derme c'est-à-dire proche de l'épiderme. Leur capacité de localisation précise des stimuli tient dans leur petite taille (100 à 150 µm) et dans leur fréquence : trois cent cinquante par centimètre carré (Tubiana & Thomine, 1990). Le second facteur de cette capacité discriminative fine réside dans la structure de la peau. L'épiderme épouse la forme des récepteurs du derme. Cette structure irrégulière assure la parfaite adhésion de l'épiderme au derme. Une bonne illustration de cette

irrégularité se trouve dans les empreintes digitales des doigts. En effet, l'épiderme recouvre et épouse parfaitement le relief formé par les crêtes papillaires du derme. La couche cornée renforce ce phénomène et nous pouvons alors observer les empreintes digitales. L'arrangement de ces crêtes papillaires étant unique et original pour chaque sujet, il sert à identifier les individus notamment dans le cadre médico-légal. Cette structure irrégulière a pour conséquence d'augmenter le nombre de récepteurs activés : les crêtes épidermiques activant les récepteurs se situant à proximité sous l'effet de la pression de l'épiderme (figure 2).



*Figure 2 : Rôle des crêtes épidermiques dans la stimulation des corpuscules de Meissner d'après Tubiana et Thomine (1990).*

En fonction du degré d'activation de chacune des cellules, une localisation précise pourra être établie. La meilleure perception (la plus grande activation et la plus précise) résulte d'une stimulation perpendiculaire à la peau. Ces cellules s'individualisent plus tardivement (entre la vingt-quatrième et la trentième semaine) au cours du développement intra-utérin du fœtus que les premières.

Les cellules de Merkel se situent à la frontière du derme et de l'épiderme. Elles se caractérisent par des terminaisons nerveuses en forme de disques. Ce sont des mécanorécepteurs à adaptation lente.

Les corpuscules de Ruffini, implantés dans le derme en raison de leur grande taille et de leur champ mal défini (Roll, 1994), sont sensibles aux déformations rapides, ce qui leur confère un rôle important dans la discrimination temporelle des stimuli. En revanche, leur rôle est mineur dans la discrimination spatiale : leur forme ne leur permettant pas d'établir

une localisation précise des stimuli.

Ces quatre récepteurs sont les principaux récepteurs de la perception tactile. Toutefois, nous pouvons préciser leurs rôles en fonction des types de récepteurs auxquels ils appartiennent. En effet, deux catégories de récepteurs ont été répertoriés.

## 2-1 Les types de recepteurs

---

### 2-1-1 Les récepteurs de types I et II

Les récepteurs de type I correspondent à des récepteurs bien délimités et de petite taille. Les récepteurs de type II sont des récepteurs larges et mal délimités.

**Les récepteurs de type I**, du fait de leurs caractéristiques physiques (corpuscules de Meissner et disques de Merkel) ont la capacité de coder avec précision les indices spatiaux et les déformations de la peau. Ces récepteurs sont particulièrement nombreux au niveau des extrémités des doigts et de la région péri-buccale. Or, ces zones ont des capacités de résolution spatiale élevées et autorisent une discrimination fine. Johansson et Vallbo (1983) ont montré qu'il existait un lien entre les capacités de résolution spatiale fine et la présence de ces champs récepteurs de type I (petite taille, champ bien défini). Ainsi, au niveau de la pulpe du doigt, pas moins de deux cent dix récepteurs de type I se répartissant en récepteurs à adaptation lente ( $70/\text{cm}^2$ ) et rapides ( $140/\text{cm}^2$ ) permettent des discriminations suffisamment fines pour autoriser la lecture du Braille. Cette proximité de récepteurs correspond à des distances inter-récepteurs ne dépassant pas deux à deux virgule huit millimètres, et donc de percevoir comme distinct deux points espacés de deux millimètres, voire d'un millimètre et demi (Johnson et Lamb, 1981). Pour établir ces données, ces chercheurs ont utilisé la méthode des points explorés. A titre de comparaison, cette distinction n'est envisageable au niveau du tronc que pour des points espacés de trente à cinquante millimètres. Ces récepteurs sont particulièrement actifs lorsque le bord de leur champ récepteur est stimulé alors qu'ils le sont beaucoup moins lorsque le centre est activé, ce qui leur confère une capacité de codage de la forme et du contour des objets en contact. Le codage spatial fin de ces récepteurs de type I est renforcé par la transmission des informations au cerveau par les voies afférentes. Ces voies afférentes augmentent les contrastes spatiaux des informations sensorielles grâce à l'utilisation des réseaux à inhibition latérale. L'inhibition latérale ou inhibition de voisinage permet la conservation des faibles dimensions des récepteurs en inhibant les excitations périphériques. Cette organisation permet au réseau de renforcer le contraste spatial. Nous reparlerons de ce phénomène au cours de la partie que nous consacrerons à la transmission de l'information au cerveau.

**Les récepteurs de Type II** (corpuscules de Vater-Pacini et de Ruffini), avec leur grande taille, leur champ mal délimité et leur position dans les couches profondes de la peau, ne permettent pas de discrimination spatiale fine. En revanche, ils sont très sensibles aux stimuli brefs et transitoires (début et fin de stimulation), aux déformations, même rapides, et aux mouvements. Ils se caractérisent donc par une discrimination temporelle précise. Ils répondent avec une intensité maximale lorsque le centre de leur

champ récepteur est activé. Contrairement aux récepteurs de type I, ils se répartissent plus uniformément sur la peau. Ils sont nombreux dans les tissus fibreux, les capsules articulaires et les attaches tendineuses. Cela leur conférerait une fonction proprioceptive qui permettrait de décrire les mouvements des différentes phases de saisies d'un objet par exemple.

### **2-1-2 Les récepteurs à adaptation lente et rapide**

Au sein des deux types de champs récepteurs que nous venons de décrire, nous trouvons à la fois des récepteurs à adaptation rapide et des récepteurs à adaptation lente.

Les récepteurs à adaptation rapide sont les plus nombreux (56%), ils répondent essentiellement à l'apparition et à la suppression d'un stimulus, et à des fréquences vibratoires de 300Hz maximum. Ils ont également un seuil de réaction très bas : un seul influx nerveux est suffisant (Rosenzweis et Leiman, 1991).

Les récepteurs à adaptation lente, quant à eux, représentent quarante-quatre pour cent des récepteurs et informent le cerveau de la présence d'un stimulus tout au long de sa présentation. Par contre, ils ne répondent pas ou peu à un stimulus bref : le message n'ayant pas le temps de s'organiser ou parvenant trop tardivement au cerveau. La fréquence vibratoire maximale à laquelle ils répondent est de deux cents hertz (Ribot-Ciscar, Vedel et Roll, 1989).

Nous avons vu que le nombre de récepteurs variait en fonction des zones du corps. Nous avons également expliqué que le type de récepteurs influait sur les capacités discriminatives. Or, dans l'exploration haptique d'un objet en trois dimensions (3D), la main est directement impliquée dans la recherche d'informations, notamment la paume et les doigts. Pour l'exploration d'un dessin ou d'une figure en relief, la paume intervient plus rarement dans l'exploration. En revanche, les doigts sont totalement investis dans cette tâche. Intéressons-nous donc à la spécificité de la main au niveau du type de récepteurs, de leur quantité et de leur localisation.

## **3- La surface palmaire de la main**

Pour parler de la surface interne de la main, vierge de toute pilosité, le terme de peau glabre est souvent retenu. Cette peau glabre a une forte capacité discriminative. Les recherches issues de la technique de microneuronographie ont permis de mieux comprendre les mécanismes de perception tactile, notamment par la découverte des différents récepteurs et de leur localisation dans la peau. Ainsi, Valbo et Johansson (1984) ont dénombré 17 000 unités de récepteurs tactiles au niveau de la peau glabre. L'innervation mécano réceptrice de cette zone est donc considérable et permet de justifier de la capacité discriminative de la surface interne de la main. Tous les types de récepteurs sont représentés (rapide de type I et II, lent de type I et II). Les récepteurs de type II sont répartis uniformément au niveau des extrémités des doigts ( $220/\text{cm}^2$ ) et plus épars dans la partie proche du poignet ( $40/\text{cm}^2$  au niveau de la paume) (Johansson et

Valbo, 1983). Ce sont ces récepteurs qui permettent le mieux la discrimination spatiale fine et donc l'accès aux informations de forme et de contour, ce qui fait dire à Johnson et Hsiao (1992) que ces récepteurs sont les récepteurs nécessaires et suffisants pour effectuer une tâche de reconnaissance.

D'autre part, des travaux menés sur la peau glabre du singe, Johnson et Lamb (1981) ont montré que les récepteurs à adaptation rapide, comme les corpuscules de Meissner ou les corpuscules de Vater-Pacini, étaient impliqués dans le codage temporel des stimuli. Ces récepteurs réagiraient au moment du contact et de l'arrêt de celui-ci ainsi qu'au cours d'un déplacement. Les récepteurs à adaptation lente, comme les récepteurs de Merkel ou de Ruffini, interviennent massivement dans le codage spatial des stimuli.

### 3-1 La substitution sensorielle

---

D'un côté, nous avons des récepteurs de type I qui seraient suffisants à cette reconnaissance et de l'autre des récepteurs de type II qui, de part leur nature et leur morphologie, codent des informations temporelles, et par conséquent, le mouvement. Or, dans une exploration active, le mouvement est un indice essentiel à la prise d'informations. Ainsi, Bach-y-Rita (1972) avec le TVSS (Tactile Visual Substitution System) a démontré que la reconnaissance était beaucoup plus efficace lorsque le sujet déplace lui-même la caméra que lorsqu'il est passif. Le TVSS est un système de substitution sensorielle basée sur une transcription des informations visuelles en informations tactiles. C'est-à-dire qu'un objet va être décomposé en un certain nombre de points qui vont venir activer une partie de la peau. Ainsi, le sujet tient une caméra reliée à un appareil capable de transformer les informations visuelles en informations tactiles. Ce capteur est lui-même relié à une plaque posée sur le dos, le thorax ou le front des sujets. Des travaux récents étudient la stimulation des récepteurs de la langue (Sampaio, Maris et Bach-y-Rita, 2001). Cette plaque est composée de quatre cents tacleurs de un millimètre de diamètre qui vont stimuler les récepteurs cutanées du sujet. Les sujets seront ensuite entraînés à traiter ces stimulations pour recréer des objets. Toutefois, les tacleurs ont pour but d'activer les récepteurs cutanés. Or, ces récepteurs devraient normalement être activés grâce aux déplacements ou au contact de la peau sur l'objet. Par conséquent, les tacleurs ne permettent pas d'obtenir des performances élevées. Ainsi, de nombreux entraînements sont nécessaires pour parvenir à des performances intéressantes. Si la discrimination de lignes est relativement aisée, cinquante essais sont nécessaires pour reconnaître des figures géométriques simples (Lenay, Gapenne, Hanneton, Marque et Genouel, 2000). En effet, de nombreux entraînements sont nécessaires pour obtenir quelques reconnaissances d'objets usuels, alors que quelques séances suffisent en exploration active pour aboutir à une discrimination efficace. Ces faibles performances peuvent en partie être expliquées par le fait que la réception du TVSS se réalise sur des régions peu fournies en récepteurs de type I.

De plus, si le sujet ne tient pas lui-même la caméra, la localisation ou la reconnaissance d'objet est impossible (Sampaio, 1994). Le déplacement de la caméra, par le sujet, permet de remplacer les mouvements exploratoires. Cependant, nous avons vu que les tacleurs ne permettent pas d'obtenir des sensations identiques à une

stimulation directe de l'objet sur la peau. Les tacteurs activent les récepteurs de façon passive, comme si l'objet était appliqué sur la peau sans que le sujet ne puisse bouger. La dynamique du mouvement du sujet tenant la caméra ne compense pas l'absence de mouvement exploratoire. Nous pourrions nous demander si les performances ne seraient pas meilleures, si au lieu de subir l'activation des tacteurs, le sujet explorait les tacteurs manuellement, c'est-à-dire si le sujet avait la possibilité d'explorer la plaque fournie de tacteurs avec un système se rapprochant de celui utilisé lors de la traduction d'écrans informatiques en Braille, plutôt que de devoir analyser simultanément toutes les activations passives. D'ailleurs, les résultats sont supérieurs lorsque la caméra est déplacée lentement le long de l'objet que lorsque l'objet est perçu dans sa totalité sans déplacement (Beauchamps, Matheson et Scadden, 1971 ; Loomis, 1974). Ce dernier point laisse supposer de la difficulté à traiter tactilement un grand nombre d'informations simultanées. Une exploration séquentielle permet un meilleur traitement des informations, peut-être parce que ce système permet d'obtenir des informations plus précises sur les différentes parties de l'objet. La perception étant moins floue, elle permettrait donc de meilleures performances. De plus, l'absence de récepteurs de type II avec des champs bien délimités renforce l'imprécision des informations notamment au niveau des contours. Explorer l'objet, partie par partie, est donc une nécessité. Nous pouvons nous demander ce qu'il se passerait si la réception était fixée sur une zone contenant de nombreux récepteurs de type I.

Voyons à présent comment, à partir de l'excitation d'un récepteur, l'information va être transmise au cerveau. Quel(s) chemin(s) parcourent les innervations ?

ORGANISATION	LOCALISATION	CARACTÉRISTIQUES	TYPE DE PERCEPTION	TYPE D'ADAPTATION	SCHEMA ET LIENS
COMPLEXES DU WATER-PACIFIC	Epiderme	Croûte Large (1 à 2 mm) Champ mal défini Type II	Perception des vibrations	Rapide	Muscles et articulations
COMPLEXES DU TACTILE	Derme	Croûte Type (100 à 150 mm) Bien défini Type I	Discrimination de localisation spatiale	Rapide	Leaves, lignes et angles essentiellement (100 cellules vont pour la papille de la peau)
COMPLEXES DU MOUVEMENT	Epiderme	Croûte Acute Bien défini Type I	Récepteur neuronal	Lente	Perception du mouvement
COMPLEXES DU TACTILE	Derme	Croûte et bien défini Type II	Perception des objets par rapport à la peau Mouvements et déformations rapides → discrimination temporelle Rôle majeur dans la discrimination spatiale	Lente	Des mouvements

Tableau II : Caractéristiques des principaux récepteurs sensoriels de la peau d'après Rosenzweig et Leiman (1991) ; Valbo et Johansson (1984).

## 4- Les voies de traitement



Deux systèmes ascendants permettent de transférer les informations au cerveau. Il s'agit des systèmes lemniscal et extralemniscal. Phylogénétiquement, le système lemniscal est plus récent que le second. C'est le système des colonnes dorsales et des faisceaux dorsolatéraux. Il transmet les informations relatives au tact discriminatif, à la position spatiale et au mouvement (sensibilité kinesthésique). Autrement dit, il intervient directement dans le toucher actif (Bach-y-Rita, 1972). Le second, le système extralemniscal est le système antérolatéral ou spinothalamique. Il véhicule essentiellement les informations algiques, thermiques et tactiles diffuses. L'information parvient très rapidement au cerveau. Nous pouvons aisément comprendre l'intérêt d'une grande rapidité de transmission lorsque nous regardons quelles informations sont véhiculées : mieux vaut savoir très rapidement si la plaque sur laquelle nous venons de poser la main est bouillante ou à température ambiante, sans quoi les conséquences pourraient être graves. Les deux systèmes projettent dans les aires somesthésiques primaires SI et SII et dans le cortex associatif somesthésique. Pour atteindre ces aires, les deux systèmes utilisent des voies différentes. Le système lemniscal est un système dans lequel les fibres passent dans la moelle épinière et accèdent directement au bulbe rachidien où elles font relais au niveau des noyaux de Goll et Burdach (noyaux gracieux et cunéiformes). C'est pourquoi le terme de colonne dorsale est employé. Les fibres forment une colonne qui monte jusqu'au bulbe. A ce niveau, l'information qui était ipsilatérale va passer du côté contralatéral et rejoindre les noyaux du thalamus avant de se projeter dans le cortex somatosensoriel. Le système extralemniscal va envoyer les fibres issues des récepteurs au niveau de la moelle épinière où le premier relais va s'établir. L'information va alors immédiatement être transférée du côté contralatéral, avant de monter par les faisceaux antérolatéraux.

Ces deux voies permettent de conserver une vue somatotopique<sup>4</sup> des innervations notamment dans les cordons postérieurs, les noyaux du bulbe rachidien et les noyaux thalamiques. Au niveau du cortex, l'organisation en colonnes corticales permet de cartographier les stimulations, de les localiser précisément, d'identifier le type de stimulation et la modalité à l'origine de cette stimulation. Pour une stimulation particulière, une colonne sera activée et pas les autres. Le chercheur Mountcastle et ses collaborateurs (1984) est à l'origine de cette découverte. En fonction de l'importance des innervations sur une localisation précise du corps, le nombre de cellules corticales augmente. Le célèbre homunculus a été établi en fonction de la représentation relative de chaque partie du corps au niveau du cortex. Ainsi, des zones très innervées comme la langue, les lèvres ou les doigts sont sur-représentées au niveau du cortex. Les techniques ont ensuite évoluées et les cartes se sont précisées. Toutefois, dès 1941, Marshall, Woosley et Bard ont établi une carte des potentiels cérébraux évoqués en fonction des zones de la main chez le singe.

Nous avons vu précédemment que les informations étaient transférées des récepteurs sensoriels aux aires somesthésiques en effectuant des haltes aux niveaux des relais. Ces relais permettent de transformer des informations par l'intermédiaire des inhibitions pré ou post synaptiques. Selon le contexte, les relais peuvent renforcer ou atténuer l'information de façon à faciliter ou entraver son accès au cortex. Ce mécanisme

---

<sup>4</sup> somatotopique : du grec soma (corps) et topos (lieu), qui conserve l'organisation du corps.

neurophysiologique permet d'expliquer la modification des seuils perceptifs et de la taille des champs récepteurs, et l'accès privilégié à une information modale par inhibition des autres modalités. Ce phénomène participerait à expliquer les capacités attentionnelles en traitant prioritairement des informations spécifiques et en inhibant les autres. Cela éviterait au sujet d'être distrait de sa tâche.

Un autre rôle des relais serait de prétraiter les informations en favorisant par exemple la convergence d'informations intermodales, c'est-à-dire en dirigeant vers des cellules thalamiques identiques des informations proprioceptives et des informations vestibulaires et cérébelleuses. Ce regroupement des informations permettrait un traitement cortical plus aisé. Si ces aires se dessinent dans le cortex et sont spécialisées dans un type de traitement, il semblerait que ces aires ne soient pas cloisonnées comme les chercheurs l'ont tout d'abord pensé. En fait, une étroite collaboration existerait entre les aires primaires et associatives et également entre les différentes parties d'une même aire, par l'intermédiaire de liaisons cortico-corticales.

## 4-1 La plasticité cérébrale

---

Un autre phénomène important est celui de la plasticité cérébrale. En effet, face à une lésion corporelle ou corticale, ou face à un comportement spécifique, les représentations corticales se réorganiseraient sous l'action d'un réaménagement fonctionnel du traitement de l'information au niveau de l'écorce cérébrale.

Une telle plasticité a déjà été mise en évidence chez le rat et notamment chez la rate avec une modification des représentations cutanées ventrales, lors de la période d'allaitement des petits (Xerri, Stern, et Merzenich, 1993). Recanzone, Merzenich et Jenkins (1992) ont également montré que l'élargissement de la représentation corticale était directement corrélé avec les capacités perceptives. Ils ont notamment travaillé sur les entraînements tactiles chez les singes.

Des études tendent à prouver qu'une telle plasticité cérébrale s'opère chez l'homme (Pons, 1996). Nous nous sommes particulièrement intéressés au cas de l'activation du cortex visuel primaire des aveugles de naissance lors de la lecture du Braille et aux modifications corticales issues d'un apprentissage du Braille (Hamilton et Pascual-Leone, 1998).

Pascual-Leone et Torres (1993) ont observé que la représentation sensorielle des doigts utilisés lors de la lecture unimanuelle du Braille était supérieure à celle des doigts de la main non lectrice, de celle de voyants ou encore de celle d'aveugles non brailleux. Deux phases seraient responsables de cet élargissement :

- une première rapide et transitoire serait due à un masquage des connexions ou à une sur-régulation de l'efficacité synaptique.
- une seconde, plus lente mais plus stable.

Dans le même sens, Sterr, Müller, Elbert, Rockstroch, Pantev et Taub (1998) ont démontré que la représentation corticale, autrement dit la carte corticale des différentes zones du corps, pouvait être sujette à une redistribution de l'espace imparti selon les

individus. Ainsi, les lecteurs brailleux utilisant plusieurs doigts pour la lecture, présenteraient une activation corticale plus étendue que les lecteurs utilisant un seul doigt, ou que les voyants aveuglés. Des études semblables ont mis en évidence un même phénomène mais cette fois, pour des instrumentistes à corde qualifiés (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh et Taub, 1995) avec une sur-représentation des doigts utilisés lors de l'activité musicale, par rapport à un groupe contrôle, mais pas des doigts non impliqués dans le maniement des cordes. Ces données montrent que l'entraînement intensif d'une activité permet une réorganisation corticale. Ceci implique inversement un phénomène d'apprentissage avec la création de nouvelles connexions autorisant une automatisation ou du moins une plus grande rapidité et une plus grande précision de traitement.

D'autre part, Sadato, Pascual-Leone, Grafman, Ibanez, Deiber et Dold (1996) et Sadato, Pascual-Leone, Grafman, Deiber, Ibanez et Hallett (1998) ont montré, en utilisant une technique de PET (Tomographie à Emission de Positons), que le cortex occipital des aveugles précoces était activé lors de discriminations tactiles alors que celui des voyants ne l'était pas. Les discriminations tactiles étaient de plusieurs types, avec une discrimination de propriétés spatiales (angles, largeurs) et une discrimination de mots et de non-mots en braille. Il semblerait que le cortex occipital, sous-utilisé du fait de la cécité, soit alloué à de nouvelles fonctions. Ici, toutes les tâches de discrimination haptique ont activé les aires visuelles des aveugles précoces, dans les deux hémisphères. En revanche, une tâche de perception tactile pure, c'est-à-dire sans mouvement exploratoire, n'a pas mis en évidence une implication des aires visuelles. Ceci laisse entendre que les aires visuelles des aveugles précoces participent au traitement des informations haptiques mais pas au traitement des informations cutanées. Ces données apportent peut-être un élément de réponse à l'échec de validité de l'hypothèse de vicariance organique (Bertalanffy, 1980) selon laquelle les compétences des modalités sensorielles non déficientes seraient supérieures à celle d'un sujet non déficient. Ainsi, des sujets aveugles auraient de meilleures perceptions tactiles ou auditives. Or, les recherches prouvent que la perception des informations cutanées n'est pas améliorée par la cécité. L'amélioration des performances n'est pas en terme de perception mais de mode exploratoire. L'utilisation des aires visuelles pour d'autres tâches nécessite une capacité de réorganisation corticale pour que le cortex occipital, ordinairement dévolu au traitement des informations visuelles, accepte de traiter des informations non visuelles. Nous pouvons trouver une illustration supplémentaire de ce phénomène dans une autre étude.

Cohen, Celnik, Pascual-Leone, Corwell, Falz, Dambrosia et al, (1997) ont infligé des stimulations magnétiques transcrâniennes dans le cortex occipital de sujets voyants et aveugles lors de la lecture de lettres en Braille. Ils ont observé une perturbation des performances des aveugles mais pas des voyants, alors que dans les mêmes conditions, mais pour des stimuli visuels, les performances visuelles des voyants étaient altérées. Cette réorganisation du cortex cérébral expliquerait pourquoi les personnes recouvrant la vue après de longues années de cécité, souffrent d'anomalies dans la perception visuelle. L'espace cortical visuel serait investi par la modalité tactile. De ce fait, l'analyse visuelle et la reconnaissance de formes même simples, comme un cube ou une sphère, deviendraient délicates voire impossibles (Hamilton & Pascual-Leone, 1998). Le cortex occipital pourrait ainsi être recruté pour le processus de traitement de l'information

spatiale tactile.

Du fait des difficultés rencontrées par les sujets aveuglés pendant une longue durée et recouvrant la vue, l'hypothèse d'un transfert intermodal des informations ne peut être validée. L'association visuo-spatiale ne peut apparemment être générée et maintenue que si les deux modalités sont expérimentées simultanément. Sinon, comme nous l'avons vu dans l'exposé précédent, les capacités individuelles à employer et à transférer l'information spatiale entre les modalités sensorielles peuvent être entravées.

Hamilton et Pascual-Leone (1998) ont voulu savoir quelles étaient les différentes contributions, en fonction du temps, du cortex strié occipital et du cortex somatosensoriel sur le processus de discrimination tactile, chez des sujets aveugles précoces, experts en lecture Braille. Précisons que les auteurs envoyaient une impulsion de TMS (transcranien magnetic stimuli) sur les cortex en question après un délai variable de présentation des stimuli tactiles. Deux points essentiels ont émergé :

- Lorsque le TMS était appliqué au cortex somatosensoriel et pour un délai de traitement de 20 à 40 ms, la détection de stimuli périphériques (stimuli tactiles) était impossible. Les sujets n'avaient pas conscience d'avoir touché un stimulus tactile.
- Lorsque le TMS était infligé sur le cortex strié et pour un délai de 50 à 80 ms, le processus de traitement était interrompu : les sujets réalisaient la présence d'un stimulus, mais étaient incapables de dire s'il s'agissait d'une lettre Braille réelle ou non.

Ainsi, il semblerait que le cortex strié occipital et le cortex somatosensoriel aient des implications différentes dans le traitement de stimuli tactiles. De plus, la différence de délais de traitement serait due au transfert de l'information entre le cortex strié et le cortex somatosensoriel. Deux hypothèses de transfert sont envisagées. La première serait que des connexions thalamo-corticales parallèles existeraient pour les deux cortex. La seconde impliquerait des connexions cortico-corticales entre cortex occipital et cortex somatosensoriel. Les données neurophysiologiques semblent privilégier la seconde hypothèse (Hamilton et Pascual-Leone, 1998). Ces connexions cortico-corticales permettraient au cortex occipital d'intervenir dans le traitement des informations tactiles.

## 5- En résumé

Le cerveau serait donc doué d'une grande plasticité neuronale. Une illustration a été donnée précédemment et dont nous rappelons à présent les grands points.

- La représentation du cortex somatosensoriel serait plus large pour les lecteurs brailleux experts que pour les non-lecteurs.
- Le cortex occipital jouerait un rôle critique dans la lecture du Braille. Les connexions cortico-corticales entre cortex somatosensoriel et cortex occipital seraient responsables de cette implication du cortex occipital dans le processus de traitement

de l'information tactile.

Cependant, ce transfert intermodal au niveau des informations corticales n'implique pas une intermodalité entre modalités haptique et visuelle. Nous débattons de cette question ultérieurement à propos des différences de performances dans les transferts vision-toucher.

Cette grande plasticité cérébrale nous interroge sur la structuration cognitive des aveugles précoces par rapport à celle des voyants ou même des aveugles tardifs. En effet, les aveugles de naissance et les aveugles précoces qui n'ont jamais ou quasiment jamais bénéficié d'informations visuelles, ont dû développer une structure cérébrale originale. Des recherches dans ce sens ont été proposées par De Volder (1997) et par De Volder, Bol, Blin, Robert, Arno, Grandin, Michel et Veraart (1997). En effet, ces auteurs ont observé une forte activation des aires pariéto-occipitales et du cortex visuel lors d'une tâche de détection de cible pour le premier et lors de stimulations auditives et tactiles pour les seconds. Ces aires corticales n'étant pas activées chez les voyants aveuglés et chez les aveugles tardifs, les aveugles précoces auraient donc utilisé la capacité de réorganisation corticale anatomo-fonctionnelle pour investir les aires dévolues à la modalité visuelle chez les sujets voyants.

Les mêmes résultats avaient déjà été mis en évidence pour le cortex visuel primaire par Sadato et al. (1996, 1998). Ces chercheurs ont également observé une baisse de l'activité cérébrale dans les cortex auditif et somatosensoriel, lors d'un test visuel. Ils interprètent ces résultats par une attention sélective. Cette attention serait associée à la diminution de l'activité de traitement des informations sensorielles issues d'autres modalités. C'est ce que nous avons vu précédemment avec le mécanisme d'inhibition latérale pré et post-synaptique. Le cortex visuel des aveugles n'étant pas investi de la tâche de traitement des informations visuelles, l'attention sélective ne commanderait pas l'inhibition de son activité.

Une autre preuve de la plasticité corticale provient du fait que les aveugles tardifs présenteraient la même activation du cortex visuel primaire que les aveugles précoces (Hamilton et Pascual-Leone, 1998). Ces sujets auraient donc, eux aussi, bénéficié d'une réorganisation corticale, mais dans une moindre mesure. Nous avons vu précédemment que le cortex pariéto-occipital des aveugles tardifs n'était pas activé dans des tâches de détection de cibles, de stimulations auditives ou tactiles, alors que celui des aveugles précoces l'était. Or, nous savons que les aveugles tardifs possèdent des représentations visuelles. Il est donc normal que le cortex occipital ne soit pas totalement libre comme il l'est pour les aveugles de naissance. Cette aire ne peut donc pas être investie dans son ensemble, mais peut autoriser une réorganisation partielle de son espace. Cela nous rappelle que De Beni et Cornoldi (1988) ont montré que les performances étaient dépendantes des capacités d'imagerie visuelle des sujets. Ainsi, les aveugles tardifs ont de meilleures performances que les aveugles de naissance. Cependant, cela ne signifie pas que les aveugles ne sont pas capables d'imagerie mentale, mais que cette capacité n'est pas relayée par la modalité visuelle chez les aveugles. Ainsi, Kerr (1983) a montré que le recours à l'imagerie était tout aussi bénéfique pour les aveugles que pour les voyants. Pour Vecchi, Monticelli et Cornoldi (1995), les processus passifs de la mémoire

de travail visuospatiale, ne seraient pas affectés par la cécité, contrairement aux processus actifs. Les voyants, quant à eux, manquent d'expérience haptique, d'où l'idée d'entraîner des sujets, mais nous développerons ce point dans un prochain chapitre. Les données neurophysiologiques de cette plasticité cérébrale étayent également le concept de vicariance développé en psychologie différentielle par Reuchlin (1978). Là encore, ce point fera l'objet d'une prochaine discussion.

A ce stade de ces explications théoriques, il est temps de rappeler que le toucher se subdivise en deux catégories, le toucher passif ou cutané et le toucher actif qui nécessite des mouvements exploratoires volontaires. Or, à l'origine du mouvement se trouvent les muscles et les articulations. Nous avons dit précédemment que nombre de mécanorécepteurs comme les corpuscules de Vater-Pacini parsemaient ces zones (Tableau II). Ils ont pour tâche d'informer sur les états et les changements d'états successifs des muscles. Les informations sont de deux types, celles issues des faisceaux neuromusculaires (longueur et vitesse d'allongement des muscles), celles envoyées par les récepteurs tendineux de Golgi, concernant les forces dégagées lors de la contraction d'un muscle.

Les récepteurs sensoriels musculaires sont des récepteurs distaux, c'est-à-dire qu'ils informent sur la position des membres et du corps sans renseigner sur les sensations vécues par les muscles. Ils sont particulièrement présents dans les doigts, la main, la nuque et les muscles oculo-moteurs.

Le fuseau neuromusculaire se décompose en deux terminaisons :

- Une terminaison primaire dont l'activité dépend de la position de l'articulation est qualifiée de tonique en référence au mouvement d'allongement et de rétrécissement du muscle.
- Une terminaison secondaire qui code plutôt les informations liées à la position des membres.

## 6- Du système épaule-bras au mouvement

Les terminaisons primaires et secondaires du fuseau neuromusculaire vont transmettre des informations au cerveau. Or, le système haptique requiert des mouvements des doigts, du poignet, du coude et de l'épaule. Pas moins de trente muscles ont été différenciés uniquement pour la motricité des doigts et de la main (Paillard, 1990). Les informations vont donc affluer de toutes les parties du système épaule-bras impliquée dans une perception. Le risque est d'obtenir des informations non concordantes et de perturber ainsi la perception qui sera erronée, avec pour conséquence des phénomènes de répercussions haptiques (Hunter, 1954) ou d'anisotropies (Appelle, 1972) par exemple. La répercussion haptique de courbure est la perception d'une courbe en lieu et place d'une droite. Ce phénomène est lié au mouvement naturel du bras selon une courbe, ce qui provoque un biais kinesthésique dans la perception des droites. Il est renforcé par les

explorations précédant immédiatement l'exploration en cours (Davidson, 1972 ; Vogels, Kappers et Koenderink, 1996, 1997). La répercussion est également présente dans les modalités visuelles et auditives pour différents domaines. Gentaz, Luyat, Cian, Hatwell, Barraud et Raphel (2001) montrent que pour des mêmes sujets, des effets de l'oblique semblables sont observés pour leur système visuel, haptique et somato-vestibulaire. Toutefois, ces effets dépendent de mécanismes spécifiques à chaque modalité (Gentaz et Rossetti, 1999 ; Hatwell, Stréri et Gentaz, 2000). Ainsi, l'anisotropie est également qualifiée d'effet de l'oblique. Elle est fortement liée aux indices gravitaires c'est-à-dire à l'effort musculaire nécessaire pour maintenir et déplacer le système épaule-bras, et au travail d'exploration<sup>5</sup> dans le cadre de la modalité haptique.

## 6-1 La vitesse de déplacement

---

De même, la vitesse de déplacement influence la perception. Lacquaniti, Terzuolo et Viviani (1983) ont montré lors de la création du dessin d'une ellipse, une accélération du mouvement dans les grandes courbures et une décélération dans les zones à faible rayon de courbure. Ce constat a amené Viviani et Sneider (1991) à proposer une loi appelée loi de la puissance deux-tiers (Viviani, 1994). Cette loi formalise la relation vitesse-courbure par une loi puissance en fonction de la vitesse, du rayon de courbure et du gain de vitesse (Viviani, 1994). Le rayon de courbure pouvant changer en permanence lors d'une exploration, la vitesse varie en prenant en compte la vitesse précédente. Il est à noter que la surestimation de la longueur de surfaces courbes s'observe également en vision binoculaire (Farley-Norman, Lappin et Norman, 2000).

## 6-2 Le type de mouvement

---

Un autre point important réside dans le type de mouvement. Paillard (1994) a distingué des composantes morphocinétiques et topocinétiques. Les morphocinèses sont des mouvements suivant une trajectoire cursive dans l'espace bidimensionnel. Ils obéissent à un principe d'isogonie c'est-à-dire d'invariance de la vitesse angulaire même lors d'un changement de rayon de courbure (Paillard, 1990 ; Viviani et Terzuolo, 1982). Les morphocinèses impliquent essentiellement un mode de référence égocentré alors que les topocinèses se réfèrent à un mode exocentré. Les topocinèses sont des actes graphiques réalisés par la main dans un espace orienté. Le repérage spatial dans un espace est fondamental pour la réalisation de ces mouvements. Dans une activité d'écriture, les morphocinèses se retrouvent dans la formation des lettres et les topocinèses dans le repérage, la ponctuation, les accents et les changements de lignes. Pour généraliser, nous pourrions dire que les morphocinèses sont des mouvements courbes alors que les topocinèses sont géométriques. Ces mouvements sont particulièrement présents dans l'écriture, cependant, ils peuvent être relevés lors d'une exploration haptique du contour d'un objet, pour suivre la forme globale par exemple. Selon le procédé d'exploration

---

<sup>5</sup> Le travail d'exploration est le produit de l'effort musculaire pour déplacer le système et de la projection perpendiculaire sur les axes d'un système coordonné orthogonal du déplacement de la main (Gentaz 2000).

haptique utilisé, les sujets seront amenés à réaliser des mouvements différents. Ainsi, dans le repérage des différentes parties d'un objet, les topocinèses seront présentes, tandis que dans le suivi du contour, les morphocinèses seront sans doute plus pertinentes. Or, l'utilisation des morpho ou des topocinèses a une incidence sur le cadre de référence des sujets (interne pour les morphocinèses, externe pour les topocinèses). Ces considérations auront donc probablement un effet sur les explorations.



# Chapitre 2 : le traitement perceptif des objets.

Lorsque nous étudions la reconnaissance des objets, nous analysons l'objet en fonction de ses propriétés. Les principales dimensions que nous recherchons sont la forme, la longueur et l'orientation.

## 1- La propriété de forme

La propriété de forme se décline en trois axes principaux, la courbure, les angles et la symétrie. Nous retrouvons d'ailleurs ces trois critères dans les géons de Biederman (1987) qui sont des formes géométriques. Nous avons déjà abordé la perception des courbes avec l'incidence du mouvement (morphocinèse), de la vitesse du mouvement et de l'angle de courbure, nous n'y reviendrons pas. Précisons seulement que l'estimation de la taille angulaire est peu performante en modalité tactile, avec une sous-estimation de l'angle et une perturbation de l'estimation angulaire liée à la présence de courbes attenantes aux intersections (Lakatos et Marks, 1998). Cependant, lorsque les angles ne sont pas suivis de courbes, l'estimation est relativement précise (Klatzky, 1999).

Au niveau de la symétrie, les données expérimentales montrent une facilitation de l'asymétrie pour des stimuli bi-dimensionnels (Locher et Simmons, 1978). Ainsi,

Ballesteros, Manga et Reales (1997) observent que les figures symétriques sont plus difficilement identifiables que les figures asymétriques pour des stimuli bi-dimensionnels, mais que l'effet est inversé pour des stimuli tridimensionnels. En revanche, si la discrimination de formes asymétriques est plus rapide que la discrimination de formes symétriques, la reconnaissance des formes symétriques est plus rapide que la reconnaissance des formes asymétriques (Locher et Simmons, 1978). En effet, si quelques mouvements exploratoires suffisent à repérer les asymétries de la figure, une exploration plus complète sera nécessaire pour vérifier la symétrie. Néanmoins, la symétrie est mieux perçue lorsque l'exploration des figures bi-dimensionnelles est bimanuelle. L'exploration uni ou bimanuelle n'a pas d'impact sur la perception de l'asymétrie de figures bi- et tridimensionnelles ni sur la perception de la symétrie pour des figures tridimensionnelles.

Les figures que nous proposerons lors de la phase expérimentale, seront toutes symétriques et l'exploration sera unimanuelle. Par conséquent, la tâche sera plus difficile que pour des stimuli asymétriques. Toutefois, l'entraînement devrait permettre aux sujets de se rendre compte que le critère de symétrie n'est pas un critère pertinent dans cette situation. Nous pensons donc, que la symétrie ne sera pas pénalisante pour notre tâche. Symétrie ou non, les sujets devront trouver un autre critère de différenciation des figures s'ils veulent réussir la tâche.

Ballesteros, Millar et Reales (1998) expliquent les différences entre stimuli symétriques et asymétriques, par le cadre de référence multiple pour des objets en trois dimensions (verticale gravitaire, axe médian du corps, position de la main par rapport au tronc) et unique et égocentré (axe médian du corps) pour de petites figures bi-dimensionnelles. De ce fait, la symétrie dans la condition bimanuelle permet de centrer l'objet par rapport au corps et donc de coder plus précisément les mouvements.

Toutefois, nous pensons que la symétrie favorise la mise en place des procédés métriques, en permettant aux sujets de faire glisser leurs doigts sur la longueur et ou la largeur, sans être perturbés par des informations discordantes en provenance des doigts et dues à une asymétrie de la figure. En effet, si pendant le parcours, les doigts recueillent des informations différentes, le sujet devra inhiber ou recalculer la longueur en pondérant les distances selon le décalage entre les informations, avant de parvenir à l'extraction des informations métriques. Le traitement sera donc plus difficile dans cette situation particulière.

## 2- La propriété de longueur

Les travaux sur l'estimation des distances euclidiennes débouchent sur des résultats contradictoires. En effet, selon la modalité de réponse, les auteurs montrent une sous-estimation dans le cadre d'une réponse motrice (Klatzky, 1999) et une surestimation dans le cadre d'une réponse verbale (Lederman et al, 1987). De plus, le mode exploratoire influence la perception des longueurs. Ainsi, lorsque les sujets utilisent un mode exploratoire statique, les amplitudes d'erreurs sont plus élevées que pour une

exploration dynamique de la longueur (Lederman, Klatzky et Barber, 1985). Lanca et Bryant (2001) étudient également l'incidence de l'imagerie visuelle sur les performances des sujets. Les résultats montrent que l'imagerie visuelle aide la perception de représentations euclidiennes. Toutefois, cette aide ne permet pas d'améliorer l'estimation de la taille réelle. Elle permet seulement de préciser celle de la taille relative. De plus, l'usage de l'imagerie visuelle est variable selon les sujets. Ces auteurs interprètent ces résultats comme une validation du modèle par médiation visuelle développé par Klatzky et Lederman (1987). Ce modèle postule que les informations haptiques sont traduites en images visuelles. De nombreux travaux montrent d'ailleurs le rôle de l'expérience visuelle sur les performances haptiques des sujets (Lederman, Klatzky, Chataway et Summers, 1990 ; Heller, 1989, De Beni et Cornoldi, 1988 ; Cornoldi et Vecchi, 2000). Cependant, Lanca et Bryant (2001) montrent également que les erreurs systématiques observées dans une tâche de complétion de chemin peuvent très souvent être attribuées au mode de réponse verbal ou moteur, comme nous l'avons vu ci-dessus. Les erreurs sont donc tardives et ne peuvent donc pas être expliquées par la traduction visuelle précoce des informations haptiques. Ces données sont en désaccord avec le postulat de Fujita, Klatzky, Loomis et Golledge (1993) selon lequel les erreurs interviendraient au moment de la perception, de la création de la trace mentale du chemin parcouru ou de la formation d'une représentation de l'espace appris, soit avant la construction d'inférences et de calculs de la trajectoire. Ainsi, si l'imagerie visuelle a une incidence sur les performances en proposant un cadre de référence dans lequel le sujet peut tester ses inférences, nous ne pensons pas que cet effet soit dû à une traduction précoce de l'information haptique en information visuelle. En revanche, l'expérience visuelle et le cadre de référence visuelle qui s'ensuit, va permettre d'activer des traces communes aux différentes modalités (Ninio, 1996). Ces traces pourront alors faciliter le traitement des informations haptiques.

### 3- La propriété d'orientation

Les données expérimentales indiquent que les droites obliques sont plus difficiles à évaluer que les droites verticales ou horizontales. Cet effet est appelé effet de l'oblique ou anisotropie. Il peut être interprété comme la résultante du mode de référence. Le codage serait plus complexe dans le cadre des obliques en raison d'un double codage des axes verticaux et horizontaux (Gentaz et Hatwell, 2000). Gentaz, Luyat, Cian, Hatwell, Barraud et Raphel (2001) montrent d'ailleurs expérimentalement, que l'orientation verticale est utilisée comme mode de référence des orientations obliques. Ces auteurs se proposent par la suite, de tester la seconde partie de l'hypothèse d'un double codage vertical et horizontal des obliques, à savoir le mode de référence horizontal. Millaret Al-Attar (2000) mettent également en évidence le lien entre les illusions haptiques et le mode de référence. Ces auteurs vont plus loin en proposant d'expliquer les correspondances entre les illusions haptiques et visuelles sur la base de ce mode de références multiples qui agirait pour les deux modalités.

Si la modalité visuelle est beaucoup moins séquentielle que la modalité tactile, les

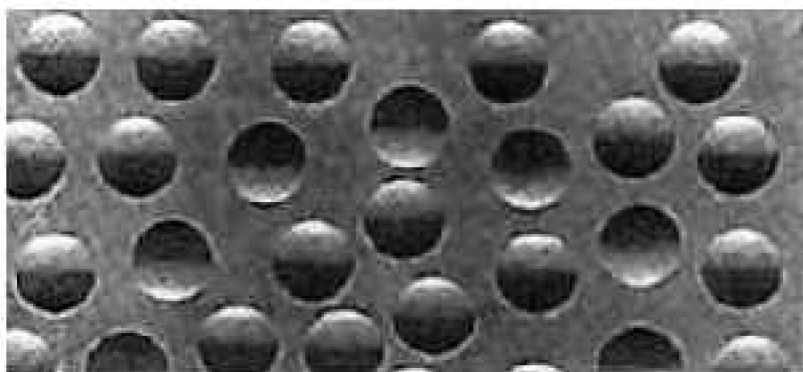
traitements de l'une peuvent nous apporter des informations sur l'autre. Nous allons donc interroger les traitements impliqués dans la perception d'une scène visuelle, dans le but de mieux appréhender la modalité haptique.

## 4- Les propriétés de contour et de surface

### 4-1 Le traitement du contour et de la surface à partir de la perception d'une scène visuelle

---

Une scène visuelle est constituée de nombreuses informations. Parmi ces informations, il faut regrouper celles appartenant au même objet. Pour cela, les champs récepteurs des cellules du cortex strié vont jouer un rôle, en limitant la largeur du champ visuel total pour se consacrer à une petite zone. Distinguer les objets les uns des autres, nécessite (Boucart, 1996) de délimiter des formes par un traitement du contour (récepteurs sensibles à l'orientation), de remplir les formes par un traitement de la surface (récepteurs sensibles à la polarité du contraste) et d'extraire des caractéristiques physiques permettant de segmenter les formes et leurs parties. Le système visuel débute son traitement par une analyse des contours avant de poursuivre sur une analyse de la surface. Le contour permet de construire une esquisse de la scène, tandis que le traitement de la surface est guidé par les connaissances sur la structure du monde. Ainsi, Ramachandran (1992) a montré que les nuances de gris sont interprétées en terme de niveaux de profondeur différents, en lien avec la position de la source de lumière. Dans la nature, la source de lumière est le soleil. Elle provient donc du haut. Par conséquent, des disques foncés sur le haut et clairs en bas sont interprétés comme des creux alors que des disques clairs en haut et foncés en bas, sont considérés comme des bosses (figure 3). Le relief en est totalement changé, comme nous pouvons le voir sur la figure 4.



*Figure 3 : Illustration de l'interprétation des informations de surface selon les connaissances, d'après Ramachandran (1992).*

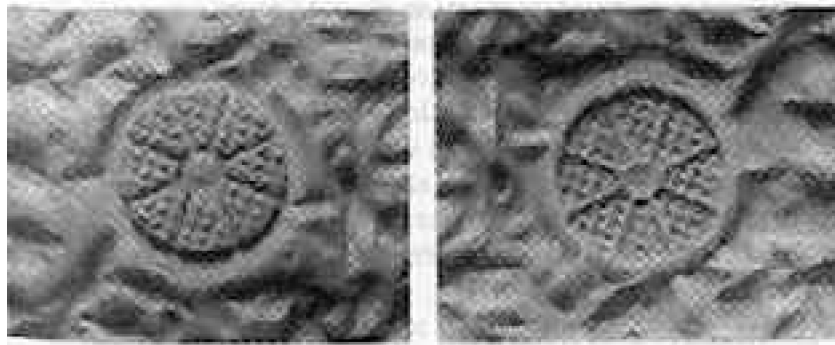


Figure 4 : Illustration des différences d'interprétations des ombres d'après Ninio (1996).

## 4-1-1 Les principaux mécanismes

### 4-1-1-1 LE TRAITEMENT DES BORDS ET DES DISCONTINUITÉS

Le traitement du contour se réalise par trois mécanismes principaux (Boucart, 1996). Le premier mécanisme est le traitement des bords et des discontinuités du contour d'une petite région du champ visuel (informations locales). Ce mécanisme dépend des propriétés de proximité spatiale et de colinéarité des traits constitutifs du contour. Ces propriétés expliquent que des éléments proches ou d'orientation semblable sont perçus comme une unité et non comme des éléments séparés. Ces effets ont été relevés chez les humains pour des formes simples dans l'illusion du soleil<sup>6</sup> (Zucher et Davis, 1988) ou la détection d'une ligne (Beck, Rosenfeld et Ivry, 1989) par exemples, et pour des formes complexes avec des dessins d'objets (Boucart, Delordet Giersch, 1994). Dans ce dernier cas, les auteurs ont proposé une tâche d'appariement de figures avec la présentation d'un modèle puis d'une cible et d'un distracteur. Les sujets devaient dire laquelle des deux propositions représentait le modèle. Les résultats indiquent que les performances sont identiques en terme de taux d'erreurs et de temps de réponse pour des figures complètes ou discontinues, mais seulement dans la mesure où l'espacement entre deux éléments colinéaires du contour est inférieur ou égal à 10 minutes d'arc. Les performances chutent si les propriétés d'espacement et de colinéarité ne sont pas respectées. Ces effets de colinéarité et de proximité spatiale s'expliquent au niveau neuronal par la présence de cellules spécialisées :

- des cellules codant l'orientation : les cellules sont regroupées en colonnes codant des orientations identiques ou proches
- des récepteurs de terminaison codant les discontinuités, les fins de lignes et les coins.
- Le premier type de cellules intervient dans le processus d'intégration des contours locaux en une configuration globale et le second, dans le processus de segmentation et de délimitation des parties.

<sup>6</sup> Illusion du soleil : Des droites sont organisées en soleil autour d'un cercle imaginaire. Le cercle imaginaire semble plus lumineux que le fond.

#### **4-1-1-2 L'INTÉGRATION DES CONTOURS**

Le second mécanisme est l'intégration des contours des grandes régions du champ visuel. Cette intégration est réalisée par le biais de « champs d'association » (Field, Hayes et Hess, 1993). Un champ d'association est défini par des connexions latérales entre les colonnes de cellules sensibles au même type d'orientation. Les orientations sont reliées les unes aux autres pour former une unité perceptive du contour. Un mécanisme complémentaire a été mis en évidence chez le chat. Ce mécanisme découle de la notion de champ d'association, autrement dit, de la synchronisation des oscillations des neurones. Si des orientations sont semblables ou très proches, l'enregistrement des oscillations correspondant aux réponses des neurones à ces orientations, révélera une oscillation en phase, alors que pour des orientations différentes, les oscillations seront déphasées (Gray, König, Engel et Singer, 1991). McCormick et Jolicoeur (1992) ont également suggéré l'existence d'un mécanisme d'intégration par des processus de haut niveau, avec le déplacement d'un opérateur de taille variable le long des lignes et des courbes de l'objet. Les auteurs ont qualifié ce mécanisme de « routine de traçage ». Cependant, la séquentialité du traitement et par conséquent, le temps de traitement, semblent peu compatibles avec la rapidité du traitement visuel. En revanche, en raison de la taille des champs récepteurs haptiques et donc de la nécessité d'une exploration successive des parties, ce mécanisme semble bien refléter les traitements en jeu dans l'exploration haptique. D'autre part, le traitement des jonctions est essentiel pour le codage de la fermeture des formes et donc pour l'intégration des contours dans une grande région du champ visuel. Biederman (1987) a d'ailleurs mis en évidence le rôle des jonctions dans l'identification d'objets.

#### **4-1-1-3 LES CONNAISSANCES**

Le troisième mécanisme concerne les connaissances sur les objets. L'une des questions perpétuelles est : qui de la ségrégation figure/fond et de l'identification est à l'origine de l'autre ? Autrement dit, la ségrégation de la figure et du fond permet-elle l'identification ou bien est-ce l'identification qui permet la ségrégation de la figure et du fond ?

En fait, les deux possibilités sont réalistes. Si le sujet a une connaissance préalable de l'objet, l'identification va lui permettre de différencier la forme du fond. En revanche, s'il n'a aucune connaissance à priori, la ségrégation figure/fond va lui permettre d'accéder à l'identification. Ainsi, l'identification d'un dessin d'objet incomplet sera facilitée par un indice sémantique (Reynolds 1985). Nous retrouvons cette facilitation dans le cadre de la modalité haptique lorsque le nom de base de l'objet est donné (Lederman et Klatzky, 1990). De même, l'identification d'une partie de l'objet va guider le traitement en complétant les parties manquantes ou cachées et permettre l'identification complète (Rock 1975). Nous verrons également que de la présence ou de l'absence de connaissances préalables, dépend un choix de recherche de l'information ascendant ou descendant (Klatzky et Lederman, 1987). La question d'un traitement global préalable à un traitement local ou d'un traitement local avant un traitement global engendre de nombreux débats et débouche sur des conceptions théoriques opposées. D'un côté nous trouvons les partisans d'une conception directe de la perception et de l'autre les partisans

d'une conception indirecte ou construite de la perception.

#### **4-1-1-4 CONCEPTION DIRECTE OU INDIRECTE DE LA PERCEPTION**

Dans la conception directe, l'entrée de la perception visuelle est la modification des contrastes dans le réseau optique. La richesse du réseau ôte toute ambiguïté à l'information. De ce fait, cette dernière va pouvoir être intégrée directement au réseau (Gibson 1966), sans traitement préalable.

Dans la conception indirecte ou construite de la perception, l'entrée est l'image rétinienne. Les images doivent être analysées et regroupées avant d'être intégrées. La perception est donc un processus actif de construction. Or, toute construction est sujette à erreur. Cette approche cognitive explique ainsi toutes les illusions visuelles (Kanizsa, 1979). En revanche, elle n'explique pas la rapidité et l'efficacité de la perception visuelle alors que la conception directe, plus écologique rend compte de ce phénomène.

Les deux approches sont souvent opposées. Cependant, nous sommes plus favorables à la conception selon laquelle la perception est un compromis entre ces deux courants (Bruyer, 1994). En effet, ces deux processus ne sont pas forcément incompatibles. Selon la tâche et le contexte de perception, le sujet peut traiter l'information différemment (Thorpe, 1994). Nous retrouverons d'ailleurs cette dualité lors de la recherche haptique des informations de propriétés avec la déclinaison en deux processus (de haut en bas et de bas en haut) de la notion de diagnosticité (Klatzky et Lederman, 1987). Cette notion de diagnosticité répond à la question de la place du sujet et du stimulus, à savoir, l'opération perceptive dépend-elle des caractéristiques du stimulus ou bien des attentes du sujet, de ses inférences basées sur ses connaissances (rôle de la mémoire) et du contexte ?

Dans le premier cas, le traitement est de bas en haut et est conduit par les données, alors que dans le second cas, le traitement va de haut en bas et est dirigé par les concepts. La recherche d'informations sera donc différente, avec une recherche ouverte (globale) dans la première condition et une recherche ciblée (analytique) dans la deuxième situation. Le traitement analytique permet de reconstruire la forme, même quand l'objet est partiellement caché. Le traitement global permet d'élaborer des hypothèses à partir de la forme globale. Au niveau cortical, il semblerait que le traitement analytique soit plutôt dévolu à l'hémisphère gauche et le traitement global à l'hémisphère droit. Loin d'être incompatibles, ces deux notions sont complémentaires et vont se succéder dans le traitement. Les informations de l'un des traitements vont guider la recherche de l'autre. Cette double possibilité de traitement, nous intéressera particulièrement. En effet, du choix d'un processus de recherche de l'information, dépendra un choix de procédures exploratoires. Nous étudierons l'évolution de la recherche d'informations en fonction du statut visuel des sujets, de leur compréhension du problème soumis et du bénéfice d'un entraînement à la tâche. Nous reviendrons sur ce double traitement, à propos du modèle de la boucle sélection-extraction des procédés exploratoires (Klatzky et Lederman, 1993).

Bruce et Green (1990) suggèrent, en accord avec l'approche directe, la possibilité d'extraire des propriétés physiques sans inférences ni hypothèses (intégration directe de

l'information pertinente du réseau) sans pour autant rejeter l'hypothèse d'un traitement de détection des propriétés. Ainsi, deux niveaux de traitement se succéderaient : un traitement précoce de détection de propriétés avec construction d'informations issues d'un traitement des stimuli et un second niveau de traitement où ces informations seraient intégrées directement au réseau. Cependant, selon le cadre théorique des auteurs, des modèles très différents sont nés. Nous nous proposons à présent d'étudier quelques modèles, issus d'une position théorique tranchée en faveur de l'une ou l'autre de ces conceptions, pour savoir quelles informations peuvent nous apporter ces modèles. Dans le cadre d'une approche directe, Gibson (1950) a développé son modèle autour du concept « d'affordance ». Dans une approche constructiviste, nous aborderons le modèle de Marr (1982) et le modèle de Biederman (1987).

#### ***4-1-1-4-1 Un exemple de conception directe de la perception***

##### **L'approche écologique de la perception selon Gibson (1950-1966) :**

Dans ce modèle écologique, l'entrée de la perception visuelle est la modification constante du réseau optique. Ces modifications découlent des mouvements des yeux, de la tête ou de la scène visuelle ce qui provoque des perturbations dans la structure visuelle. Les mouvements sont traités en terme de vitesse, de direction et d'amplitude de déplacement. Il s'agit donc d'un mécanisme perceptif dynamique informant sur la profondeur et le recouvrement des objets. Pour Gibson, les processus de traitement cognitif sont liés à la recherche d'informations en mémoire et n'interviennent pas dans la reconnaissance d'objets. L'objet se présente directement au sujet, permettant une utilisation directe. C'est le concept « d'affordance » que l'on peut traduire par offrande (Bruyer 1994). L'objet s'offre directement au sujet.

#### ***4-1-1-4-2 Deux exemples de conception indirecte de la perception :***

##### **4-1-1-4-2-1 Le modèle computationnel de Marr (1982)**

Le processus d'analyse en place dans le modèle de Marr est ascendant (de bas en haut). L'extraction des données se réalise exclusivement à partir des données sensorielles du stimulus. Les connaissances n'ont aucun rôle. La perception des données se déroule en deux temps. Dans un premier temps, une ébauche primitive brute est élaborée sur la base des changements de luminance locale. Dans un second temps, une ébauche primitive complète (dimension : deux et demi) est obtenue en regroupant les discontinuités. Cette ébauche permet de discriminer les contours et les textures. Les différentes structures de la scène visuelle sont ensuite délimitées selon le principe de regroupement, ce principe étant lui-même soumis aux lois de la Gestalt. Les lois de la Gestalt ont défini un principe d'organisation. Ces lois sont :

- la loi de la proximité : les éléments proches spatialement ou temporellement ont tendance à être perçus comme appartenant à un ensemble,
- la loi de la ressemblance : les éléments qui se ressemblent (forme, couleur,

---

en vertu de la loi du droit d'auteur.



texture,...) ont tendance à être regroupés,

- la loi de la continuité : les éléments qui sont dans le prolongement les uns des autres ont tendance à être assemblés,
- la loi de la fermeture : les figures fermées sont préférées aux figures ouvertes,
- la loi de la ségrégation de la figure et du fond : une figure et un fond sont attribués à une scène visuelle (Guillaume, 1937).

La notion de « bonne forme » découle du respect de ces lois. Cette notion de « bonne forme » se traduit chez Marr par la constitution de « cônes généralisés » issus de l'association des primitives 2,5D. Ces cônes généralisés sont à la base de toutes les formes, qu'elles soient naturelles ou géométriques. Pour extraire la forme, le sujet va utiliser « un générateur de contour planaire ». Ce générateur va effectuer un traitement dont le résultat sera la mise en évidence de la silhouette puis du contour. La silhouette émergera grâce à la projection d'un ensemble de points sur les frontières de l'objet. Le rôle de ce générateur est de reconstruire l'objet en trois dimensions. Cette représentation 3D est indépendante du point de vue du sujet et est normalisée pour pouvoir être confrontée aux représentations en mémoire. A ce stade, l'objet n'est pas encore reconnu. Une étape supplémentaire est nécessaire pour attribuer un sens à l'objet. Pour cela, la représentation 3D sera confrontée aux descriptions d'objets conservés en mémoire selon une hiérarchie précise. La représentation est tout d'abord comparée aux représentations les plus globales avant d'être dirigée vers des représentations plus précises. Cet appariement ne s'effectue que sur un aspect descriptif, autrement dit, sur la représentation physique. L'accès au niveau fonctionnel puis sémantique de l'objet n'intervient que dans un second temps. L'accès au sens n'est réalisé que si la tâche l'impose.

Ce modèle proposé par Marr (1982) puise son origine dans les travaux en Intelligence Artificielle et n'a pas trouvé de validation expérimentale chez l'homme. De plus, ce modèle n'explique pas la capacité de certains sujets agnosiques à reconnaître les objets uniquement par l'intermédiaire de détails.

### **4-1-1-4-2-2 Le modèle de Biederman (1987) :**

Le modèle de Biederman (1987) reprend les principes généraux développés par Marr mais avec des modifications. La première grande différence réside dans le processus d'analyse ascendant pour Marr et descendant (de haut en bas) pour Biederman. Le modèle de Biederman offre donc la possibilité d'une entrée sensorielle composée de données conservées en mémoire et pas seulement de données issues d'un stimulus. Le sujet a donc accès, dès la première phase de traitement, aux propriétés de l'objet. Rappelons que pour Marr, la mémoire n'intervient que dans la phase finale du traitement de la perception visuelle. La perception des données s'effectue en deux temps, comme pour Marr, avec une extraction des caractéristiques de surface, suivie d'une extraction de la ou des formes constitutives de la scène. La première phase réalise le codage des contours grâce à l'activation des cellules corticales spécialisées dans l'orientation. Le contour est extrait selon les propriétés non-accidentelles, ce qui offre une indépendance

vis-à-vis du contexte. Les propriétés non-accidentelles sont les propriétés essentielles de l'objet. Elles sont présentes quel que soit le contexte (point de vue,...). Cette première phase est une étape passive d'extraction de l'information soumise à l'analyse physiologique des données alors que la seconde est une phase dynamique de regroupement des éléments pour en extraire la ou les formes constituantes de la scène visuelle. Le principe de regroupement des éléments suit les règles des propriétés non-accidentelles, à savoir, les règles de colinéarité, de curvilinéarité, de symétrie, de parallélisme,... A l'issue du regroupement, des formes volumétriques de base émergent. Ce sont les « géons » (contraction anglophone d'ions géométriques). Ces géons sont des composants de base, constitutifs de tous les objets, au même titre que les cônes généralisés de Marr. Ces géons sont au nombre de trente-six. La spécificité de ces géons, respectueux des propriétés non-accidentelles, évite l'élaboration de la représentation tridimensionnelle des objets : les propriétés non-accidentelles sont en effet valables pour des objets bi et tridimensionnels. Contrairement à Marr pour qui les connaissances sémantiques et syntaxiques sont exclues du traitement, Biederman prend en compte le rôle des connaissances sur la reconnaissance. Ainsi, la familiarité de l'objet ou sa probabilité d'apparition dans une scène visuelle, influence la reconnaissance : il est plus aisé de reconnaître un canapé dans un salon que dans une piscine. Ce type de modèle est parfaitement compatible avec le processus d'identification des objets selon une hiérarchie sémantique de la mémoire (Rosch, Mervis, Gray, Johnson et Boyes-Braem, 1976) que nous exposerons ultérieurement.

Pour Biederman, Mezzanotte et Rabinowitz (1982), l'interprétation d'une scène visuelle doit inclure l'identification des objets et la compréhension des relations spatiales et sémantiques des objets de la scène. Pour cela, cinq règles doivent être respectées :

- pour les contraintes physiques :
  - la règle de support : un objet repose sur une surface,
  - la règle d'interposition : un objet opaque masque ce qu'il y a derrière,
- pour les contraintes sémantiques :
  - la règle de la probabilité de présence d'un objet dans une scène,
  - la règle de localisation spatiale : un objet d'une scène doit être dans un endroit précis,
  - la règle de taille : un objet doit avoir une taille acceptable pour la scène.

Ces deux modèles (Marr et Biederman) sont développés dans une conception indirecte de la perception. Le modèle de Biederman a un avantage sur le modèle de Marr, dans le sens où il a recueilli des validations expérimentales chez l'homme, contrairement au modèle de Marr. Cependant, ils n'expliquent ni l'un ni l'autre la reconnaissance d'objets particuliers : pourquoi différencions-nous la voiture de notre voisin de la notre, un visage d'un autre ? Les modèles issus d'une conception directe sont plus explicatifs de ce type de phénomènes mais sont démunis face à d'autres événements comme les illusions.

---

Aucun modèle ne peut rendre compte de la totalité d'une perception. Il y a sans doute co-existence de plusieurs processus, s'activant dans des conditions différentes, pour des tâches différentes et peut-être de façon variable selon les individus. Nous pensons à ce point de notre réflexion, au modèle de la vicariance (Reuchlin, 1978) postulant qu'un sujet va résoudre une tâche en utilisant un processus particulier dans une situation donnée. Ce processus est déterminé par une hiérarchie d'évocabilité. Mais avant d'aborder cette notion de vicariance en détails, nous nous proposons de nous pencher sur les activités mentales. Cette étude nous permettra d'aborder des notions essentielles pour la compréhension de la perception haptique et de ses processus.



# Chapitre 3 : des activités mentales aux différences individuelles.

## 1- L'architecture cognitive

Trois niveaux d'activités cognitives peuvent être distingués dans une étude mesurant l'influence d'un entraînement haptique sur la reconnaissance de figures en relief. Le premier niveau est un niveau perceptif. Il permet le traitement des informations sensorielles telle que l'extraction des propriétés des objets (forme, dimensions, texture,...). L'extraction des propriétés est directement liée aux données neuro-anatomiques du système haptique.

Le second niveau appartient aux activités mentales (Richard J.F, 1998). Ces activités mentales se développent sur la base des informations issues des traitements sensoriels, autrement dit, des informations issues de l'activité perceptive. Du fait des origines diverses des informations, les processus de traitement des activités mentales ne sont pas modulaires et sont par conséquent, sensibles au contexte de la situation et de la tâche. En ce qui nous concerne, ce niveau intervient dans le choix des procédés d'exploration et permet d'expliquer les différences de sélection des stratégies en fonction du statut visuel notamment au travers du modèle de la vicariance (Reuchlin, 1978).

Le troisième niveau correspond à une activité motrice englobant la programmation motrice, l'exécution et le contrôle des mouvements (réalisation comportementale) (Richard, J.F 1998). Ce dernier niveau correspond à la mise en place des procédés d'exploration. Nous consacrerons un chapitre à l'étude de ces procédés d'exploration (Lederman et Klatzky, 1987 ; Appelle1990). La figure 5 propose un schéma récapitulatif de ces niveaux.

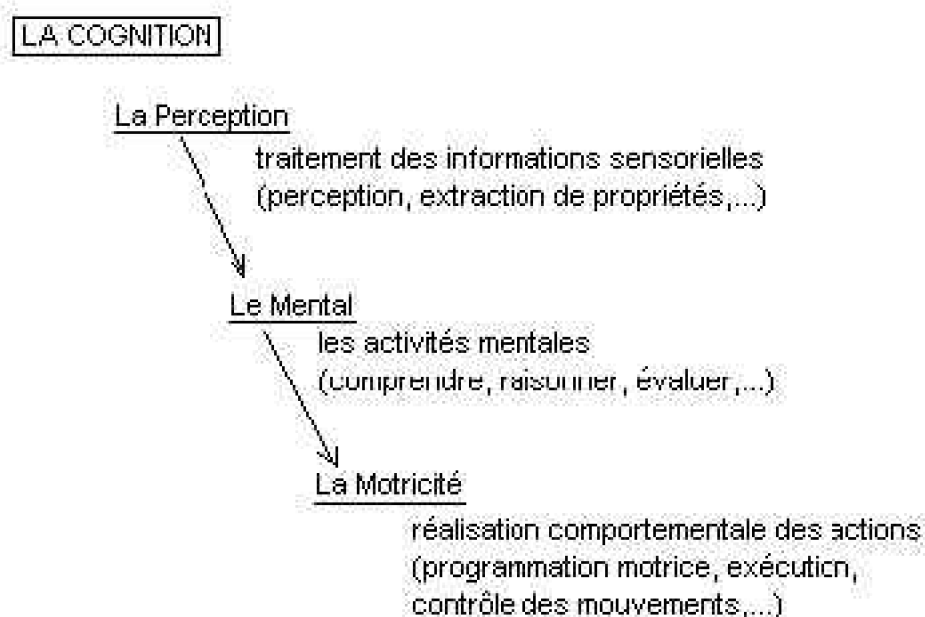


Figure 5 : Schéma récapitulatif des niveaux d'activités cognitives (Richard, J.F., 1998).

Dans ce présent chapitre, nous allons nous intéresser plus particulièrement au second niveau des activités cognitives, qui correspond aux activités mentales. Nous avons dit précédemment que les activités mentales se développaient à partir des informations issues d'un traitement perceptif et se concrétisaient, dans leur voie externe, par une activité motrice (voie comportementale) en passant par une décision d'action. Elles peuvent également se terminer par la mémorisation d'informations ou par des représentations de la situation, ce qui constitue la voie interne.

## 2- Les représentations

Les représentations en jeu dans les activités mentales sont des constructions circonstanciées et transitoires, produites dans un contexte particulier. Elles sont à différencier des connaissances qui sont des constructions permanentes, emmagasinées en mémoire à long terme (Richard, J.F, 1998). Tandis que les connaissances dirigent les activités mentales, les représentations sont les activités mentales. Il est important d'autre part, de souligner que les représentations ne sont pas figées. Elles se modifient en

permanence (Pacteau, 1990). Les représentations ne sont pas des fins en elles-mêmes, elles sont des étapes de traitement. Chaque modification s'effectue sur la base de la représentation précédente, ce qui fait qu'elles sont en constante relation avec des possibilités de retour en arrière (*feed-back*). Michel Denis (1989) parle de produit de représentation pour qualifier la nouvelle représentation, issue de la modification de la représentation précédente.

Cette conception des représentations en tant que support de traitement et donc comme nature même des traitements, explique en partie les différences individuelles. En effet, les représentations ont une part de subjectivité puisque ce sont des modèles intériorisés de l'environnement et des actions de l'individu sur l'environnement (Craddock et Guerrien, 1998). Les individus vont donc développer et utiliser différemment leurs représentations selon leurs préférences, mais aussi en fonction de la situation (Pacteau, 1990). Nous reparlerons de cette variabilité dans la formation des représentations à propos du modèle de la vicariance et de l'effet de contexte et à propos de la *diagnosticité des propriétés* d'un objet par exploration haptique (Klatzky et Lederman, 1987).

### 3- Fonctions des activités mentales

Revenons à notre premier propos avec les activités mentales dont Richard, J.F (1998) a décrit les six grandes fonctions :

- |   |    |
|---|----|
| La conservation des structures cognitives permanentes : connaissances, croyances  | 1. |
| L'élaboration des décisions d'actions des tâches de résolution de problèmes, d'exécution non automatisée (adaptations de procédures générales existantes), d'exécutions automatisées.                                       | 2. |
| Construction des représentations  | 3. |
| Production d'inférences à visée épistémique (représentation) ou pragmatique (décisions d'actions). Une inférence est la création de nouvelles informations à partir des connaissances et des informations sur la situation. | 4. |
| Construction de connaissances   | 5. |
| Régulation et contrôle de l'activité.   | 6. |

Ces six fonctions se répartissent selon trois axes :

- comprendre : construire des interprétations
- raisonner : produire des inférences
- évaluer : produire des jugements

Ainsi, l'activité de compréhension engage la construction de représentations et de connaissances ; l'activité de raisonnement, l'élaboration de décisions d'action, de construction et de représentation des connaissances ; la production d'inférences et

l'activité d'évaluation, la conservation des structures cognitives permanentes et les fonctions de régulation et de contrôle à tous les niveaux d'activités. Le tableau III propose un récapitulatif.

Bien entendu, ces activités mentales sont soumises à des contraintes extérieures comme les activités de mémorisation ou les activités perceptives qui les infléchissent en fonction du type d'informations qu'elles offrent, de la rapidité de leur traitement et de la compatibilité de traitements en simultanée.

Le premier axe est l'activité de compréhension. Il peut se réaliser :

- par particularisation d'un schéma contenant une procédure valable pour une classe de situation
- par construction d'une structure conceptuelle
- par construction d'une représentation particularisée de la situation
- par analogie. L'analogie s'effectue dans trois cas, lorsque la nouvelle situation diffère de la première par :
  - des variations numériques ou sémantiques,
  - des contraintes supplémentaires nécessitant donc une adaptation de la situation de référence,
  - des variations sur la structure relationnelle du problème (sans différences numériques ou sémantiques)

	COMPRENDRE	RAISONNER	EVALUER
DEFINITION BUTS	Construction des inférences ○ Serenimenter ○ Avoir	Probleme des inférences ○ Construction des interprétations (problème d'interprétation) ○ Intégration des objets et d'actions, définir des plans d'actions, problème des réponses d'actions (problème pragmatique) ○ former des hypothèses ○ Développer des heuristiques de résolution	Probleme des jugements ○ Déterminer ○ Detecter des incidents et des impasses
NOUVEAUX	○ Les structures des connaissances en mémoire ○ Les inférences (au l'existence d'éléments, au l'attribution de propriétés, de relations, de distances d'actions)	○ Les règles sur la condition de passage des informations aux conclusions ○ Les connaissances en mémoire	○ Les informations sur les objets et situation ○ Les données ou critères à prendre en compte
FONCTIONS APPLIQUES	○ Construction des représentations ○ Construction des connaissances ○ Régulation et contrôle des activités	○ Elaboration d'actions ○ Construction de représentations ○ Construction de connaissances ○ Production d'inférences ○ Régulation et contrôle des activités	○ Construction des structures cognitives permanentes ○ Régulation et contrôle des activités

Tableau III : Tableau récapitulatif des activités mentales et de leurs caractéristiques (d'après Richard, J.F, 1998).

L'activité de raisonnement (tableau IV) se subdivise en trois (Richard, J.F, 1998 ; Ripoll, 1998) :

- Le raisonnement inductif : permet la compréhension plutôt au travers de généralisations.
- Le raisonnement déductif : s'oriente vers la compréhension plutôt au travers de la



particularisation.

Le raisonnement en situation : débouche sur l'élaboration de décisions d'actions au travers de généralisations et de particularisations.

TYPE DE RAISONNEMENT	LES INFÉRENCES		
	INDUCTIF	DEDUCTIF	EN SITUATION
RUE	Compréhension (production d'inférences)	Compréhension (production d'inférences)	Elaboration de décisions d'actions
DIRECTION	Généralisation	Particularisation	Généralisation et particularisation
DOMAINES	Classifications	Logique, argumentation	Résolution de problèmes

Tableau IV : Caractéristiques des types de raisonnement (d'après Richard J.F, 1998)

Nous avons consacré une partie de notre travail aux activités mentales afin de montrer la complexité des traitements lors de la résolution d'une tâche. Nous ne prétendons pas apporter des éléments de précision dans ce domaine au cours de notre thèse, mais bien au contraire, utiliser ces connaissances pour mieux comprendre et appréhender les différences individuelles et intergroupes, notamment en fonction du statut visuel. En effet, les connaissances antérieures des sujets ne sont pas mesurables et pourtant elles sont sans doute à l'origine de la grande variabilité dans le choix des procédures et des stratégies d'exploration. Toutefois, les connaissances construites à partir des informations visuelles peuvent être prise en compte grâce à la distinction entre aveugles précoces et aveugles tardifs. Le modèle de la vicariance (Reuchlin, 1978) nous permettra de réfléchir plus longuement à la variabilité inter-individuelle. Toutefois, notre recherche traitant de l'influence d'un entraînement, il nous semble important à ce point de notre travail, de nous pencher sur la notion d'apprentissage et notamment sur ses différentes formes.

## 4- La notion d'apprentissage

### 4-1 Définition

La définition courante de l'apprentissage est celle d'apprendre un métier ou un savoir-faire. Mais comment ce savoir-faire est-il acquis ? La notion d'acquisition induit la notion de répétition. Ainsi, Reuchlin (1996) considère qu'il y a apprentissage lorsqu'un sujet modifie sa conduite durablement et systématiquement à force de se retrouver plusieurs fois dans la même situation. Dans cette définition, les effets de l'apprentissage

sont mis en avant mais pas son mécanisme. Ce qui est observé, c'est la modification du comportement, or, le comportement n'est pas obligatoirement modifié dans l'instant, et ce, même si l'apprentissage est bien effectif (Craddock et Guerrien, 1998 ; Doré et Mercier, 1992). Au moment de l'observation, les conditions ou la motivation du sujet ne permettent pas forcément la mise en place du comportement modifié. La modification du comportement n'est, en effet, qu'une manifestation de l'apprentissage et non l'apprentissage en tant que tel. De plus, un certain temps est parfois requis pour que l'apprentissage soit réellement effectif, c'est-à-dire pour qu'il se révèle au travers d'un comportement. L'apprentissage est alors achevé mais pas encore opérationnel. Ce laps de temps nécessaire entre l'apprentissage lui-même et l'observation de ses effets puise son origine dans les changements internes à l'individu, notamment au niveau des représentations <sup>7</sup>. En effet, pour Doré et Mercier (1992) « l'apprentissage consiste à construire ou à modifier la représentation qu'un organisme a de son environnement. ». Or, si les représentations évoluent sur la base d'informations issues de l'environnement, les informations n'agissent pas systématiquement sur les représentations. Elles sont parfois mémorisées sous forme de souvenirs, avant d'intervenir directement dans le processus de modification des représentations. La modification des représentations, qui induit une modification des potentialités d'un individu (Craddock et Guerrien, 1998) n'intervient donc pas au moment même où les performances et le comportement sont observés. De plus, pour que les représentations puissent être modifiées, il ne faut pas qu'elles soient en contradiction totale avec les informations nouvelles, ni exactement identiques, ce qui évidemment ne serait aucunement informatif (Roitblat, 1982, 1987).

## 4-2 Les types d'apprentissage

---

Voyons à présent, les grands types d'apprentissage et leurs mécanismes sous-jacents. Deux grandes catégories d'apprentissage peuvent être distinguées (Doré et Mercier, 1992 ; Richard J.F, 1998 ; Craddock et Guerrien, 1998) :

- L'apprentissage par transmission revêt soit une fonction sociale (transmission des valeurs, des connaissances, des croyances,...) soit une fonction adaptative (apprentissage du danger avant d'en faire l'expérience, de la sécurité, de la protection, du savoir-faire,...). Ce type d'apprentissage regroupe :
  - l'apprentissage par l'observation, qui prend quelques fois la forme de l'imitation
  - l'apprentissage par enseignement où un tiers intervient directement auprès de l'apprenant, c'est l'apprentissage dispensé par les journaux, les éducateurs, les parents, les enseignants,...
  - l'apprentissage coactif dans lequel deux personnes ou plus s'influencent mutuellement.

<sup>7</sup> représentation : modèle intériorisé que l'individu construit de son environnement et de ses actions sur l'environnement (Craddock et al 1998)

- L'apprentissage direct qualifié également d'apprentissage par l'action. En effet, dans cette forme d'apprentissage, les progrès sont attribués à la réalisation d'une activité. Le sujet agissant analyse les conséquences de son action ce qui lui permet d'acquérir de nouvelles connaissances. Ainsi, un mécanisme de rétroaction, la rétroaction étant une action en retour d'un effet sur sa propre cause, permet au sujet d'établir des liens entre son action et le résultat de son action. Cette nouvelle connaissance lui permet de produire des inférences afin de modifier ses actions, et donc les conséquences de celles-ci, jusqu'à l'atteinte du but fixé. Cette notion de rétroaction, n'est pas sans rappeler *la loi de l'effet* développée par Thorndike dans le cadre de l'apprentissage opérant. Nous reviendrons sur ce point.

L'apprentissage par l'action prend lui aussi plusieurs formes :

- L'habituation en est la forme la plus simple. Elle vise à la diminution progressive de l'intensité d'une réponse. Cette technique est particulièrement adaptée pour l'étude des transferts intermodaux chez les bébés car elle est simple et ne nécessite pas une médiation par le langage.
- Le conditionnement classique ou Pavlovien consiste à associer un stimulus à un autre stimulus auquel le sujet répond. Le but souhaité est que par la suite, le premier stimulus suffise à engendrer la réponse attendue.
- Le conditionnement opérant ou instrumental pour lequel la réponse du sujet est suivie de conséquences, c'est-à-dire qu'à une réponse succède un renforcement (positif ou négatif). L'une des formes de cet apprentissage est l'apprentissage par essais-erreurs. Dans ce dernier, la découverte de la solution est accidentelle. Thorndike (1874-1949) a proposé une loi dite *loi de l'effet* dont le point central est que la satisfaction suivant une action, augmente la probabilité d'apparition de celle-ci dans une situation semblable. Le problème de cette loi réside dans la difficulté à définir objectivement la notion de satisfaction. Toutefois, cette idée a été reprise et développée par la suite avec le concept de renforcement : le renforcement étant un événement survenant immédiatement après une action et capable de modifier la probabilité de cette réapparition (Doré et Mercier, 1992).
- L'apprentissage par la découverte (Richard J.F, 1998) concerne les tâches impliquant une résolution de problème. Le mécanisme de ce type d'apprentissage nous intéressera particulièrement pour comprendre la difficulté que les sujets éprouvent lorsqu'il s'agit de passer d'une tâche à une autre très proche mais dont la résolution oblige le sujet à changer de stratégie. Nos sujets seront placés dans ce type de situation lorsqu'ils seront face à une tâche identique à celle qu'ils ont rencontrée lors des précédentes séances, mais avec des stimuli différents (passage des rectangles aux hexagones). Ils devront alors s'adapter à la nouvelle situation malgré la ressemblance des tâches. Trois types d'acquisition sont à distinguer :
  - la catégorisation du problème : le sujet doit s'apercevoir que la situation à résoudre appartient à une classe générale (elle intervient dans l'élaboration de réseaux sémantiques et l'acquisition d'une expertise)

- la construction de connaissances spécifiques à la situation pour :
  - \* modifier l'état de la situation
    - + éliminer les inférences erronées qui gênent la résolution
    - + construire les pré-requis des actions pour que ces derniers puissent se réaliser.
- créer des buts et sous-buts
  - créer des buts négatifs (ne pas se trouver dans tel état)
  - créer des sous-buts (procéder par étapes)
  - ordonner les sous-buts
- changer de point de vue : définir un nouvel espace lorsque le sujet se trouve dans une impasse.
- la construction de connaissances générales
- L'apprentissage discriminatif (Richard J.F, 1998 ; Hatwell, 1986) a pour but de trouver la règle de classification. Cette règle peut-être soit unidimensionnelle, un seul attribut est alors à trouver (la couleur par exemple) ; soit multidimensionnelle, dans ce cas, la règle de classification est constituée de plusieurs attributs (couleur et forme par exemple). Dans cet apprentissage, le sujet doit trouver la règle de classification avec pour seules informations un renforcement en terme de oui ou non : aucune autre information n'est fournie. Cette technique a souvent été utilisée pour l'étude des transferts intermodaux vision-toucher (Hatwell, 1986). Les protocoles proposaient alors des attributs très discriminables : le but était de comprendre comment la règle de renforcement était induite et transférée. Nous reprendrons en partie cette technique pour étudier la perception différentielle de stimuli, par conséquent ces derniers seront peu discriminables. Nous reviendrons sur ce point lors de notre phase expérimentale. Le but ne sera pas alors d'étudier le transfert de la règle, mais la manière dont les sujets s'adaptent à la tâche et mettront en place des procédures efficaces.

## 5- De l'apprentissage à la modélisation de la structure psychique

Pour résumer cette partie sur l'apprentissage, nous pourrions dire que les grandes théories qui prétendaient expliquer le processus de l'apprentissage par un mécanisme

unique ont été abandonnées au profit de l'étude des multiples mécanismes dont certains sont parfois spécifiques à un seul type d'apprentissage (Craddock et Guerrien, 1998). Aujourd'hui, c'est surtout la part méthodologique de ces grandes théories qui intéresse les chercheurs. En effet, l'étude des résolutions de problème ou des transferts intermodaux par exemple, partent souvent des protocoles d'apprentissage. Toutefois, des processus généraux peuvent encore expliquer le principe général du phénomène d'apprentissage. Ainsi, en se référant à Minder (1999), nous pouvons dire qu'apprendre est transformer le savoir grâce à l'apport d'informations nouvelles issues de l'interaction du sujet avec l'environnement. Les expériences modifient les comportements en réorganisant la structure psychique. L'apprentissage est donc la réorganisation de la structure psychique préexistante provenant de la modification des représentations et des connaissances sous l'action d'expériences. Minder (1999) schématise ce processus de la manière suivante :

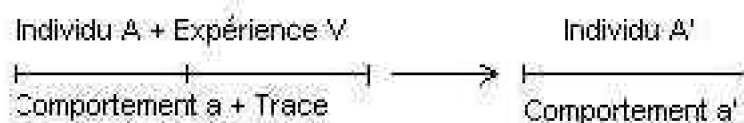


Figure 6 : Schématisation de la réorganisation de la structure pré-existante (Minder, 1999)

La trace produite par une expérience sur un individu A va modifier le comportement a de cet individu en un comportement a'. La modification de ce comportement a en a' modifie par voie de conséquence l'individu A en un individu A'. Ce processus adaptatif n'est pas sans rappeler le modèle de la vicariance développé par Maurice Reuchlin en 1978. Ce modèle est principalement issu des théories de l'apprentissage mais peut s'appliquer à d'autres domaines (Reuchlin, 1999). Nous en verrons d'ailleurs une illustration à propos de la *diagnosticité des propriétés* (Klatzky et al, 1987). Même si cette notion ne s'est pas développée à partir des processus vicariants, une certaine similitude peut tout de même être établie avec la notion de *hiérarchie d'évocabilité*.

## 5-1 Défectologie et vicariance

En effet, la *hiérarchie d'évocabilité* correspond à un classement des processus à la disposition d'un sujet, en fonction de leur probabilité d'apparition pour une tâche donnée. Cette probabilité d'apparition dépend de facteurs divers comme la réussite, la vitesse, le coût,... Ainsi, l'extraction d'une propriété particulière pourrait induire une probabilité d'apparition plus forte de la stratégie d'exploration la plus susceptible d'amener le sujet à la réussite. Toutefois, selon les individus la hiérarchie d'évocabilité peut varier. En effet, chaque individu a une histoire propre qui peut influencer sur ses choix. La question qui se pose alors, est de savoir s'il est possible de modifier cette hiérarchie. Reuchlin (1978) pose l'hypothèse au vu de la littérature portant notamment sur les conditionnements opérant et classique et sur l'apprentissage d'évitement, que l'apprentissage permettrait de modifier la hiérarchie d'évocabilité. Qu'en est-il pour un entraînement haptique ? C'est ce que nous nous proposons d'expérimenter dans cette recherche au niveau du choix des procédés d'explorations haptiques, dans une approche de la défectologie<sup>8</sup>. En effet, dans un système cognitif sans déficit sensoriel, les différentes modalités sensorielles sont

en interaction les unes avec les autres (interaction intra-systémique). De plus, ce système est situé dans un environnement avec lequel il entretient des échanges (interaction inter-systémique). Or, si l'une des modalités sensorielles vient à être lésée, toutes les interactions présentes avant la lésion sont maintenues en l'état dans un premier temps, puis vont être modifiées pour permettre l'adaptation du système à son nouvel état. Toutefois, le cerveau va conserver en mémoire une trace des anciennes interactions. C'est ce que nous avons vu précédemment au niveau du phénomène de plasticité cérébrale. Ainsi, les aveugles tardifs auraient la possibilité d'activer leur cortex visuel primaire pour des tâches non visuelles (Hamilton et Pascual-Leone, 1998 ; Büchel, Price, Frackowiak et Friston, 1998) mais dans une moindre mesure que les aveugles de naissance. Ceci nous amène à envisager un second type de système pour des personnes dont une des modalités sensorielles n'a jamais été activée (Portalier, 1996). Dans ce système, aucune interaction intra-systémique ne pourra être mise en place avec la modalité déficitaire. Les données de la neurophysiologie mettent en évidence ce phénomène et montrent que les aveugles précoces ont développé une structuration corticale originale (De Volder, 1997 ; De Volder et al, 1997) avec une implication des aires pariéto-occipitales visuelles dans des tâches auditives ou tactiles. La figure 7 illustre parfaitement les différences entre les trois systèmes : sans déficit, avec déficit précoce, avec déficit tardif).

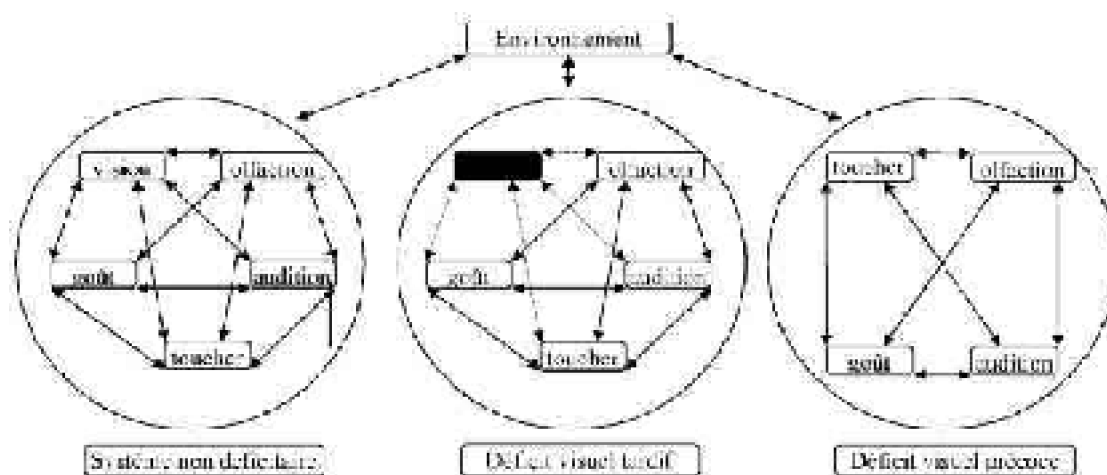


Figure 7 : Modélisation des interactions du système sensoriel appliqué aux systèmes déficitaires et non déficitaires (d'après Portalier, 1996).

## 5-2 Le modèle de la vicariance

Les différences issues de ces organisations ont nécessairement une incidence sur le choix des processus, ce qui nous ramène à la notion de vicariance. Concrètement, la vicariance cognitive (Reuchlin, 1978) pose l'hypothèse que dans une situation donnée, le

<sup>8</sup> le terme de défectologie a été employé pour la première fois par Lev Semionovitch Vygotsky (1896-1934) pour désigner une science visant à l'étude dynamique du développement de l'enfant handicapé, avec pour hypothèse principale une « compensation optimale du déficit par l'émergence de compétences originales et nouvelles chez le sujet handicapé ».

sujet peut choisir entre plusieurs stratégies selon la probabilité de réussite de chacune.

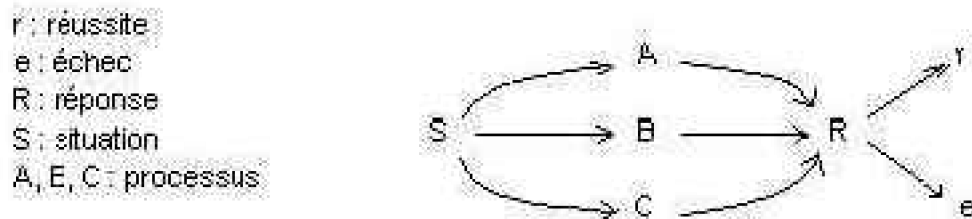


Figure 8 : Les Processus vicariants, d'après Reuchlin (1978).

Par exemple, face à une situation (S), les processus A, B et C sont disponibles. Le choix de ces processus peut aboutir à une réussite comme à un échec, dans un temps variable. Le sujet aura tout intérêt à choisir la stratégie qui a la probabilité de réussite la plus élevée dans un minimum de temps, c'est-à-dire avec le meilleur rapport qualité/temps. Mais, pour une tâche requérant de la rapidité, il sera préférable de miser sur le temps d'exécution le plus court, en faisant le plus possible abstraction du résultat. Inversement, dans une tâche où prime la qualité, le sujet optera certainement pour le processus le plus performant, quelle que soit la durée d'exécution nécessaire. Supposons, à présent, que la stratégie la plus adéquate pour résoudre la tâche nécessite un traitement visuel. Que se passe-t-il pour une personne aveugle tardive ? Dans ce cas, cette personne ne pourra pas recourir à ce processus. En revanche, elle pourra réaliser sa tâche grâce aux autres processus à sa disposition, même si cela lui demande plus de temps, plus d'énergie (processus moins économique) ou un risque plus grand d'échec. Elle aura ainsi pallié à son déficit par un processus vicariant. Pour une personne aveugle de naissance, avec une structuration cognitive originale, il est probable que le processus en question n'existe tout simplement pas. A la place du processus A, la personne aura développé des processus originaux, passant par d'autres modalités. Parallèlement les processus B et C des voyants et des aveugles tardifs diffèrent certainement en raison de la réorganisation de la structuration cognitive des aveugles tardifs.

## 6- Le traitement des informations

### 6-1 La prise de référentiel

D'autre part, l'étude des processus vicariants implique la prise en compte des informations issues de récepteurs propriocepteurs et extérocepteurs. Les informations issues du premier type de récepteurs dépendent de capteurs situés dans les muscles, les tendons et les articulations et de capteurs détectant les mouvements du corps (chapitre 1). Les secondes, en provenance des récepteurs extérocepteurs dépendent des propriétés physico-chimiques mesurables comme la lumière, le son, la chaleur,... (Bonnet, 1998). Quelle que soit l'origine de ces informations, elles peuvent renseigner soit sur

l'extérieur (informations extéroceptives) soit sur l'intérieur (informations proprioceptives). Les informations sont donc traitées sous deux aspects : le type de récepteurs et le type d'informations véhiculées (Reuchlin, 1990). En fonction de la sélection des informations, les sujets vont avoir des représentations différentes d'une même situation. Ainsi la prise de référentiel (Ohlmann, 1990) aura une incidence sur le choix des procédés d'exploration mis en place, et ce, indépendamment du statut visuel. Le sujet peut choisir d'être informé soit :

- sur sa position dans l'espace par rapport à des invariants spatiaux, c'est-à-dire par rapport à des repères fixes dans l'environnement.
- soit sur sa posture et les modifications de sa posture, autrement dit de sa position et des mouvements de son corps aux travers d'informations internes.

Pour cela trois référentiels de base sont à sa disposition :

- le référentiel gravitaire qui correspond à la verticale
- le référentiel égocentré qui correspond à l'axe tête-tronc-pieds
- le référentiel visuel

Ces référentiels sont substituables les uns aux autres (Ohlmann, 1990). Le choix des sujets va donc s'effectuer en fonction de la situation mais aussi en fonction de leurs préférences. Or, choisir un référentiel, c'est également sélectionner des registres de stratégies différents pour résoudre une tâche. Ainsi, dans une situation haptique de comparaison de longueurs, une personne qui aura une stratégie de comptage de la distance (correspondant à un type de stratégie métrique) (Appelle, 1980), sera une personne ayant opté pour un référentiel égocentré, alors qu'une personne qui aura sélectionné un référentiel exocentré comparera les figures en prenant un écart de base fixe entre son pouce et son index par exemple. Dans le premier cas, les récepteurs impliqués seront d'ordre proprioceptif (capteurs articulaires et de détection de mouvements,...). Dans le second cas, ils seront d'ordre extéroceptif (pression,...). Cependant, dans les deux situations, les informations porteront sur des éléments concernant l'extérieur (informations extéroceptives).

Au niveau du système haptique, Lederman, Klatzky et Barber (1985) expriment également cette dichotomie dans le codage des informations spatiales. Ces auteurs définissent un mode de codage extrinsèque basé sur un cadre de référence cartésien et un mode de codage intrinsèque basé sur le mouvement d'exploration du système épaule-main. Nous retrouvons donc là encore la distinction entre un codage nécessitant l'activation de capteurs propriocepteurs (muscles, articulations, tendons,...) et un codage impliquant des capteurs extérocepteurs, codant des propriétés physico-chimiques mesurables. Le choix de ces modes de codage dépend à la fois de la propriété spatiale à traiter et des conditions expérimentales (Gentaz, 2000).

D'autres conséquences sont liées à ce choix de référentiel et notamment le phénomène d'*anisotropie* ou d'*effet de l'oblique*. Gentaz (1997) explique en partie cet effet en situation tactile par des indices gravitaires. Il a montré que la diminution de l'amplitude des indices gravitaires permet de réduire l'effet de l'oblique.



Ainsi, le domaine de la perception spatiale est particulièrement bien adapté à l'étude des processus vicariants (Ohlmann, 1990). D'autant plus qu'au choix d'un référentiel de base, s'ajoute la possibilité de recodages fonctionnels (visuels, proprioceptifs, auditifs) : des informations temporelles pourraient ainsi bénéficier d'un recodage dans la modalité auditive ; et les informations spatiales, d'un recodage visuel. C'est un point central du transfert intersensoriel (Hatwell, 1986). Or, pour les aveugles de naissance, qui par définition n'ont pas d'expérience visuelle, un recodage des informations spatiales dans la modalité visuelle semble difficile. Ceci se traduit dans la littérature par le constat des faibles performances des aveugles de naissance dans les tâches spatiales. Cependant, ce recodage visuel des informations spatiales n'interviendrait pas pour des tâches simples (Friedes, 1974, 1975).

De plus, des illusions habituellement dévolues au système visuel s'observent également chez des aveugles de naissance (Carpenter et Eisenberg, 1978). L'hypothèse d'un double recodage pourrait expliquer ce phénomène, c'est-à-dire que les informations subiraient un premier recodage proprioceptif avant d'être recodées visuellement (Paillard, 1971, 1974, 1987). Mais d'autres recodages peuvent avoir lieu selon la situation. Ces recodages successifs concourent à la diversité des informations finales et donc à des différences interindividuelles (Ohlmann, 1990), mais également à des différences intergroupes puisque les aveugles de naissance ne recoderont pas les informations de la même manière que les aveugles tardifs ou les voyants (Bertalanffy, 1980). Ceci aboutira à un registre de stratégies différent avec une hiérarchie d'évocabilité différente en fonction du statut visuel.

### 6-1-1 Les recodages

Le modèle de Connolly et Jones (1970) sur le recodage perceptif propose un recodage des informations pour passer d'une modalité à l'autre, les modalités étant spécifiques. Ce recodage interviendrait avec la mémorisation des informations, donc à un niveau précoce du traitement. De plus, ce modèle spécifie que chaque modalité dispose de ses propres registres de mémoire. Or, les données expérimentales ont invalidé à la fois l'hypothèse d'un recodage immédiat et celle de registres de mémoires spécifiques à chaque modalité (Hatwell, 1994).

### 6-1-2 Le rôle de la mémoire

Toutefois, le rôle de la mémoire dans les situations de transfert intermodal n'est pas à négliger. Dans la modalité visuelle, deux types de mémoire ont été distingués : la mémoire explicite ou épisodique et la mémoire implicite.

La mémoire explicite est un système de conservation des informations marquées temporellement, c'est-à-dire qu'elles rassemblent tous les événements (ou épisodes) vécus par la personne qui les a encodées.

La mémoire implicite quant à elle, agirait à un niveau pré-sémantique et pré-lexical. Elle ne serait pas liée au contexte et traiterait donc les propriétés physiques des objets indépendamment de leur sens (Tieberghien, 1994 ; Hatwell, 2000). La mémoire implicite récupérerait les informations encodées sous contrôle sensoriel et serait donc plus

performante lorsque l'encodage est de type perceptif. Ainsi, une tâche portant sur des éléments perceptifs comme le comptage des barres contenues dans un stimulus favoriserait la récupération des informations de la mémoire implicite, tandis qu'un traitement de plus haut niveau, comme l'indication de la fonction d'un objet privilégierait la récupération des informations en mémoire explicite.

Le rôle du contexte et du rappel des événements vécus dans la mémoire explicite, implique cette dernière dans le processus de reconnaissance des objets, alors que l'indépendance par rapport aux contextes et aux événements antérieurs permet à la mémoire implicite de traiter des informations intervenant dans l'identification des objets (Srivinas, Greene et Easton, 1997).

Cette distinction entre mémoire explicite et mémoire implicite a des conséquences sur les données expérimentales lors des transferts entre les modalités haptiques et visuelles. Ainsi, les tâches requérant la mémoire explicite sont affectées par les changements de modalités mais pas celles concernant la mémoire implicite (Srivinas, Greene et Easton, 1997). La situation intramodale offre donc de meilleures performances de reconnaissance (mémoire explicite) que le transfert intermodal alors que les deux conditions présentent des performances stables lors des tâches d'identification impliquant la mémoire explicite (Hatwell, 2000). De ce fait, l'hypothèse de l'amodalité soutenue par les Gibson (E et J) est partiellement ruinée.

Un recodage est donc nécessaire. Nous savons à présent que ce recodage n'est pas immédiat et intervient différemment selon le type d'information extrait et selon l'implication des mémoires explicite et implicite. Si une asymétrie existe entre les transferts intermodaux et les situations intramodales selon le type de mémoire concerné, une autre asymétrie a été observée entre les conditions intermodales haptique-vision et vision-haptique (Hatwell, 1986, 1994). Pour expliquer ce phénomène Pick et Saltzman (1970) ont proposé un recodage dans la modalité dominante. En effet, les modalités sont plus ou moins spécialisées et performantes dans un domaine, ainsi la vision est particulièrement adaptée au traitement des propriétés spatiales, alors que la modalité haptique, en raison de ses données anatomo-physiologiques l'est beaucoup moins. De ce fait, les informations spatiales issues de la modalité haptique seraient recodées dans la modalité visuelle. Ceci est vrai également pour les autres modalités. D'une façon générale, lorsqu'une modalité est plus performante que les autres dans un domaine particulier, un recodage des informations issues des autres modalités et concernant ce domaine s'effectuerait dans celle-ci. Ce recodage dans la modalité dominante permet d'expliquer qu'en cas de conflit entre les modalités visuelle et haptique, le conflit est entièrement résolu par la vision, au détriment des informations haptiques (Rock et Victor, 1964 ; McGurk et Power, 1980 ; Misceo, Herhberger et Mancini, 1999 ; Miller, 1972). Ces données expérimentales sont renforcées par les travaux de Lederman, Thorne et Jones (1986) sur les deux composantes de la texture. Le matériel était composé de papiers abrasifs. En effet, si Lederman et Abott (1981) ont observé une réponse de compromis entre la vision et le toucher, c'est-à-dire une moyenne entre les informations issues de la modalité haptique et celles issues de la modalité visuelle, pour les tâches d'évaluation de textures, lorsque les deux composantes de la texture (rugosité et densité spatiale) étaient séparées, les réponses de compromis ont laissé place à une réponse plus différenciée en

fonction de la composante testée. Pour les conditions de rugosité, la réponse montrait une dominance haptique, alors que pour celle de densité, la réponse privilégiait les données visuelles. Or, la rugosité est une propriété matérielle parfaitement traitée par la modalité haptique (Lederman et Klatzky, 1993) tandis que la densité appartient au domaine des propriétés géométriques donc spatiales qui sont traitées de manière privilégiée par la vision. De plus, comme les informations spatiales sont recodées dans la modalité visuelle, ce type de recodage permet de justifier les faibles performances des aveugles de naissance par rapport aux aveugles tardifs et aux voyants aveuglés dans les tâches spatiales (Hatwell, 1994).

## 6-2 Le point de vue de Klatzky et Lederman (1987)

---

### 6-2-1 Le modèle par médiation d'image

Klatzky et Lederman ont été amenées à envisager un modèle de traitement des informations kinesthésiques par médiation visuelle. Pour ces auteurs, la propriété de forme dépend à la fois de paramètres spatiaux et de paramètres temporels. Or, dans leur modèle, l'extraction des informations sensorielles haptiques est basée sur des 'procédures exploratoires' (EP : exploratory procedure). Ces procédures impliquent de traiter des informations sur la position des doigts et de la main, et sur leurs mouvements potentiels. Rappelons que le terme haptique signifie tactilo-kinesthésique autrement dit, il désigne l'alliance de la perception tactile cutanée à des informations de mouvements ou de postures. Les informations kinesthésiques impliquent donc des informations spatiales et temporelles. Les sujets, voyants ou aveugles, surestiment les longueurs de façon proportionnelle à la longueur du chemin parcouru : plus le chemin est long, plus la surestimation est importante (Heller, Calcaterra, Burson et Green, 1994). De même, plus l'exploration est longue, plus la surestimation de la longueur est importante (Lederman et al, 1987). En 1999, Klatzky trouve une sous-estimation de la distance en lieu et place de la surestimation, mais pour une réponse motrice contre une réponse verbale en 1987. L'influence des informations kinesthésiques sur les illusions haptiques a également été mise en évidence par Heller et Joyner (1993). Pour Lederman, Klatzky et Barber (1985), ces informations kinesthésiques ont donc un rôle dans la construction de la représentation dans une tâche de jugement de la distance. Dans une situation d'identification d'objets à partir de son contour, il est impératif de construire une représentation de l'objet exploré haptiquement, en particulier dans le cadre de figures planes. Deux solutions sont alors envisageables :

- -soit les informations kinesthésiques permettent la création d'une représentation spatiale suffisante pour parvenir à l'identification,
- -soit les informations sont recodées en image visuelle

Or, Lederman et al (1985) ont montré que les aveugles congénitaux étaient plus sensibles à l'effet de distorsion du chemin que les aveugles tardifs. Ces données suggèrent l'importance de l'expérience visuelle, notamment dans le cadre du traitement d'informations spatiales. Klatzky et Lederman (1987) ont donc émis l'hypothèse d'un

recodage visuel précoce, dans lequel les informations perceptives haptiques sont immédiatement recodées en informations perceptives visuelles. C'est le modèle par médiation d'image (figure 9). Cependant, ce type de recodage précoce est incompatible avec les études sur le transfert intermodal. Nous avons vu à ce propos que le modèle de recodage de Connolly et Jones (1970) a été invalidé. Dans cette conception, un transfert serait envisageable entre les modalités haptique et visuelle. Or, les données expérimentales prouvent le contraire. Ainsi, les performances sont meilleures en condition intramodales qu'en condition intermodales (Connolly et Jones, 1970).

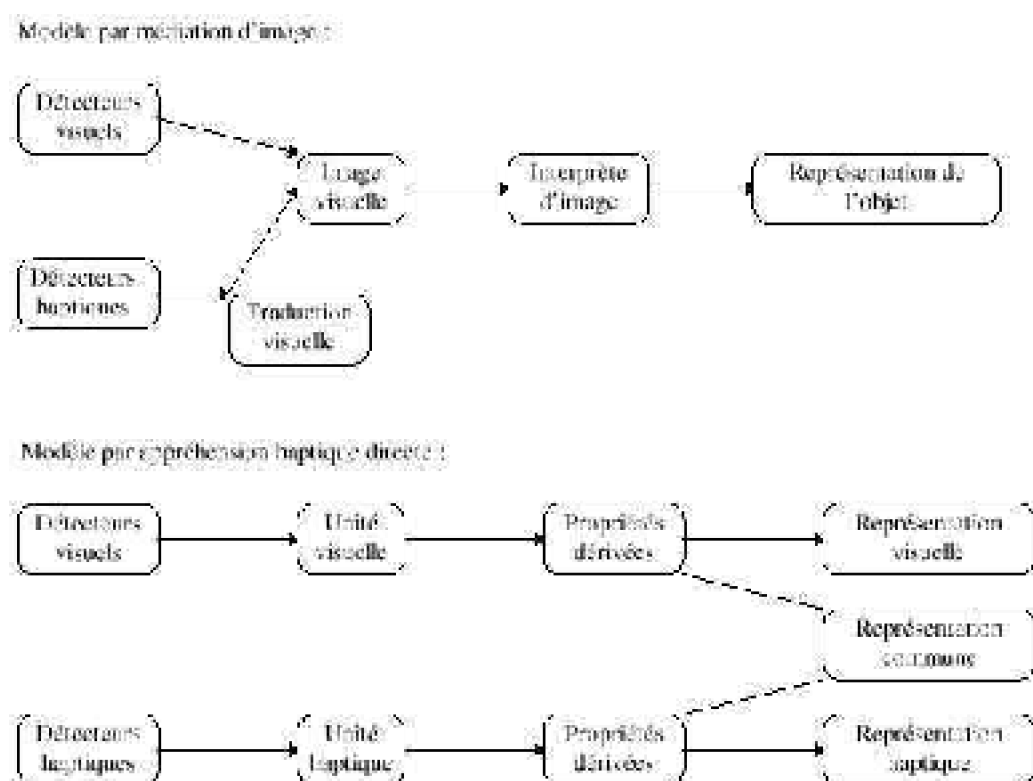


Figure 9 : Les modèles par médiation visuelle et par appréhension haptique directe ( d'après Klatzky et Lederman, 1987).

### 6-2-2- Le modèle par appréhension haptique directe

Klatzky et Lederman (1987) ont donc proposé un autre modèle sans intervention d'un recodage visuel : c'est le modèle par appréhension haptique directe (figure 9). Ce modèle

postule que le système haptique serait multidimensionnel, c'est-à-dire qu'il serait capable de classer les informations selon des critères : de structure (taille, forme, poids,...), de substance (dureté, élasticité, température, texture,...) et de fonctionnalité. Une représentation haptique serait alors élaborée sur la base de ces connaissances. De même, une partie de l'information rejoindrait les connaissances en mémoire sur l'objet touché et permettrait de compléter la représentation commune. Pour Klatzky et Lederman (1987), le système haptique est un système perceptif séparé des autres, avec son propre style de traitement et son propre système physiologique. Cependant, après de nombreuses étapes de traitement, un processus commun entre la vision et la modalité haptique permettrait la construction d'une représentation commune, sachant qu'à ce niveau de traitement, le classement des informations selon leurs propriétés (de structure et de substance) est effectué.

Les informations de substance, sont pour ces auteurs, des informations spécifiques à la modalité haptique ne passant donc pas par la modalité visuelle, ce qui justifie leur modèle par appréhension haptique directe. Cependant, Lederman, Klatzky et al. (1990) pensent que ce mode d'appréhension est peu adapté aux objets en 2D en raison de la séquentialité de l'exploration, d'où les faibles performances des sujets (33% de réussite pour les voyants ; 10% pour les aveugles). La séquentialité de l'exploration existe également pour les objets en 3D. Toutefois, toutes les informations ne sont pas disponibles sur des objets en 2D (volume,...). De ce fait, l'unité perceptive est plus difficile à former.

### 6-3 La notion de trace

---

Ainsi, nous avons vu que le modèle par médiation visuelle est difficilement validable. Cependant, comment expliquer les différences de performances entre des sujets de statut visuel différent ? Si nous nous plaçons dans le cadre d'une appréhension directe, le rôle de l'expérience visuelle ne devrait pas être significatif. Or, l'influence existe. Heller (1989) montre que les aveugles tardifs identifient mieux des dessins d'objets que les voyants aveuglés et Lederman, Klatzky et al. (1990), ont mis en évidence une nette infériorité des aveugles congénitaux. Nous pouvons trouver un élément de réponse dans Ninio (1996). Pour cet auteur, nous posséderions en mémoire des traces très sommaires réparties au sein des différentes modalités. Chaque trace porterait des indications capables d'activer dans les autres modalités les traces qui lui sont associées, autrement dit les traces issues du codage d'une propriété du même objet mais par une modalité différente. Ninio parle « d'empreinte d'empreinte » pour définir « ce fragment particulier dans un module (qui) est associé de manière floue à tout un ensemble de fragments dans l'autre modalité » (Ninio, 1996). Cette « empreinte d'empreinte » qualifie l'infime partie de l'information en mémoire capable d'activer des informations codées dans d'autres modalités, alors même que le codage est spécifique à la modalité. Les aveugles congénitaux, n'ayant par définition aucune expérience visuelle ne peuvent pas activer les traces associées à la modalité déficiente (figure 7). De ce fait, ils se trouveraient dans une impasse. En effet, le dessin est une représentation typiquement visuelle, qui a évolué au fil du temps en fonction de codes bien précis. Selon les cultures et les époques, les représentations ont obéi à des

règles différentes. L'exemple le plus prégnant est peut-être celui de la perspective (Ninio 1996, Encyclopédie Alpha ).

### 6-3-1 Un exemple de représentation

La perspective tente de restituer l'impression de profondeur et de relief d'un espace. Cette impression résulte de la vision binoculaire mais est perdue lors du passage à une représentation plane. Pour la retrouver, l'image est déformée jusqu'à créer une illusion.

Plusieurs techniques sont possibles : la géométrie ; les règles de la perspective aérienne qui incluent les changements de tons, les variations lumineuses, les ombres et la position relative des objets par rapport à la source de lumière ; et la perspective linéaire. Trois types de perspectives linéaires sont distinguées :

- la perspective centrale où le point de fuite <sup>9</sup> se situe dans le tableau,
- la perspective axonomique (droite ou oblique (cavalière)) dans laquelle le point de fuite se situe à l'infini,
- la perspective curviligne où toutes les lignes sont courbes, y compris le plan du tableau (la représentation la plus proche est celle d'une photographie prise avec un objectif grand-angle).

La perspective est donc une représentation symbolique et codée. La représentation graphique quel que soit son mode d'expression (dessin, peinture,...) ou sa technique (type de perspective utilisée, cubisme avec la juxtaposition des plans [de 3/4, de face, de côté,...], utilisation de la couleur, représentation mystique [les dieux sont représentés sous forme de géants]) est une représentation visuelle.

### 6-3-2 L'incidence du statut visuel sur les représentations

Un parallèle peut d'ailleurs être établi avec le traitement de l'information visuelle (Boucart, 1996). La représentation graphique nécessite par conséquent une expérience visuelle ou du moins, une initiation de ces codes. Or, les aveugles congénitaux s'intéressent à l'art et pratiquent parfois eux-mêmes, une activité artistique (Uldry, 1995). Cependant, les peintures ou autres représentations planes leur sont difficilement accessibles sans accompagnement verbal. Mais dans ce cas, pouvons-nous encore parler de représentations visuelles ? Toutefois, Kennedy, Gabias et Nicholls (1991) et Kennedy (1997), montrent que les enfants aveugles ont intégré certains concepts du dessin comme le contour ou la non représentation des parties non visibles, peut-être pourrions nous dire également des parties non touchées. En effet lorsqu'un objet est touché uniquement sur un côté, les informations sur l'autre côté ne sont pas accessibles. Ce concept est particulièrement intégrable pour des aveugles du fait de la séquentialité du toucher. Mais ces notions ne sont peut-être pas suffisantes pour décoder un dessin. D'autant plus que les aveugles congénitaux sont vite dépassés par la perspective (Heller et al., 1996). De ce fait, le matériel pédagogique adopte plutôt une représentation des objets tri-dimensionnels, par projection orthogonale, avec la décomposition des objets côté par côté (Morice, 1992 ; Bris et Morice, 1995). D'autres représentations optent plutôt pour une

<sup>9</sup> Le point de fuite est le point de convergence de toutes les droites. Il donne une illusion de profondeur. Les droites convergentes sont vues parallèles selon le principe de ce qui est plus loin est perçu comme plus petit.

représentation éclatée des dessins, où les yeux, les oreilles et la bouche d'un bonhomme sont représentés à côté de la tête et les membres détachés du tronc (Poncer, 1986). Cependant, ces décompositions des parties, que ce soit sous la forme de projection orthogonale ou de démembrement, pose la question de la reconstruction de l'unité perceptive. En effet, si l'objet peut être appréhendé directement comme le suppose le principe de l'affordance (Gibson, 1966), le morcellement des éléments d'un objet va rendre la reconnaissance complexe voire impossible. Dans cette situation, le sujet devra analyser chaque partie pour en créer une représentation, avant d'assembler toutes ces représentations en une seule. Les coûts mnésiques et attentionnels sont donc très importants et ces modes de représentations potentiellement contestables. Toutefois, s'ils n'offrent pas de solutions miracles, ils ont au moins l'intérêt de proposer des tentatives de substitution et des pistes de réflexion. Ce phénomène est renforcé par le fait que les aveugles congénitaux, privés d'expérience visuelle, ne peuvent pas activer des représentations visuelles à partir des informations haptiques et donc n'accèdent pas ou peu à l'identification. L'identification ne survenant que sur la base des représentations haptiques. Rappelons que seuls 10% des dessins ont été identifiés. D'autre part, les résultats des sujets testés au test du VVIQ (visual vividness imagery questionnaire) révèlent de faible capacité d'imagerie (Klatzky et Lederman, 1987). Cependant, lorsque ce ne sont plus des dessins d'objets mais des représentations de figures géométriques (Heller, 1989), les performances des aveugles de naissance sont identiques à celles des aveugles tardifs, pour une tâche d'appariement de figures. Or, les formes géométriques sont des formes de base présentes dans tous les objets (Biederman, 1987). Ainsi, le goulot d'une bouteille ou d'un bol est un cercle ; une feuille ou une enveloppe, un rectangle... Ces formes géométriques sont donc représentées en mémoire quel que soit le statut visuel des sujets et indépendamment de la modalité visuelle.

Les aveugles tardifs, quant à eux, ont bénéficié d'une expérience visuelle et conservent par conséquent des représentations visuelles. De plus, ils ont une certaine expérience de la modalité haptique. Ces sujets associent donc des expériences visuelles et haptiques, ce qui les rend plus performants dans les tâches d'identification d'objets, que les aveugles congénitaux et les voyants sous occlusion visuelle momentanée (Heller, 1989). Cependant, lorsque les objets sont complexes, la séquentialité du toucher rend le traitement des informations excessivement difficile. Ainsi, Hatwell et Martinez-Sarrocchi (2000), nous révèlent que les oeuvres de Camille Claudel démotivent un nombre considérable d'aveugles, même passionnés d'art, en raison de la multitude de détails contenu dans les oeuvres de cette artiste.

Les voyants sont experts en modalité visuelle mais peu familiarisés aux tâches haptiques. Ceci les rend relativement longs dans leur exploration même pour des tâches d'appariement de figures géométriques (Heller, 1989). Dans ces conditions, un entraînement haptique devrait leur permettre de se construire une expérience et d'améliorer ainsi leurs performances. Si ce n'est pas le cas, cela signifierait que le modèle par appréhension directe n'est pas suffisant à expliquer ces résultats. Auquel cas, nous pourrions envisager de reconsidérer notre position sur le modèle par médiation d'image, du moins dans une certaine mesure.

En effet, tout en doutant de l'existence d'un traducteur visuel précoce, nous ne

pouvons rejeter l'idée selon laquelle les sujets cherchent à transformer les informations haptiques en informations visuelles pour se créer une représentation visuelle de l'objet touché qui leur est plus familière. Si les sujets cherchent directement à visualiser l'objet alors qu'il n'y a pas de possibilité de traduction, ils vont se retrouver dans une impasse. C'est-à-dire qu'ils seront d'une part, dans l'impossibilité de visualiser correctement l'objet touché et d'autre part, ils seront amenés à écarter le travail de construction de représentation haptique afin de libérer le maximum d'espace en mémoire pour tenter la traduction visuelle des informations haptiques. En effet, la séquentialité de l'exploration haptique contraint fortement la mémoire (Lederman, Klatzky, Chataway et Summers, 1990), il est donc difficile de construire en parallèle une représentation haptique et une représentation visuelle. Ainsi, il est probable que les voyants aveuglés cherchent en grande majorité à recoder les informations haptiques en informations visuelles puis que, peu à peu, ils abandonnent cette méthode vouée à l'échec pour s'engager dans un processus d'appréhension haptique directe. Toutefois, lorsque les stimuli sont des formes géométriques simples, le traitement en parallèle sera plus aisé. Et ce, d'autant plus facilement que les sujets pourront mettre en place un mode de recherche de l'information ciblée. De plus, une grande variabilité interindividuelle peut exister avec des sujets qui persistent dans une voie sans issue et d'autres qui envisagent des solutions vicariantes. L'écart-type pourra donc se révéler important pour ce groupe. Ce point de vue justifie la différence entre les notions de déficit et de handicap : à déficit égal, le handicap pourra être très différent selon les individus. L'une des raisons de cette variabilité du niveau de handicap résulte peut-être de cette capacité à sortir d'un cadre de référence pour en investir un autre. Nous retrouvons ce type de difficulté dans le cadre des résolutions de problèmes (Bastien, 1997 ; Richard J.F, 1998). Ainsi, des aveugles tardifs pourraient persister dans un raisonnement visuel alors même que cette modalité est indisponible, et être par conséquent plus handicapés qu'un sujet qui aurait changé son mode de raisonnement. De ce fait, ce groupe peut également intégrer des personnes qui vont essayer de résoudre une tâche haptique par un raisonnement impliquant la modalité visuelle, et ce d'autant plus pour des représentations basées sur une représentation visuelle comme des dessins d'objets. De ce fait, ce groupe peut aussi contenir une grande variabilité interindividuelle, contrairement aux aveugles congénitaux, qui n'ayant jamais eu de représentations visuelles ne vont pas tenter un recodage visuel des informations haptiques.

Nous envisageons donc le modèle par médiation d'image non pas comme un modèle permettant un traitement efficient, mais comme un modèle de ce que les sujets tendent à effectuer. Toutefois, il est envisageable de penser que certaines informations haptiques vont activer en mémoire des informations ayant une trace commune (Ninio, 1996), et donc que dans certaines situations, l'expérience visuelle soit une aide à l'identification (De et Cornoldi, 1988). Heller et al. (1996) montrent que les aveugles précoces obtiennent seulement 37% de réussites lors d'identifications de dessins en relief, même lorsque le nom de la catégorie de l'objet est donné, contre 70% pour les voyants et les aveugles tardifs.

D'ailleurs, des traitements en parallèle existent. Ainsi, la vision peut parfaitement remplacer le toucher et inversement, en raison des capacités de ces modalités à traiter



des événements identiques ou très proches, et ce même si la vision semble plus efficace que le toucher dans la médiation des perceptions (Warren et Rossano, 1991). Les deux modalités ne sont pas seulement différentes, elles sont aussi complémentaires. Les interactions entre la vision et le toucher sont donc très complexes.

## 6-4 Les relations intermodalitaires

---

Le transfert intermodal signifie qu'« une information reçue à travers une modalité est utilisée correctement par une autre modalité » (Hatwell, 1994). Il intervient dans deux situations. Les perceptions issues de différentes modalités :

- sont intégrées pour constituer un objet unique multidimensionnel et multimodal
- renseignent sur une seule propriété d'un objet.

Deux courants explicatifs des transferts intermodaux se sont confrontés. Le premier postule que les transferts intermodaux se construisent au cours du développement des différentes modalités : les modalités étant séparées à la naissance et s'associant par la suite. Le second courant s'est surtout développé dans les années soixante, autour des travaux des gestaltistes. Ces derniers considèrent que les modalités ne sont pas différenciées au niveau des percepts. C'est-à-dire que les sensations seraient spécifiques à chaque modalité mais transmettraient des informations amodales donc identiques pour toutes les modalités.

A ces courants opposés et extrémistes, nous préférons des conceptions plus nuancées telle que l'approche de Ninio (1996). Cette approche suppose l'existence en mémoire de traces sommaires pour chaque modalité et comportant des indications capables d'activer les traces liées aux premières, dans les autres modalités. Les informations seraient ainsi spécifiques à chaque modalité mais un fragment de ces informations permettrait d'activer en mémoire les informations semblables, détenues par les autres modalités. Dans la même lignée, nous retrouvons l'approche de Stréri (1991, 2000). Pour cet auteur, toutes les modalités sont compétentes pour détecter des invariants, mais il n'y a pas d'amodalité. C'est-à-dire que toutes les modalités sont spécifiques, seules quelques informations sont susceptibles d'être extraites par toutes les modalités mais avec une « méthode » propre à chacune. Si Stréri accepte une possibilité de transfert primitif entre les modalités à la naissance pour permettre une unité des sens, elle réfute totalement cette idée pour les adultes. Il n'y a pas de transfert direct entre les modalités chez l'adulte. Le transfert nécessite une médiation qui reste à définir mais qui passe peut-être par le langage, la voie motrice ou l'image. En effet, chaque modalité impose des contraintes au système, qui de ce fait ne peut communiquer directement avec les autres. Les données neurophysiologiques semblent valider cette hypothèse d'une intégration précoce des conduites entre modalités puis de spécialisation. Cette spécialisation dépendrait des contraintes biologiques et fonctionnelles de chaque système (Stréri, 2000).

Ainsi les informations unimodalitaires ne peuvent pas être recodées précocement dans une autre modalité. En revanche, nous avons vu qu'une partie de l'information

pouvait activer des représentations issues d'une autre modalité (Ninio, 1996). Une fois que ces représentations ont été activées, le sujet peut parfaitement traiter et analyser ces données en se basant sur la nouvelle modalité. Le recodage interviendrait donc à ce niveau et à partir de l'activation des représentations stockées en mémoire, comme l'illustre parfaitement le modèle par appréhension haptique directe de Klatzky et Lederman (1987). Le traitement est d'abord strictement modalitaire, avant de déboucher sur des représentations communes qui permettront des transferts entre modalités et des traductions.

Nous avons vu précédemment, que l'une des grandes différences entre la vision et le toucher, résultait de la prise d'informations. Alors que la perception haptique est une perception fragmentaire et successive (Hatwell, 1986), la perception visuelle est holistique c'est-à-dire globale. En effet, si la perception visuelle nécessite un balayage de la scène et des saccades oculaires, le traitement est rapide et permet d'obtenir rapidement une vue d'ensemble. A contrario, la perception haptique oblige à une exploration morcelée. Elle résulte de l'extraction et de la recombinaison d'informations partielles pour former une perception globale (Revesz, 1950). Ces différences ont des conséquences sur les relations intermodales. En effet, les données expérimentales mettent en évidence une asymétrie dans le transfert au cours du développement de l'enfant. Ainsi, des bébés de deux mois sont capables de transférer des informations du toucher à la vision mais pas de la vision au toucher (Stréri, 1987) alors qu'à cinq mois, l'inverse se produit (Stréri et Pêcheux, 1986).

Le processus de traitement de la modalité visuelle va du plus simple au plus complexe, c'est-à-dire qu'à partir des informations sur la fréquence spatiale et les changements d'intensité lumineuse, le sujet extrait des formes de bas niveau, appelées *cônes généralisés* (Marr 1982) ou *géons* (Biederman 1987). Ces formes de base sont constitutives de toutes les autres formes. Ainsi, le traitement va du plus simple au plus complexe, tout en gardant une vue d'ensemble de l'objet.

Au contraire, la modalité tactile, en raison de ces multiples entrées et de sa séquentialité, va traiter les informations parties par parties. Les informations extraites seront donc des propriétés : rugosité, texture, angles,... Propriétés qu'il va falloir rassembler en une représentation unifiée. Le traitement est donc long et complexe. Le bébé à deux mois peut ainsi reconnaître tactilement un objet perçu visuellement au préalable, parce que la représentation globale qu'il a de l'objet lui permet de reconnaître des propriétés de texture ou de forme. Par contre, à partir des propriétés isolées extraites d'un objet touché, il ne pourra pas former la représentation globale nécessaire pour reconnaître visuellement l'objet (Hatwell, 1986 ; Stréri, 2000). Le passage d'une représentation globale à une représentation partielle et fragmentée est possible mais l'inverse est beaucoup plus compliqué. Pour tester cette hypothèse Stréri et Molina (1994) ont proposé à des bébés de deux mois des stimuli visuels appauvris. Dans ce cas, le transfert vision-toucher est possible. Le traitement du volume serait donc plus tardif (quatre mois) que le traitement de la forme dans le développement de l'enfant. Ces résultats confortent la théorie d'une construction du volume à partir d'invariants issus des « lois de l'organisation perceptive » établies par les gestaltistes et sont en accord avec les théories de Marr (1982) et de Biederman (1987), tout au moins au niveau de la perception

---

visuelle. En effet, en ce qui concerne le transfert toucher-vision, les résultats montrent que les bébés prêtent attention à des éléments spécifiques comme le contour et non à l'organisation globale du dessin. Le traitement perceptif haptique diffère donc du traitement visuel. Mais ceci n'explique pas l'inversion du transfert à cinq mois. Une autre explication prend alors le relais. A deux mois, la main du bébé n'a pas encore acquis une fonction de transport comme c'est le cas à cinq mois. La seconde explication de ce phénomène résiderait donc dans la contrainte imposée par la maturation du système. L'apparition de la fonction instrumentale de la main à cinq-six mois perturberait dans un premier temps, la fonction perceptive. Or, cette fonction perceptive assure le contact et la connaissance de l'environnement (Stréri, 2000). Le bébé ne parviendrait donc plus, à ce moment de son développement, à extraire les informations haptiques lui permettant de reconnaître visuellement l'objet. Cette idée est renforcée par le fait qu'à six mois, le transfert toucher-vision réapparaît (Rose, Gottfried et Bridger, 1981). Stréri (2000) conclut que d'innée, sous sa forme primitive, l'unité des sens se construit ensuite, afin que l'enfant puisse maintenir ou rétablir une relation avec son environnement.



## Chapitre 4 : l'exploration haptique.

Pour qu'un objet soit perçu haptiquement, il faut bien évidemment qu'un contact s'instaure entre cet objet et les récepteurs cutanés. Cependant, ce simple contact ne suffit pas en lui-même à reconnaître ou à identifier cet objet. Pour cela, deux étapes sont nécessaires. Il faut tout d'abord extraire les propriétés de l'objet. Un ensemble de propriétés caractérise un objet particulier (Klatzky et Lederman, 1993). A ce niveau, deux points sont à prendre en considération. Le premier est comment extraire ces propriétés ? Ceci nous conduira à envisager l'étude des procédures d'explorations haptiques. Le second point nous interrogera sur le traitement des propriétés, en vue de la reconnaissance et de l'identification d'un objet. Ces deux étapes explicitées, nous verrons quelles analogies peuvent être établies entre les modalités visuelles et haptiques. Nous illustrerons notre propos par les travaux de Klatzky et Lederman (1987-1993) sur le traitement des informations haptiques avec le modèle de la macrostructure.

Nous avons vu au cours du chapitre I, les différents récepteurs cutanés et leur rôle dans l'extraction des informations de pression, de température, de vibration ...etc. Mais nous avons également indiqué que ces récepteurs, présents dans la peau, étaient nécessaires mais non suffisants à la modalité tactilo-kinesthésique. A ces récepteurs cutanés, sont adjoints des récepteurs codant les changements de positions, les mouvements,... et impliquant les muscles, les articulations et les tendons. Chacun de ces récepteurs permet d'extraire des propriétés différentes comme la texture, le poids ou la forme.

## 1- Les propriétés des objets

Klatzky et Lederman (1987) relèvent trois classes de propriétés : les propriétés structurelles, de substance et fonctionnelles. En 1993, ces mêmes auteurs préfèrent simplifier les termes et parlent des propriétés matérielles et géométriques au lieu des propriétés de substance et de structure.

### 1-1 Les propriétés matérielles

---

Les auteurs définissent les propriétés matérielles comme des facteurs mesurables telle l'élasticité ou la plasticité : l'indice de déformation pour une tension donnée permettant une mesure objective de cette propriété.

### 1-2 Les propriétés géométriques

---

Les propriétés géométriques sont également qualifiées de propriétés technologiques, et englobent les propriétés de taille, de poids, de volume, d'orientation, de position relative ou encore de forme. La forme (macrogéométrie) est ici traitée comme un espace dans lequel le contour est soumis à des changements d'orientation et de direction, et ce, indépendamment d'informations sur la texture (microgéométrie).

### 1-3 Les propriétés hybrides

---

Une autre catégorie de propriétés est qualifiée d'hybride. Cette classe concerne des propriétés relevant à la fois des propriétés géométriques et des propriétés matérielles. Ainsi, la masse implique l'association de la taille (propriété géométrique) et de la densité (propriété matérielle).

### 1-4 Les propriétés fonctionnelles

---

Enfin, les propriétés fonctionnelles désignent les propriétés directement indiquées par l'objet comme sa fonction et la fonction de ses parties (parties mobiles par exemple).

## 2- Les procédés d'exploration à la recherche des propriétés

Chaque propriété peut prendre plusieurs valeurs. Ainsi, la dimension géométrique

d'orientation peut prendre la valeur verticale ou horizontale ; celle de la position relative, gauche ou droite,...etc. La dimension matérielle de texture peut se décomposer en lisse ou rugueux et celle de dureté en dur ou mou (Lederman et Klatzky, 1997). Signalons que les propriétés sont regroupées en catégories relativement abstraites et sont soumises à des variations. Ainsi, la texture, propriété matérielle, peut-être considérée comme une propriété géométrique si les microéléments sont observés isolément et comparés sur le critère de taille par exemple. Chacun des microéléments devient alors indépendant. Les propriétés peuvent donc être imbriquées les unes dans les autres. C'est pourquoi un découpage en catégories est parfois délicat. Cependant, l'exploration ne s'effectue pas au hasard. Le sujet explorant va choisir en fonction de l'objet qu'il manipule, de rechercher telle ou telle propriété. Pour cela, il dispose de procédures exploratoires. Les procédures exploratoires sont des mouvements ou des contacts stéréotypés de la main et des doigts, spontanément utilisés pour extraire une ou plusieurs propriétés, autrement dit, les invariants de l'objet (Klatzky et Lederman 1987). Les procédés d'exploration en modalité haptique sont de bons indicateurs du type de propriété étudiée. En effet, les procédures exploratoires permettent en fonction du mouvement exercé d'extraire avec plus ou moins d'efficacité, des informations spécifiques. Ainsi, les valeurs de propriétés émergent grâce à l'exploration.

## 2-1 Les procédures exploratoires

---

Historiquement, de nombreux auteurs ont défini des styles d'exploration. Tout d'abord Heller (cité dans Revesz, 1950) a distingué deux grandes fonctions du toucher :

- la fonction synthétique : qui correspond à une recherche de la forme globale. L'ensemble de la main est impliquée.
- la fonction analytique : qui correspond à la recherche de la forme précise de l'objet. Elle nécessite la mise en place de mouvements de la main.

Ces deux fonctions se retrouvent dans la distinction établie par Lederman et Klatzky (1987) sous le paramètre « mouvement » (statique versus dynamique). Cette première distinction est fondamentale. Elle permet de comprendre comment le sujet met en place des mouvements exploratoires spécifiques et adaptés à la recherche d'informations en fonction de ses attentes et de ses hypothèses.

Zinchenko et Lomov (1960) parlent eux de trois fonctions :

- la fonction constructive
- la fonction de mesure
- la fonction de vérification et de correction

La première fonction correspond à la détection du contour. Elle engage dans un premier temps, l'activation des récepteurs neurophysiologiques et les processus de traitement de l'information. La seconde fonction utilise la main comme mesure des distances. La dernière permet au sujet de comprendre comment il utilise sa main et modifie ses

mouvements exploratoires pour construire une représentation stable de la forme explorée. Nous voyons ici que les fonctions mettent en évidence des étapes de traitement plutôt que des paramètres de mouvements. La dernière fonction relève plus des activités mentales et de la résolution de problème, avec construction d'inférences, que de la description des procédures exploratoires. Cependant, parallèlement à ces fonctions, Zinchenko et Lomov (1960) ont décrit des déviations de mouvements. Par déviation, il faut comprendre que les sujets n'explorent pas un objet de façon continue et uniforme. Les mouvements sont interrompus par des pauses et des régressions en fonction du contour (forme, angle,...). Ces déviations de mouvements se révèlent différemment selon la forme du contour, pour autant, le mouvement ne suit pas exactement la forme exacte. Ainsi, l'implication des doigts ne sera pas la même selon le type d'objet touché : l'index et le majeur, pour des surfaces planes ; l'index, le majeur, le pouce, voire les autres doigts et la paume pour des objets plus complexes ou en trois dimensions (Lomov, 1966). Un lien entre les informations recherchées et le type de procédés exploratoires commence à apparaître. Mais ces procédures exploratoires sont encore très générales et mal définies.

D'autres auteurs, comme Hippus (cité dans Revesz, 1950), ont défini des catégories de mouvements plus précis avec une exploration :

- par glissement : impliquant des mouvements « aller-retour » de la main
- par grands gestes : avec un ou plusieurs doigts sur la surface de l'objet, dans le but d'obtenir des informations de contour, d'angles ou de relations géométriques entre les parties.
- par agrippement : ce toucher reprend les deux premiers en ajoutant une participation du pouce. L'objectif étant d'extraire des informations de texture sur plusieurs surfaces simultanément.
- par mouvement d'agrippement : pour une exploration détaillée de la forme.

De même, Davidson (1972) définit cinq types d'analyses des angles de courbures :

- par agrippement : avec le déplacement par aller-retour de trois ou quatre doigts (mais pas le pouce) sur l'angle.
- par pincement : à l'agrippement décrit précédemment est adjoint le pouce ce qui permet à la main de former une pince grâce à l'opposabilité du pouce aux autres doigts.
- par grands gestes : avec le bout des doigts (balayage)
- par recouvrement : les doigts sont répartis sur la totalité de l'angle de courbure.
- par traçage

Un peu plus tard, Davidson, Abbott et Gershenfeld (1974) établiront une nouvelle classification, plus large qui s'intéressera plus au type d'information recherchée qu'à la description des procédures d'exploration. Ainsi, ce n'est plus la position des doigts ou de la main qui est étudiée mais leur participation à une recherche particulière. Davidson, Abbott et Gershenfeld (1974) ont relevé :



- une recherche globale d'information : les doigts sont utilisés indépendamment les uns des autres, afin d'explorer simultanément des aspects différents de l'objet.
- une recherche détaillée : les doigts sont coordonnés pour analyser un seul aspect de l'objet.
- une recherche par la paume : la paume agit par pression sur le stimulus.
- par traçage : les doigts sont déplacés sur le contour.

Enfin, nous pourrions également citer les travaux d'Appelle (Appelle et Goodnow, 1970 ; Appelle, Gravetter et Davidson, 1980), qui ont permis l'émergence de procédés métriques pour l'estimation des longueurs. Ce procédé se décline sous deux formes selon le mode de référence :

- soit le sujet se réfère à des indices internes, le sujet compte par exemple le temps nécessaire pour relier deux points ;
- soit le sujet se réfère à des indices externes, et dans ce cas, les doigts ou la main sont utilisés comme des règles.

Des parallèles et des regroupements peuvent être établis entre toutes ces approches. Toutes les descriptions ou presque parlent d'un mouvement par « traçage ». Nous pourrions rapprocher cette procédure de celle de « suivi de contour » déterminée par Klatzky et Lederman (1987) où le sujet suit littéralement le contour de l'objet pour extraire des informations telles que la forme précise. Le « balayage » (ou grands gestes) décrit à la fois par Hippus et par Davidson est une procédure permettant l'obtention d'informations générales sur l'objet (forme globale, relations géométriques entre les parties,...) en ce sens, il se rapproche de la procédure « d'enveloppement » avec en plus une notion de déplacement absente chez Klatzky et Lederman (1987). Le recouvrement de Davidson pourrait également être associé à cet enveloppement sous sa forme statique. Nous verrons, dans la suite de notre travail, que pour compenser l'action de refermer les doigts sur l'objet, possible sur les objets mais pas sur des surfaces planes, nous réintégrerons une dynamique de mouvement dans cette procédure d'enveloppement. Toutes ces tentatives de descriptions successives ont eu comme objectif de comprendre comment un sujet recherche de l'information, à partir de ses mouvements et parallèlement, comment ces procédures exploratoires permettent d'extraire de l'information. L'émergence de ce double questionnement trouvera son aboutissement dans la notion de diagnosticité, avec les processus de haut en bas et de bas en haut. De plus, nous retrouvons également une situation de résolution de problème. Le sujet met en lien ses mouvements et postures avec les informations obtenues, puis modifier ses actions pour agir sur le type d'informations recherchées (vérification du principe de cause à effet) et enfin mettre volontairement en place des procédures exploratoires pour rechercher des informations précises. Les travaux les plus aboutis sont sans doute ceux de Klatzky et Lederman. Ces auteurs définissent des critères très précis pour distinguer les procédures exploratoires et ont effectué maintes expériences pour comprendre les procédures.

## 2-2-Les procédés d'exploration décrits par Klatzky et Lederman (1987)

---

### 2-2-1 Les paramètres

Les procédures exploratoires sont donc des modèles stéréotypés de mouvements ou de contacts haptiques exécutés par un sujet sur un objet (Klatzky et al, 1987 ; Klatzky et Lederman, 1993). Klatzky et Lederman (1993) différencient les procédures exploratoires (EP : exploratory procedures) selon divers paramètres :

- le mouvement : est-ce que l'effecteur final (bras, main, doigts) est statique ou dynamique ?
- la direction : est-ce que la force exercée sur la surface de l'objet par l'effecteur final est normale ou tangentielle ?
- la région : est-ce que l'effecteur final s'intéresse à la surface, aux angles ou à la surface et aux angles ? La surface est la région où le contour ne change pas de façon abrupte et un angle est une région avec un changement abrupt du contour local ou une trajectoire avec des changements importants du contour (Klatzky et Lederman, 1993).
- la contrainte de l'espace de travail : est-ce qu'un support extérieur (objet posé sur une table) ou un maintien en équilibre (objet porté par le sujet) est indispensable ?

Ces paramètres dépendent les uns des autres. Si le mouvement prend une valeur statique, alors la direction de la force sera nécessairement normale. Les procédures exploratoires ont été différenciées sur ces paramètres. Lederman et Klatzky (1987) ont proposé huit procédures exploratoires dont deux ont une fonction test. Ces deux procédures tests consistent à effectuer des actions sur l'objet afin de comprendre sa fonction et son organisation (parties mobiles,...). Elles sont très spécifiques, c'est pourquoi nous ne les étudierons pas. Les six autres sont le contact statique, la pression, le frottement latéral, l'enveloppement, le suivi de contour et le soulèvement (figure 10).

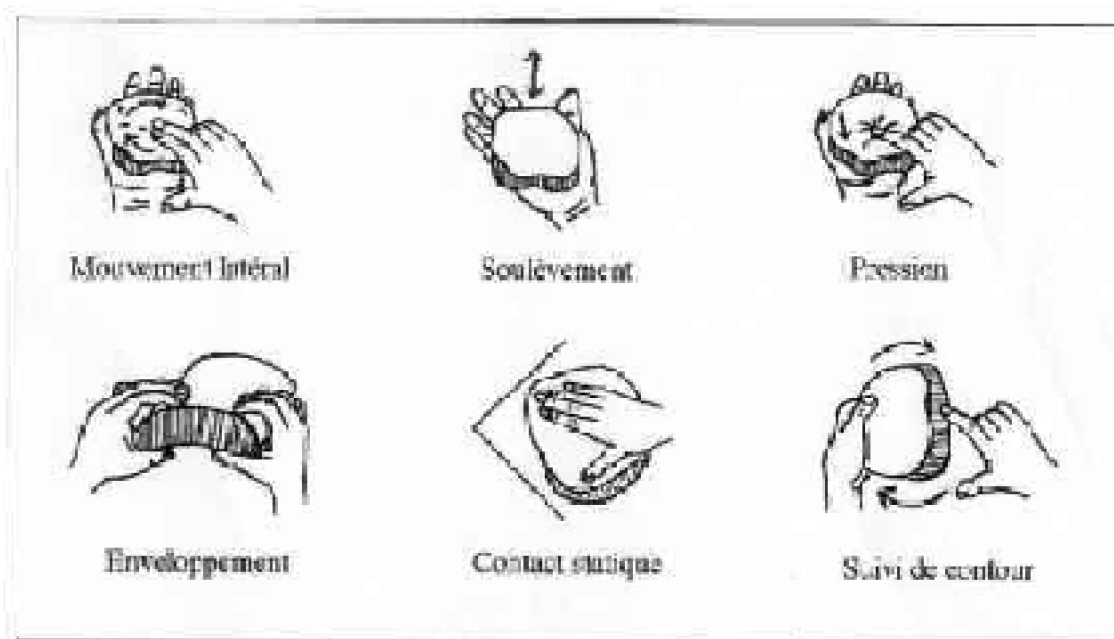


Figure 10 : Procédures exploratoires (d'après Lederman et Klatzky, 1987).

Les procédures exploratoires se distinguent les unes des autres en fonction des paramètres que nous avons exposés précédemment (tableau V).

Tableau V : Valeurs des procédures exploratoires en fonction des paramètres (d'après Klatzky et Lederman 1987).

	Mouvement	Direction	Région	Espace contraint
Contact Statique CS	Statique	Normale	Surface	Non
Pression P	Dynamique	Normale	Surface	Non
Mouvement Latéral ML	Dynamique	Tangentielle	Surface	Non
Enveloppement E	Statique	Normale	Surface & angles	Non
Suivi de Contour SC	Dynamique	Tangentielle	Angles	Non
Soulèvement S	Statique	Normale	Surface & angles	Oui

Le tableau montre qu'il est parfois très difficile de distinguer des procédures d'exploration. Ainsi le soulèvement ne se différencie de l'enveloppement que sur la contrainte de l'espace de travail : le soulèvement, contrairement à l'enveloppement, nécessite une absence de support extérieur. De même, l'enveloppement diffère du contact statique, seulement sur le paramètre de région. Alors que le contact statique ne s'applique qu'à la surface, l'enveloppement englobe la surface et les angles.

Les paramètres définissant une procédure exploratoire sont donc particulièrement stables, ce qui leur permet d'obtenir des informations différenciées. Leurs caractéristiques leur confèrent la capacité à extraire certaines propriétés. Ainsi, le contact statique est particulièrement adapté à l'extraction des informations de pression, de dureté, ou de température ; le frottement latéral, de texture ; l'enveloppement, de forme globale, ou de volume ; le suivi de contour, de forme exacte ou de volume et le soulèvement, de poids. Cependant, si certaines procédures sont plus pertinentes pour l'extraction d'une propriété,

cela ne signifie pas, que seule cette propriété est extractible par ce procédé. Cela exprime seulement qu'une procédure est suffisante à l'extraire. Ainsi, le frottement latéral permet dans 90% des cas, de relever la valeur de texture contre 55% pour le soulèvement. Il est également efficace à 69% pour la dureté et à 58% pour la température. Ces données ont été obtenues grâce à une tâche d'appariement de stimuli sur une dimension, en contraignant les sujets à utiliser une seule procédure exploratoire. Chaque dimension a été testée avec toutes les procédures, ce qui a permis d'établir des pourcentages de réussites en fonction de la dimension et de la procédure.

Ces observations ont conduit Lederman et Klatzky (1987) à établir un classement des procédures exploratoires en fonction de leur diagnosticité. Les auteurs ont évalué pour chaque procédure d'exploration leur capacité à extraire une propriété donnée. Cette notion de diagnosticité rappelle la hiérarchie d'évocabilité de Reuchlin (1978). Cette dernière postule qu'un processus a une probabilité d'apparition particulière pour chaque individu en fonction de critères comme la réussite, la vitesse, la tâche, la charge mnésique,... La diagnosticité a été établie pour un ensemble d'individus, mais cela ne signifie pas que tous les sujets ont obtenu les mêmes performances, c'est une moyenne. La hiérarchie doit pouvoir être modifiée selon la tâche. Ces considérations nous conduisent à formuler deux questions dans le cadre de notre recherche. Comment cette hiérarchie évolue t-elle ? Et évolue t-elle différemment en fonction du statut visuel des sujets ? Mais voyons tout d'abord comment les auteurs ont traité la notion de diagnosticité des procédures exploratoires.

## 2-2-2 Les critères de diagnosticité

La diagnosticité a été établie sur la base de la suffisance, de la nécessité et de l'optimalité des procédures. En effet, selon la probabilité de chaque procédure d'extraire une propriété, Klatzky et Lederman (1987) ont effectué un classement. Elles ont testé les performances et les durées d'exploration de chaque procédure en fonction des propriétés. Une procédure a été jugée suffisante, si la quantité d'information obtenue sur une dimension, permet une reconnaissance supérieure au hasard. La procédure rassemblant le plus d'informations sur une propriété est qualifiée d'optimale. Enfin, si seule une procédure permet d'extraire des informations sur la dimension testée, elle est dite nécessaire. Le tableau VI indique les résultats de chaque procédure selon les propriétés.

	Propriétés matérielles			Hybride	Propriétés géométriques			Durée en s	Score de spécialisation
	Texture	Dureté	Température		Volume	Forme globale	Forme exacte		
ML	O	S	S	-	-	-	-	3	2.06
P	S	O	S	-	-	-	-	7	2.79
CS	S	-	O	-	O (S)	O (S)	-	7	1.59
S	-	S	S	O	S	S	-	2	1.95
E	S	S	S	S	S (O)	S (O)	-	3	0.62
SC	S	S	S	S	S	S	N	11	1.92

Tableau VI : Durée, performances et scores de spécialisation sur les dimensions d'objets

*pour chaque procédure exploratoire (d'après Lederman et Klatzky, 1987).*

### **2-2-3 L'efficacité et la spécialisation des procédures exploratoires**

Le tableau VI indique la performance, associée au temps de réalisation des procédures exploratoires, en fonction des propriétés. C'est-à-dire, qu'en cas d'égalité de performances pour une dimension, les procédés sont départagés sur le critère de la durée. Ceci explique pourquoi la procédure exploratoire optimale, pour l'extraction de la forme globale (en 1987), est le contact statique et non l'enveloppement, alors que leurs performances sont équivalentes. Chaque propriété a une seule procédure optimale. Le mouvement latéral est la procédure exploratoire optimale pour extraire la propriété de texture ; la pression celle de dureté ; le contact statique, la température, le volume et la forme globale ; et le soulèvement, le poids. Le suivi de contour n'est pas le procédé le plus rapide ou le plus performant, c'est simplement le seul permettant l'extraction de la forme exacte. Cette procédure est donc nécessaire pour obtenir des informations sur cette dimension de forme précise. Selon les procédés, les informations peuvent porter sur un nombre variable de propriétés, avec une efficacité tout aussi variable. Ainsi, le suivi de contour et l'enveloppement sont performants sur de nombreuses dimensions mais pas avec le maximum de réussite. Au contraire, le mouvement latéral et la pression sont centrés sur seulement trois propriétés. Ces procédures sont plus spécialisées que les deux premières. De ce fait, lorsque la tâche imposera une recherche sur leurs dimensions de prédilection, la probabilité de relever ces procédés sera plus importante que celle du suivi de contour ou de l'enveloppement. De même, si l'enveloppement est une procédure pertinente pour extraire une dimension de texture, il n'en reste pas moins qu'un explorateur pourra lui préférer la procédure de mouvement latéral. Il existe donc une différence entre l'efficacité des procédures exploratoires et leur fréquence d'utilisation. De plus, selon le type d'informations recherchées, le sujet optera pour des procédés différents. Par exemple, pour une tâche de reconnaissance de texture, la procédure la plus pertinente sera la procédure optimale, en l'occurrence, le mouvement latéral. En revanche, pour une tâche d'identification d'objet, l'utilisation exclusive du mouvement latéral sera réducteur : le sujet ne pourra pas obtenir des informations suffisamment variées pour se représenter l'objet. Il est probable dans ce cas, que le sujet choisira dans un premier temps, des procédures exploratoires plus générales, c'est-à-dire avec de larges champs d'action comme l'enveloppement ou le suivi de contour.

### **2-2-4 Les procédures exploratoires et les propriétés (matérielles et géométriques)**

Le tableau VII montre le lien entre le type de propriétés recherchées et l'utilisation des procédures exploratoires. Les sujets utilisent l'enveloppement ou le suivi de contour pour extraire la forme globale alors que le contact statique est la procédure optimale. Il y a donc une différence entre le choix d'une procédure et son efficacité. Cependant, Klatzky et Lederman (1993) sont revenues sur cette optimalité du contact statique pour l'extraction de la forme globale et du volume. En effet, les conditions de tests ne permettaient pas au sujet de modeler sa main autour de l'objet. De ce fait, l'utilisation des procédures d'enveloppement a été masquée. Les auteurs pensent que les sujets auraient

privilegié l'enveloppement si les conditions l'avaient permis. D'autres travaux confirment l'enveloppement comme procédure optimale pour ces deux dimensions (Reed et Lederman et Klatzky, 1990). C'est pourquoi nous intégrerons un paramètre de mouvement dans l'enveloppement, afin de combler l'impossibilité de modeler la main sur des petites figures..

Observons plus précisément le tableau VII, en fonction du type de propriétés, matérielle ou géométrique. Nous nous apercevons que pour les propriétés matérielles, les procédures exploratoires optimales sont sélectionnées, alors que pour les propriétés géométriques, les procédures choisies ne sont pas nécessairement optimales. La question qui se pose alors est : est-il possible d'optimiser les procédures exploratoires ou du moins de les rendre plus performantes ?

**Tableau VII : Liens entre connaissances sur les objets et procédures exploratoires (d'après Klatzky et Lederman, 1987)**

	Connaissance sur l'objet	Procédure exploratoire	Niveau d'efficacité (1987)	Niveau d'efficacité révisé (1993)
Propriétés matérielles (de substance)	Texture	ML	optimale	optimale
	Dureté	P	optimale	optimale
	Température	CS	optimale	optimale
	Masse	S	Optimale	optimale
Propriétés géométriques (structurelles)	Forme globale	E, SC	suffisantes	optimale, suffisante
	Forme exacte	SC	nécessaire	nécessaire
	Volume	E	suffisante	suffisante
	(Masse)	(S)	(optimale)	(optimale)

De nombreuses études (Klatzky, Lederman et Reed, 1987 ; Klatzky, Loomis, Walke et Fujita, 1993 ; Klatzky et Lederman, 1995) montrent que les propriétés matérielles sont les propriétés privilégiées de l'exploration haptique, alors que les propriétés géométriques sont plus prégnantes pour une exploration visuelle.

Toutefois, selon le niveau de traitement requis par les objets, la diagnosticité des propriétés varie. Klatzky et Lederman (1987) ont proposé une épreuve d'appariements de propriétés en fonction de la forme géométrique (sphères versus carrés) et de la taille (petits versus grands). Les sujets devaient assembler les objets qui leur semblaient appartenir à la même catégorie. Trois conditions étaient testées : vision & toucher ; toucher & description visuelle ; toucher seul. Lorsque la vision entrait en ligne de compte, la dimension de forme prédominait, alors que la propriété de taille était plus souvent citée pour l'appariement effectué dans la condition haptique seule. Le score de diagnosticité observé lorsque les objets utilisés impliquaient un niveau de catégorisation spécifique, avec un niveau sous-ordonné (par exemple une fourchette à dessert, pour laquelle le niveau de catégorisation nécessite l'étude de la taille) confirme ces résultats. Les propriétés géométriques (comme la forme ou la taille) jouent un rôle important pour des objets appartenant à un niveau de base, et ce, même pour la modalité haptique. Les propriétés matérielles ne deviennent importantes que pour des objets dont la catégorie du nom est de niveau sous-ordonné. Ainsi, lorsqu'un objet appartient à un niveau de base,

les propriétés géométriques telle que la forme possèdent un niveau élevé de diagnosticité. Si l'objet relève d'un niveau de catégorisation spécifique (sous-ordonné), alors les propriétés matérielles prennent le pas sur les propriétés géométriques. Toutefois, nos connaissances sur l'objet ont un rôle important.

### **2-2-5 Les processus en jeu dans la diagnosticité**

Deux situations déterminent le type de recherche et les processus que nous allons adopter pour résoudre la tâche.

- Nous avons des connaissances sur la catégorie de base de l'objet ou du moins des informations nous permettant de poser des hypothèses. Les caractéristiques globales de l'objet nous sont connues (représentation de la forme, du volume, de la taille ou de sa fonction,...). Dans ce cas, notre attente et notre recherche seront orientées sur la ou les propriétés pertinentes pour tester la validité de nos inférences sur l'objet ou sur ses parties. Le processus de diagnosticité mis en jeu dans cette situation est un processus de diagnosticité de haut en bas (descendant).
- Si nous n'avons aucune information préalable, nous serons amenés dans un premier temps, à cerner l'objet (forme, taille,...) pour nous en construire une représentation globale, avant de nous intéresser à ses particularités. Dans ce cas, le processus de diagnosticité se dirige du bas vers le haut (ascendant).

#### **2-2-5-1 L'EFFET DE CONSIGNE.**

De même, la consigne joue un rôle essentiel. En effet, selon la tâche demandée au sujet, l'orientation de la recherche sera différente. Pour une tâche de classification d'objets selon leurs ressemblances ou leurs dissemblances, le sujet adoptera une démarche de recherche spécifique (texture, taille,...), alors que pour une tâche d'identification, le sujet optera plutôt pour une recherche globale de l'information, du moins au début de son exploration. Ces deux types de recherche, globale et locale, existent dans le traitement visuel d'une scène (chapitres 1 et 2) avec des cellules codant l'orientation et intervenant dans l'intégration des parties, autrement dit dans la forme globale et les détecteurs de terminaisons présents dans le processus de segmentation, c'est-à-dire dans le processus de délimitation des parties de la scène visuelle.

#### **2-2-5-2 L'EFFET DE L'ÂGE SUR LES ATTENTES DES SUJETS.**

La démarche exploratoire consistant à rechercher de l'information globale avant d'affiner l'analyse a été décrite chez des adultes, par Lederman et Klatzky (1987, 1990) sous le terme de routine exploratoire « grasp and lift ». Les informations précises sont ensuite intégrées à la représentation globale. L'unité perceptive de l'objet se construit. Chez les enfants (Hatwell, 2000), cette capacité d'intégration des données en représentation globale est rarement retrouvée. En effet, les enfants mettent en place relativement peu d'explorations spécialisées. De ce fait, les informations qu'ils ont recueillies ne leur permettent pas de construire une représentation globale. De plus, les mains des enfants sont petites et leurs doigts fins. Les procédures nécessitant une large surface

d'exploration leurs sont donc difficilement accessibles et les réduisent à une exploration très séquentielle. De ce fait, les enfants ne parviennent pas à construire une représentation globale de l'objet à partir des informations morcelées et peu nombreuses, issues de leur exploration. Ceci a plusieurs conséquences :

- les enfants sont relativement peu sujets aux illusions haptiques (Hatwell, 2000)
- la catégorisation par similarité globale est peu présente chez des enfants de cinq ans, en modalité haptique, alors que ce type de catégorisation est observé au même âge en modalité visuelle.

L'écart entre une perception haptique séquentielle et une perception visuelle globalisante rend la construction d'une représentation globale d'autant plus difficile pour les enfants. De ce fait, la classification haptique des objets chez l'enfant s'effectue principalement sur des propriétés spécifiques. Or, la seule propriété que les enfants parviennent à extraire convenablement par leur exploration est la dimension de texture (Berger et Hatwell, 1996).

Cependant, l'information de texture n'est pas une propriété suffisante pour identifier un objet. Pourtant, les enfants sont capables d'identifier haptiquement des objets en trois dimensions. Selon leur âge, ils vont utiliser un mode de traitement différent. A six ans, l'enfant base son jugement sur la forme globale de l'objet. Cela ne signifie pas qu'il pourra construire une représentation unitaire de l'objet, mais qu'il va s'intéresser à une seule propriété, la forme, dans sa définition la plus large. A cet âge, son exploration ne lui permet pas de construire une représentation fine de l'objet et de sa forme. A huit ans, les enfants vont commencer leur exploration par une analyse globale, avant d'entrer dans une analyse détaillée, en s'intéressant aux différentes parties de l'objet (Morrongiello Humphrey, Timney, Choi et Rocca, 1994). L'enfant ne va plus seulement balayer l'objet pour en extraire la forme générale, il va chercher à en construire une représentation précise. C'est le mode exploratoire que l'on retrouve chez les adultes (Lederman et Klatzky, 1987, 1990). Ces considérations nous ont conduit une nouvelle fois, à aborder la notion de représentation. La question légitime que nous pouvons nous poser est : comment sont conservées en mémoire les représentations d'objets. Pour répondre à cette interrogation, nous recourons à la notion de catégorisation.

### **2-2-5-3 LES REPRÉSENTATIONS D'OBJETS EN MÉMOIRE**

#### ***2-2-5-3-1 La catégorisation :***

Selon la situation contextuelle, la recherche d'informations sera différente. Dans le cas d'un processus de diagnosticité de haut en bas, la recherche va être dirigée par les connaissances du sujet. Dans le cadre du processus de bas en haut, la recherche sera dirigée par les données obtenues au cours de l'exploration. Les connaissances doivent donc être accessibles dans les deux situations.

Rosch et al. (1976) ont proposé un processus d'identification des objets, médiatisé par l'accès à une mémoire sémantique en trois niveaux :



- la super-catégorie : c'est le niveau le plus abstrait. Les objets sont classés selon leur fonction. (exemple : transporter)
- la catégorie de base : c'est le niveau le plus général. Les objets sont classés selon leur similarité de forme, leurs programmes moteurs communs, le nombre d'attributs physiques partagés par une même classe d'objets. (exemple : voiture)
- la sous-catégorie : c'est le niveau le plus spécifique. Chaque exemplaire est représenté individuellement. (exemple : 2CV)

Dans ce modèle, le niveau d'entrée des représentations sémantiques, se situe au niveau de base. Ainsi, à partir de nos connaissances sur le niveau de base, nous pourrions rechercher des caractéristiques spécifiques et retrouver le nom de l'exemplaire. De même, si nous n'avons pas de connaissances sur la catégorie de base, nous pourrions y accéder à partir d'indices de formes ou d'attributs physiques,...

Cependant, la limite de ce modèle réside dans l'obligation pour les exemplaires d'être typiques<sup>10</sup>. Or, il existe des exemplaires non typiques. Ainsi, dans la catégorie de base oiseau, nous retrouvons à la fois des moineaux, des autruches et des pingouins. Ces oiseaux sont très différents, pourtant ils appartiennent à la même catégorie. Est-ce qu'un moineau est plus typique qu'une autruche ou un pingouin ?

Pour tenter de résoudre ce problème, nous allons nous intéresser à deux courants de pensée. Ces deux approches nous conduiront à une réponse commune. Le premier courant consiste à dire qu'il n'y a pas un exemplaire typique mais que chaque catégorie dispose d'un prototype. Un prototype est une représentation abstraite des exemplaires d'une catégorie. Ainsi, le prototype est représentatif de tous les exemplaires d'une catégorie. Cependant, cette notion de prototype suppose une construction.

Le second courant propose de conserver la notion d'exemple typique. Ce point de vue n'impose pas la création d'une représentation prototypique, à partir de tous les exemples d'une catégorie. Un exemple particulier va représenter tous les autres. C'est la théorie de l'exemplaire.

Ces deux approches sont très semblables et expliquent les mêmes phénomènes. La seule grande divergence entre elles, tient dans la question de la construction d'un exemplaire prototypique ou de la sélection d'un exemplaire représentatif. Ce débat dépassant le cadre de notre recherche, nous ne prolongerons pas cette discussion. En revanche, ces deux courants sont intéressants car ils prennent en considération le contexte dans lequel le sujet vit. Ainsi, le prototype ou l'exemplaire représentatif sera différent selon le lieu de résidence des sujets. L'autruche sera sans doute plus représentative de la catégorie oiseau pour un australien que pour un Inuit, qui privilégiera plutôt le pingouin, ou pour l'Européen, pour qui oiseau, évoquera plutôt un moineau. Dans ce cas précis, la forme et la taille auront un rôle important. Lederman et Klatzky (1990) ont étudié l'influence du niveau de catégorisation sémantique sur le processus d'identification des objets. Pour cela, elles ont demandé à des sujets de déterminer par quelle propriété

<sup>10</sup> Typique : un exemplaire est qualifié de typique lorsqu'il est représentatif d'une catégorie, c'est-à-dire lorsqu'il possède tous les attributs communs à la classe.

ils allaient différencier des paires de noms d'objets. Les noms étaient choisis soit à un niveau de base soit à un niveau super-ordonné (super-catégorie). Les résultats ont montré une préférence pour la propriété de forme mais seulement pour les paires de noms appartenant à la catégorisation de base. Ces analyses illustrent bien le caractère abstrait de la catégorie super-ordonnée. De même, elles mettent en évidence l'importance de la familiarité, au niveau de la catégorie de base. Plus un objet est familier, plus sa représentation sera facilement accessible en mémoire. De plus, il est nécessaire de construire des représentations du plus grand nombre d'exemplaires possibles. Si nous ne connaissons dans la catégorie de base oiseau, qu'un seul exemplaire, par exemple le moineau, il nous sera difficile d'admettre dans cette catégorie, des exemplaires comme le pingouin, le perroquet, le flamant rose ou l'autruche. La quantité d'expériences est donc primordiale.

Pour les aveugles précoces, la représentation d'un objet passe nécessairement par d'autres canaux que la vision. Or, certains objets sont difficilement appréhendables par le toucher. Par exemple, un immeuble ne pourra être exploré qu'à l'aide d'un modèle réduit. La taille réelle ne sera intégrée que par des informations verbales sur la hauteur, par expérience (nombre de marches ou d'étages gravis pour atteindre le dernier niveau), parfois par la modalité auditive (une personne appelant du dernier étage peut donner une indication sur la hauteur de l'immeuble),... De même, les animaux sauvages se laissent rarement caresser. De ce fait, l'exploration haptique sera cantonnée à l'exploration de peluches et autres représentations, ce qui restreint grandement l'information. Toutefois, ces représentations ont le mérite de donner accès à l'objet. Il est donc fondamental que les aveugles puissent accéder à ces représentations pour qu'ils puissent se créer leurs propres représentations sur les objets et les classer par catégories.

Si nous reprenons le modèle de Klatzky et Lederman sur l'appréhension directe, certes les représentations communes aux modalités visuelle et haptique n'existeront toujours pas, mais les représentations haptiques seront plus étoffées. Or, nous avons vu que les aveugles ont une connaissance de certaines conventions du dessin et sont capables de dessiner (Kennedy, Gabias et Nicholls, 1991 ; Kennedy, 1997 ; Uldry, 1995). Ils peuvent donc représenter des objets à plat tout en intégrant des critères de profondeur ou encore de mouvements. De ce fait, la multiplication des expériences auprès d'objets leur permettra d'extraire les propriétés pertinentes d'un dessin, d'activer en mémoire des représentations et d'accéder ainsi à l'identification de l'objet. Le handicap résultant de leur déficit visuel aura donc été partiellement pallié. Nous sommes au cœur même de la théorie de la vicariance (Reuchlin, 1978).

Jusqu'à présent, nous avons étudié le rôle de la catégorisation et de la familiarité des objets, sans oublier le rôle des connaissances du sujet sur l'objet, sur le processus de recherche de l'information, et comment les propriétés sont extraites à l'aide des procédures exploratoires. Voyons à présent comment les procédures exploratoires sont intégrées dans la recherche de dénomination ou de reconnaissance d'un objet.

### 3- La boucle sélection-extraction des EP (Klatzky et

## Lederman, 1993)

Klatzky et Lederman (1993) s'appuient sur le modèle de l'activation interactive de McClelland et Rumelhart (1981) pour expliquer le processus d'identification des objets par la modalité haptique. McClelland et Rumelhart ont développé leur modèle de traitement des mots sur une analyse des traits de la lettre. L'analyse des traits entraînerait l'activation des lettres compatibles avec ces traits et des représentations de mots liées à ces lettres hypothèses. Plusieurs traitements de traits s'effectueraient en parallèle ou en continu. Le nombre de lettres hypothèses et de représentations de mots diminueraient jusqu'à l'identification du mot. Lorsqu'une lettre hypothèse est sélectionnée, les autres lettres hypothèses sont inhibées. De plus, les connaissances du sujet sur les lettres ou le contexte influencent le traitement, notamment dans la constitution des hypothèses sur la lettre puis sur le mot.

De même, Klatzky et Lederman (1987) considèrent que plusieurs traitements peuvent s'effectuer en parallèle ou en continu, notamment au niveau de la phase d'extraction des propriétés, avec la mise en place de procédures exploratoires successives ou conjointes lorsque ces dernières sont compatibles. A la sortie, les informations obtenues doivent être de quantité et de qualité suffisantes pour construire une représentation de l'objet. Cette représentation est construite à partir de toutes les informations extraites depuis le début de l'exploration. Elle est ensuite confrontée avec les représentations en mémoire, jusqu'à la décision (reconnaissance ou identification) (figure 11).

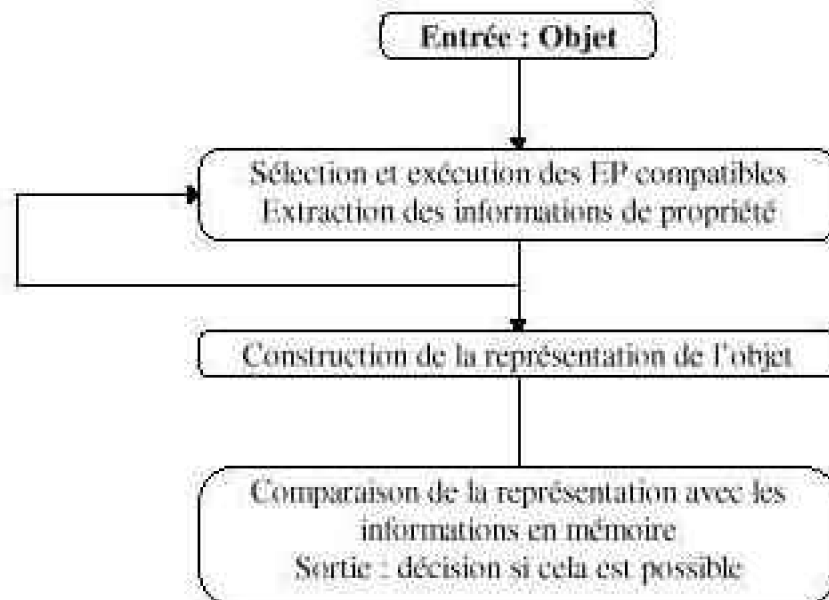


Figure 11 : Boucle de la sélection extraction des EP (procédures exploratoires) d'après Klatzky et Lederman (1993).

Dans cette boucle, lorsque les informations ne sont pas suffisantes pour construire une représentation de l'objet, il est possible de revenir à l'étape précédente de sélection et d'exécution des procédures exploratoires et donc de mettre en place une nouvelle exploration. Plusieurs procédures exploratoires peuvent être exécutées en parallèle, à condition qu'elles soient compatibles.

### 3-1 Compatibilité des procédures exploratoires

---

Cette notion de compatibilité des procédures exploratoires désigne la mesure dans laquelle deux procédures exploratoires ou plus, peuvent être exécutées en même temps sans perdre de l'information. Plusieurs critères sont pris en considération pour juger de la compatibilité des procédures exploratoires. La première contrainte que nous pouvons citer est la contrainte motrice. Il faut bien évidemment que les gestes engagés dans les deux procédures exploratoires soient physiquement possibles. Ainsi, il est possible de réaliser un mouvement latéral accompagné d'une pression, alors qu'une procédure test engageant la mobilité d'une partie ne pourra pas se réaliser conjointement avec un suivi de contour. Soulignons toutefois, que si deux procédures peuvent volontairement être exécutées simultanément comme nous l'avons vu pour le mouvement latéral et la pression, il est également possible qu'une procédure exploratoire entraîne l'exécution d'une autre procédure. Par exemple, la mise en place d'une procédure d'enveloppement va induire une procédure de contact statique. En revanche, le contact statique n'entraîne pas nécessairement l'enveloppement. Toutefois, la contrainte motrice n'est pas suffisante pour expliquer le phénomène de compatibilité des procédures.

La compatibilité des procédures exploratoires est essentiellement basée sur le respect des valeurs de paramètres des procédures. Rappelons que ces paramètres sont :

- la direction de la force (normale versus tangentielle)
- la région de l'objet touché (surface, angles, surfaces & angles)
- le mouvement (dynamique versus statique)
- la contrainte de l'espace de travail.

Deux procédures sont considérées comme compatibles, si elles ont la même valeur pour au moins trois des quatre paramètres. L'enveloppement se distingue du contact statique seulement sur le paramètre de région (surface pour le CS, surface & angles pour l'E), les deux procédures sont donc jugées compatibles.

Toutefois, un certain nombre de règles viennent assouplir le degré de compatibilité. Ces règles sont au nombre de cinq :

- Si deux procédures ont la même valeur sur le paramètre de la Direction de force, alors la valeur statique du paramètre de mouvement sera satisfaite par la valeur dynamique. Exemple : le contact statique (statique) et la pression (dynamique) sont compatibles.
- Si deux procédures ont la même valeur sur le paramètre Direction de force, alors pour

le paramètre Région, les valeurs surface ou angles seront satisfaites par la valeur surface & angles. Exemple : ainsi le contact statique (surface) est compatible avec l'enveloppement (surface & angles).

- Si deux paramètres ont la même valeur sur le paramètre de la Direction de force, alors pour le paramètre Région, la valeur surface sera satisfaite par la valeur angle. Exemple : le mouvement latéral (surface) est compatible avec le suivi de contour (angles).
- Une valeur oui sur le paramètre de la Contrainte de l'espace de travail satisfait une valeur non sur ce même paramètre. Exemple : l'enveloppement (non) est compatible avec le soulèvement (oui).
- Si deux procédés ont une valeur surface sur le paramètre de Région, alors les valeurs tangentielle et normale du paramètre Direction de force seront satisfaites. Exemple : le mouvement latéral (surface - tangentielle) et la pression (surface - normale) sont compatibles.

Le respect de ces règles et contraintes permet d'obtenir le tableau de compatibilité suivant :

**Tableau VIII : Relation de compatibilité entre les procédures exploratoires d'après Klatzky et Lederman (1993).**

	<b><i>Pression</i></b>	<b><i>Mouvement latéral</i></b>	<b><i>Enveloppement</i></b>	<b><i>Suivi de contour</i></b>	<b><i>Soulèvement</i></b>
<b><i>Contact statique</i></b>	+	-	+	-	+
<b><i>Pression</i></b>		+	+	-	+
<b><i>Mouvement latéral</i></b>			-	+	-
<b><i>Enveloppement</i></b>				-	+
<b><i>Suivi de contour</i></b>					-
+ = procédures compatibles ; - = procédures incompatibles.					

Si deux procédures ne sont pas compatibles, le sujet devra effectuer les procédures les unes après les autres. Or, cette succession de procédures entraîne une augmentation du temps d'exploration avec l'extraction d'une seule propriété à chaque exploration. C'est le principe de repli sur une propriété (Lederman et Klatzky, 1993). Le sujet aura donc plus de difficulté à construire une représentation unifiée de l'objet, du fait de son approche séquentielle de l'objet, et ce, par rapport à une exploration permettant l'exécution de procédures compatibles, avec l'extraction de plusieurs propriétés simultanément et dans des délais courts. Une critique que nous pouvons formuler à l'égard des travaux de Klatzky et Lederman est l'absence d'études sur la succession des procédures. En effet, les auteurs ont bien observé la compatibilité des procédures exploratoires mais à notre connaissance, elles ne se sont jamais intéressées à l'enchaînement de ces procédures. Est-ce qu'une procédure exploratoire a plus de chance de provoquer l'apparition d'une autre procédure ? Et quelle est la probabilité d'une procédure d'entraîner une autre procédure en parallèle ? Nous ne parlons pas ici de la possibilité d'exécution simultanée de procédures, mais de leur complémentarité et de leur utilisation conjointe ou successive

pour résoudre une tâche. Il serait par exemple intéressant de savoir dans quelle mesure un suivi de contour va induire un enveloppement et inversement. Outre le problème de la compatibilité des procédures, se pose le problème de la spécialisation des procédures. Le but de l'exploration est de rassembler le plus d'informations possibles, sur le plus grand nombre de propriétés et dans le délai le plus court (Klatzky et Lederman, 1993). Cependant, selon les connaissances du sujet sur l'objet (ce qui a été dit à propos de l'objet où des hypothèses du sujet) les attentes du sujet seront différentes. Nous avons déjà évoqué ce point :

- soit le sujet recherche des informations précises pour tester ces hypothèses
- soit le sujet n'a aucune hypothèse sur l'objet à priori et il recherche une information globale.

Dans ces deux conditions, le sujet met en place des procédures exploratoires différentes :

- des procédures spécialisées (procédures optimales) dans le cadre d'une recherche précise,
- des procédures générales comme l'Enveloppement qui est une des procédures ayant l'étendue la plus large, tout en étant réalisable dans un délai acceptable ; ou un ensemble de procédures spécialisées.
  - Si les procédures spécialisées sont compatibles, l'exploration sera rapide.
  - Si les procédures spécialisées sont incompatibles : le temps d'exploration sera long et le sujet se retrouvera dans la situation décrite précédemment, c'est-à-dire face à la difficulté de construire une représentation unifiée de l'objet.

Klatzky et Lederman (1993) n'ont pas intégré ces considérations dans leur boucle sélection-extraction des procédures exploratoires. L'approche de Russier (2000) nous semble intéressante, dans la mesure où elle propose au cours de sa thèse une boucle révisée, incluant ces observations (figure 12). De plus, elle ajoute une possibilité de vérification de la décision grâce à un retour à l'objet, avec la mise en place de nouvelles explorations.

Ainsi, dès la sélection des procédures en fonction du contexte, le sujet a deux solutions :

- rechercher une information globale
- rechercher une information spécifique

Si le sujet opte pour la première solution, il peut en cours d'exploration et donc, au fur et à mesure de l'avancée de ses hypothèses (début de résolution de problème), affiner son exploration et rechercher une information spécifique. Rappelons que ce mode d'exploration est qualifié de routine « grasp-and-lift » (empoigner et piquer). Le sujet explorant débute son exploration par une analyse grossière de l'objet (analyse globale) avant de procéder à une analyse détaillée (analyse locale) (Lederman et Klatzky, 1987, 1990). Toutefois, si la recherche locale ne satisfait pas le sujet, ce dernier a la possibilité

de revenir à une recherche globale. De même, lors de la construction de la représentation d'objet, si des éléments sont manquants, le sujet peut revenir soit à une recherche spécifique, soit à une recherche générale

avec l'extraction simultanée de plusieurs types d'informations.

Pour résumer, nous pourrions dire que la diagnosticité des procédures exploratoires autrement dit la « hiérarchie d'évocabilité » des processus (Reuchlin, 1978) pour une tâche donnée, est déterminée selon :

- le processus de diagnosticité choisi (de haut en bas ou de bas en haut). Ce dernier dépend :
  - du contexte :
    - \* tâche et consigne
    - \* objet (3D, 2D,...)
    - \* ....
- du sujet :
  - de ses connaissances
  - de ses hypothèses
  - de ses capacités (motrices, perceptives,...,ex : handicaps ou expériences)
  - ...
- des procédures exploratoires
  - du type de propriétés extraites (diagnosticité des procédures exploratoires)
  - compatibilité
- des renseignements obtenus en cours d'exploration et susceptibles de modifier le type de processus de diagnosticité choisi.

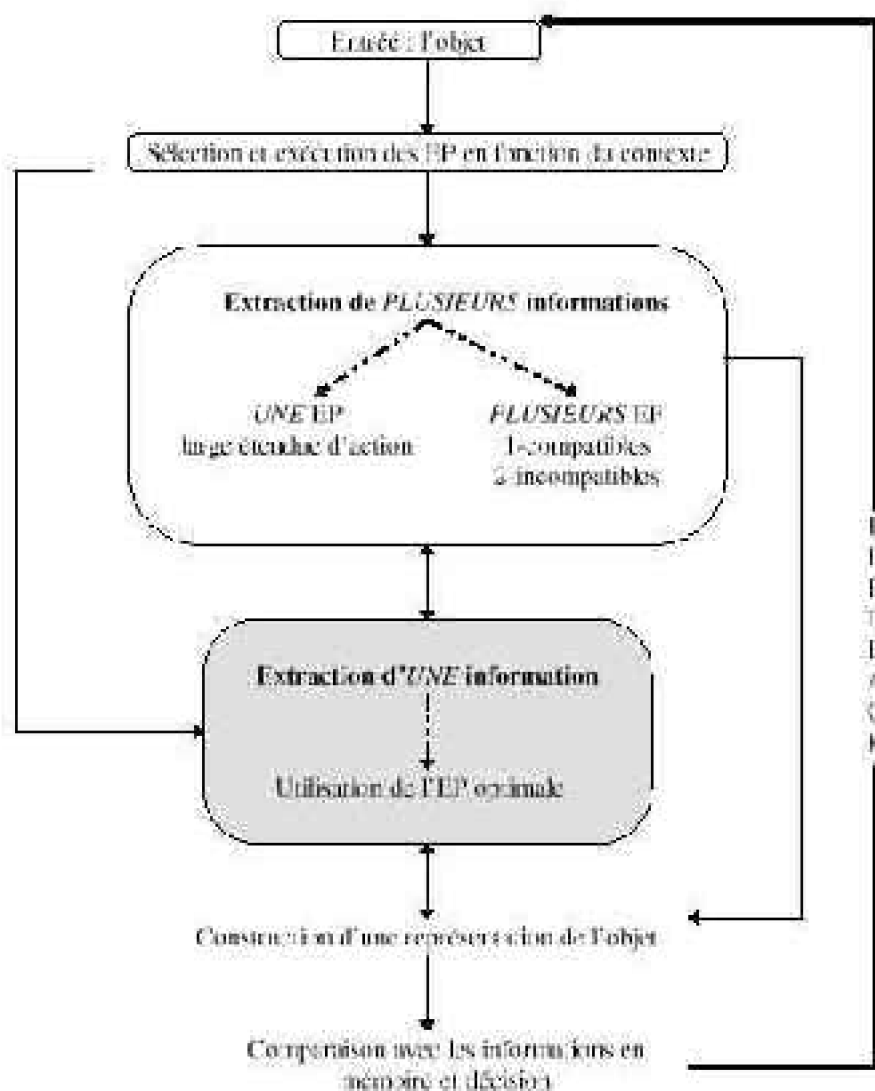


Figure 12 : Boucle d'extraction-sélection des EP (procédures exploratoires), révisée d'après Russier (2000).

## 4- Les activités cognitives impliquées dans la résolution d'une tâche haptique

La situation où le sujet est amené à modifier son comportement, rappelle les conditions de l'apprentissage, et notamment celles de l'apprentissage direct. Certes, nous ne sommes pas dans le cadre véritable d'une situation d'apprentissage, puisqu'elle implique une modification durable et systématique du comportement (Reuchlin, 1996). Cependant, nous sommes dans une situation qui pourrait entraîner un apprentissage. En effet, si un sujet est novice dans une tâche haptique, ses connaissances sur les procédures



exploratoires sont faibles voire inexistantes. Or, pour mener à bien une exploration en terme de durée d'exploration et d'efficacité, il est indispensable de sélectionner le plus rapidement possible, la ou les procédures exploratoires permettant de résoudre la tâche. Dans l'apprentissage direct, le sujet va analyser les conséquences de son action et acquérir ainsi de nouvelles connaissances. Ces connaissances, par un mécanisme de rétroaction lui permet d'établir un lien entre ses actions et leurs résultats. Il pourra ainsi produire des inférences sur la base d'un raisonnement en situation (chapitre 3) puis modifier ses actions en conséquence. Cet apprentissage permettra au sujet de construire, dans un premier temps, des connaissances spécifiques à la situation et dans un second temps, des connaissances générales sur les procédures d'exploration (apprentissage par la découverte (Richard J.F, 1998)).

Pour conclure, nous allons essayer de comprendre comment les trois axes de la cognition se répartissent dans la boucle sélection-extraction des EP de Klatzky et Lederman (1993) et dans la boucle révisée de Russier (2000).

Le premier axe est la perception, avec le traitement des informations sensorielles. C'est l'entrée de la boucle avec l'objet et l'extraction des propriétés.

Le second axe est le mental avec les activités mentales et notamment les activités :

- comprendre : construire des représentations
- raisonner : produire des inférences
- évaluer : produire des jugements

Cet axe correspond aux deux dernières étapes de la boucle, autrement dit :

- à la construction d'une représentation de l'objet, ce qui correspond plutôt à l'activité de comprendre,
- à la comparaison de la représentation en mémoire et décision : la partie de comparaison implique une activité de raisonnement (le sujet va produire des inférences sur ce que peut être l'objet ou sa catégorie) ; la décision, une activité d'évaluation.

La possibilité de retour entre la construction d'une représentation de l'objet et les différentes possibilités d'extraction de l'information, ajoutée par Russier (2000) engage une activité de raisonnement, comme nous l'avons mis en évidence précédemment.

Le dernier axe est la motricité. La réalisation comportementale des actions (programmation motrice, exécution, contrôle des mouvements) s'effectue lors de la vérification du jugement, avec la mise en place d'un comportement moteur volontaire. Cette activité est indiquée par la flèche retour (feedback) reliant la décision (sortie) à l'objet (entrée) dans la boucle révisée (Russier, 2000). Elle intervient également à un niveau plus précoce de traitement, lors de la mise en place volontaire d'une programmation motrice, basée sur le résultat des inférences du sujet pendant la phase de raisonnement (flèches retours partant du module 'construction de la représentation' aux modules 'd'exécution des EP' dans le but d'extraire une ou plusieurs propriétés).

La reconnaissance et l'identification haptiques sont donc des activités complexes. Pour comprendre comment les différentes étapes et paramètres sont imbriqués les uns aux autres, Klatzky et Lederman (1993) ont proposé un modèle général de l'identification haptique des objets. Nous nous proposons à présent d'étudier ce modèle en lien avec ce que nous avons présenté jusqu'ici.

## 5- Le modèle de la macrostructure de Klatzky et Lederman (1993)

Nous avons vu qu'une large part du travail de Lederman et Klatzky repose sur l'étude de la reconnaissance et de l'identification d'objets par la modalité haptique. Leurs recherches les ont conduit à la construction d'un « modèle de la macrostructure de l'identification haptique d'objets » (Klatzky et Lederman, 1993). L'étude de ce modèle nous permettra de reprendre succinctement toutes les notions que nous avons exposées dans ce chapitre.

Cette macrostructure prend en compte, à la fois les différents récepteurs sensoriels du système haptique (peau, muscles, tendons, articulations) et les mécanismes variés et spécifiques de ces récepteurs (réaction à la pression, vibration, température, changement de position ou mouvements des membres,...) mais aussi les propriétés des objets (substance, structure, fonction), sans omettre les procédures exploratoires mises en place par le sujet pour extraire les propriétés générales des objets. Ce modèle illustre parfaitement les trois niveaux d'activité cognitive qui sont la perception, le mental et la motricité (Richard J.F, 1998).

Dans le modèle de la macrostructure, Klatzky et Lederman établissent une analogie entre l'exploration visuelle des mots et l'exploration haptique d'un objet. Pour cela, elles se réfèrent au modèle connexionniste de la lecture de Just et Carpenter (1980). Klatzky et Lederman définissent autant d'étapes de traitement pour l'identification d'un objet que Just et Carpenter pour la compréhension d'un texte. La première étape est le déplacement du regard ou de la main sur un nouveau mot ou une nouvelle région de l'objet. Cette étape de l'attention sur une nouvelle localisation est particulièrement informative sur les processus internes (Klatzky et Lederman, 1993). Lacreuse, Fagot et Vauclair (1996) conçoivent même les procédés d'exploration comme les indicateurs privilégiés des processus de traitement de l'information haptique. La seconde étape est l'interprétation locale de la région ou du mot avec l'extraction des propriétés de l'objet ou l'accès au sens du mot. La troisième étape est une phase de construction de la représentation de l'objet ou du sens du texte. Enfin, la dernière étape est un retour à la première avec le déplacement de l'œil ou de la main sur un nouvel emplacement. Ainsi, un parallèle est établi entre la construction du sens d'une phrase à partir de l'association logique des mots, et l'identification d'objets à partir de l'association des propriétés de toutes les parties de l'objet. Toutes ces informations seront confrontées et participeront à la construction d'une représentation unitaire de l'objet ou du texte.

Le modèle de la macrostructure proposé par Klatzky et Lederman (1993) se compose

de quatre grands modules (figure 13) :

- le composant sensori-moteur
- le composant des procédures exploratoires
- le composant de propriété
- le composant d'objet

Ces modules sont reliés entre eux selon la nature de leurs relations. Dans une exploration haptique, le premier composant à intervenir est le composant sensori-moteur, puis le composant des procédures exploratoires suivi du composant de propriété et enfin le composant d'objet qui permet l'identification.

### 5-1 Le composant sensori-moteur

---

Le composant sensori-moteur est le module permettant l'exécution des procédures exploratoires et l'extraction des propriétés. Ces mécanismes ne sont encore que partiellement connus. Au départ d'une perception haptique se trouvent les mécanorécepteurs de la peau, des tendons, des muscles et des articulations. Le cerveau reçoit donc des informations cutanées et musculaires. Or, ces récepteurs sont parfois victimes d'illusions et transmettent, de ce fait, des renseignements erronés sur la situation (phénomène de distorsion perceptive). Pour Klatzky et Lederman (1993), l'état des connaissances sur les différentes étapes de traitement au niveau du cortex ne les autorise pas à intégrer directement ce composant sensori-moteur dans leur modèle. C'est pourquoi elles le séparent du reste du modèle par des pointillés.

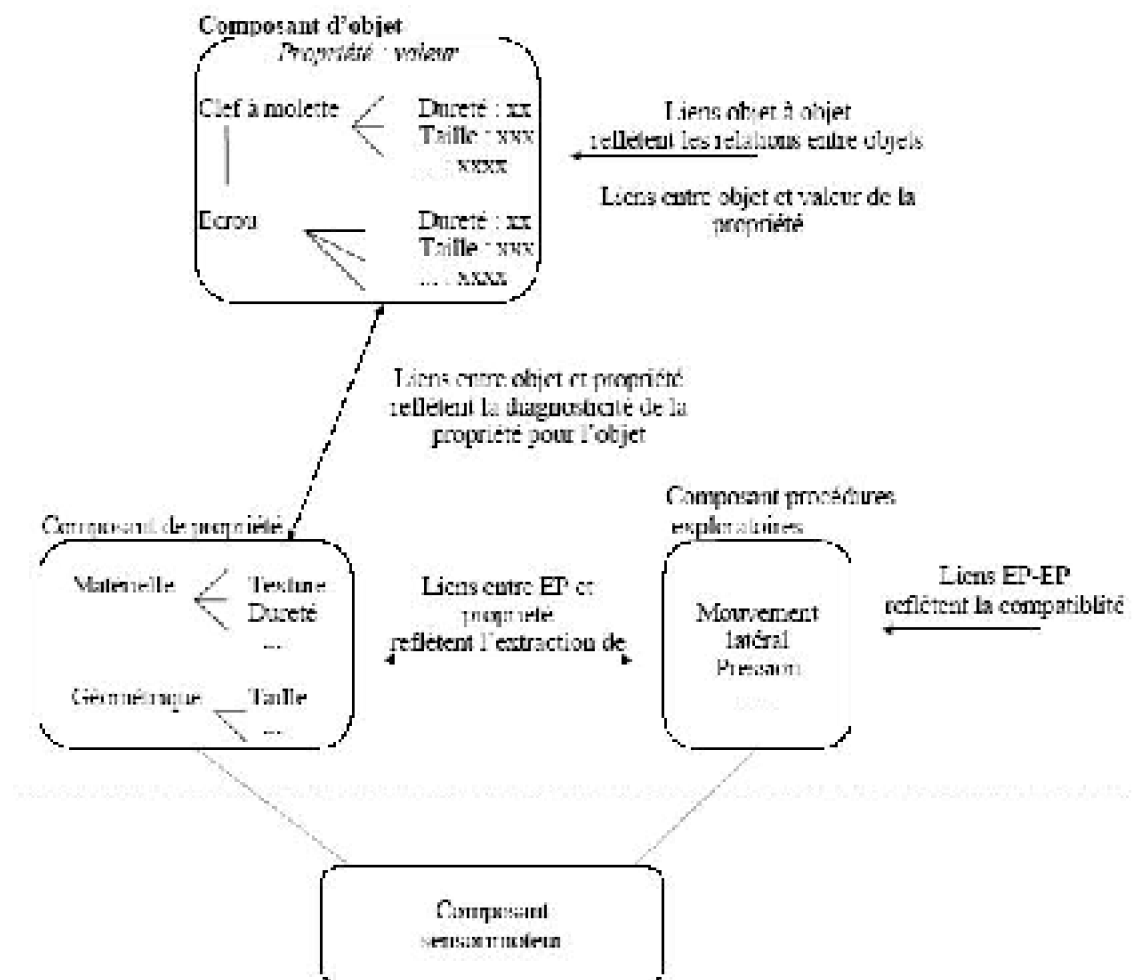


Figure 13 : Modèle de la macrostructure d'après Klatzky et Lederman (1993).

## 5-2 Le composant des procédures exploratoires

Les procédures exploratoires sont considérées comme des modèles stéréotypés de contacts et de mouvements. Elles sont mises en place par un sujet explorant pour extraire de l'information sur un objet par la modalité haptique.

Les procédures exploratoires sont définies selon plusieurs paramètres :

- la région d'exploration (angle, surface, angles & surface)
- la direction de la force (tangentielle versus normale)
- le mouvement (statique versus dynamique)
- la contrainte de l'espace de travail (oui versus non)

Sur cette base, six procédures exploratoires principales ont été définies, plus deux fonctions tests. Les six procédures sont :

- le contact statique,
- la pression,
- le mouvement latéral,
- l'enveloppement,
- le suivi de contour,
- le soulèvement.

Klatzky et Lederman (1993) envisagent la prise en compte d'autres critères pour définir les procédures. Le premier critère est un critère de mesure de forces et le second un critère précisant le mouvement. En effet pour ce dernier critère, le mouvement dynamique présent dans le suivi de contour et dans le mouvement latéral, est totalement différent dans les deux cas. Il est relativement continu pour le suivi de contour alors qu'il est caractérisé par des allers-retours dans le mouvement latéral. Une procédure exploratoire est plus ou moins spécialisée dans l'extraction d'une ou plusieurs propriétés, de telle sorte qu'il existe :

- des procédures globalisantes, permettant d'obtenir des informations sur plusieurs propriétés
- des procédures spécifiques, de faible étendue (un seul type de propriété).

Le sujet choisira la ou les procédures les plus pertinentes pour résoudre la tâche. En fonction de la quantité d'informations dont il dispose, il optera :

- pour un procédé de diagnosticité de haut en bas, s'il a des hypothèses sur ce qu'il va explorer. Dans ce cas, il sélectionnera des procédures spécialisées pour répondre de façon précise à ses hypothèses.
- pour un procédé de diagnosticité de bas en haut, s'il n'a aucune connaissance à priori sur ce qu'il va explorer. Dans cette situation, son choix portera sur des procédures globalisantes, avant de tester des hypothèses plus précises, sur la base d'inférences.

Les procédures exploratoires sont donc hiérarchisées en fonction de leur capacité à extraire de l'information selon des propriétés. Nous reviendrons sur ce point dans le paragraphe 'lien entre procédures exploratoires et propriétés'.

### 5-3 Liens entre procédures exploratoires

---

Deux procédures exploratoires sont compatibles c'est-à-dire qu'elles peuvent être effectuées simultanément si :

- elles sont physiquement exécutables dans le même temps : compatibilité motrice.
- les valeurs de paramètres de l'une respectent les valeurs de paramètres de l'autre :

compatibilité de paramètres. Cette compatibilité est définie selon plusieurs critères :

- soit les procédures ont les mêmes valeurs de paramètres
- soit la valeur de paramètre d'une procédure respecte la valeur de paramètre de l'autre procédure.

Les procédures sont considérées comme non compatibles, si au moins deux valeurs de paramètres ne sont pas respectées.

Cette compatibilité des procédures permet l'extraction simultanée d'informations sur plusieurs propriétés et donc :

- de diminuer le temps d'exploration 1.
- de réduire la séquentialité des informations : l'unité perceptive sera plus aisée à établir si les informations sont déjà partiellement regroupées. 2.

En effet, savoir que la petite partie mobile de l'objet est rugueuse et la grande partie fixe est lisse est plus informatif que de savoir qu'une partie est mobile, l'autre non ; une partie est grande, l'autre petite et une partie lisse, l'autre rugueuse. Dans le premier cas, l'unité perceptive est déjà ébauchée. Dans le second cas, il va falloir envisager une seconde étape de traitement pour savoir si la partie mobile est petite ou grande, lisse ou rugueuse et par déduction savoir comment est la partie fixe.

## 5-4 Le composant de propriété

---

Ce composant rassemble les attributs présents pour un objet. Contrairement au module suivant, ce module ne prend pas en considération la valeur des propriétés mais seulement la présence ou l'absence de cette propriété.

Trois classes de propriétés se distinguent :

- les propriétés matérielles (ou de substance)
- les propriétés géométriques (ou de structure)
- les propriétés de fonction (relatives aux objets)

Les propriétés matérielles incluent les propriétés de texture, de dureté, de température,.... et les propriétés géométriques, la forme, la taille, le volume.... Selon la tâche et la modalité d'exploration, les propriétés sont extraites avec plus ou moins de succès et dans un ordre différent. Ainsi, l'extraction des propriétés matérielles est plus pertinente par la modalité haptique que par la modalité visuelle. En revanche, si les modalités visuelle et haptique sont associées, les propriétés géométriques et notamment la propriété de forme seront privilégiées (Klatzky et Lederman, 1987). Toutefois, la distinction entre ces deux types de propriétés n'est pas aussi stricte que cela. Il existe une catégorie intermédiaire (hybride) relevant à la fois des propriétés géométriques et des propriétés matérielles (ex : la masse dépend du volume et de la densité). De même, certaines propriétés matérielles comme la texture, peuvent parfois permettre l'extraction de propriétés géométriques. Par

exemple, les micro-éléments d'une texture peuvent être considérés sur une dimension de rugosité (matérielle) ou comme des éléments isolés (géométriques) (Klatzky et Lederman, 1993).

## 5-5 Liens entre propriétés

---

Le lien entre les propriétés tend à regrouper ensemble des propriétés de même type : la texture avec la dureté pour les propriétés matérielles ou la forme avec la taille pour les propriétés géométriques. Toutefois, nous venons de voir que cette coupure entre propriétés n'est pas aussi franche que cela, et qu'une propriété matérielle peut être associée à une propriété géométrique et même participer à son extraction.

## 5-6 Liens entre procédures exploratoires et propriétés

---

Ces liens indiquent la précision avec laquelle les procédures délivrent des informations sur une propriété. Une procédure exploratoire peut être :

- optimale, s'il s'agit de la procédure la plus efficace pour extraire une propriété donnée ;
- suffisante, si elle extrait la propriété de façon significative, sans pour autant être la plus performante ;
- nécessaire, si c'est la seule capable d'extraire cette propriété.

## 5-7 Le composant d'objet

---

Le composant d'objet comprend les propriétés et les valeurs spécifiques de chaque objet. Ce module inclut donc les représentations d'objets sous leur nom commun. Ce nom commun est déterminé sur le niveau de base de la catégorie auquel il appartient. Ce composant suppose que les représentations d'objets soient organisées en mémoire selon le principe, défini par Rosch et al (1976), de catégorisation sémantique. Trois catégories existent :

- un niveau super-ordonné où la fonction des objets prend la première place, par exemple effacer.
- un niveau de base dans lequel les objets sont classés sur la base de leur forme ou de leurs attributs physiques. Par exemple, une gomme sera définie en fonction de sa forme avec une valeur rectangulaire et une valeur de dureté, etc...
- un niveau sous-ordonné caractérisant un objet spécifique (gomme pour crayon à papier ou stylo bille, ...)

## 5-8 Liens entre objets et valeurs de propriétés

---

Ce lien est un lien interne au composant d'objet. Pour chaque propriété de l'objet, une valeur sera attribuée. Au final, l'objet sera décomposé et décrit par la valeur de chacune de ses propriétés. L'objet sera représenté par sa taille, sa forme, sa texture, sa dureté, sa fonction,... avec un poids particulier pour chaque critère. L'association de toutes ces valeurs de propriétés aboutira à une représentation unique et correspondra à cet objet particulier. L'extraction de ces valeurs de propriétés spécifiques lors d'une exploration conduira à l'activation en mémoire de la représentation de cet objet et donc à sa reconnaissance ou à son identification.

## 5-9 Liens objet à objet

---

Ce lien est lui aussi interne au module. Il qualifie les relations entre objets dans le cadre du réseau sémantique. Ainsi, certains objets sont associés, du fait de leur appartenance à une même catégorie d'objets ou à des catégories proches. Selon leur niveau de proximité dans le réseau sémantique, le poids des liens sera plus ou moins fort. Cependant, ce lien ne signifie pas que les objets partagent les mêmes propriétés et encore moins les mêmes valeurs de propriétés. Dans l'exemple proposé par Klatzky et Lederman (figure 13), nous voyons que la clef à molette est reliée à l'écrou. Ce lien indique l'appartenance à une même catégorie sémantique, sans doute celle d'outils. Toutefois, ces deux objets ont des valeurs de propriétés qui leurs sont propres. Si la valeur de dureté sera sans doute proche (acier), la valeur de la dimension de taille sera différente pour les deux objets. L'association de toutes les valeurs de propriétés extraites par l'exploration pour un objet particulier, permettra au sujet de construire une représentation de l'objet exploré. A partir de cette représentation, il pourra émettre des hypothèses sur ce qu'est l'objet puis confronter ses données avec celles conservées et classées en mémoire. Selon la familiarité de l'objet et le nombre d'expériences du sujet avec cet objet, la reconnaissance émergera ou non.

## 5-10 Liens entre objet et propriété

---

Ce lien entre objet et propriété n'est pas constitué par la valeur de propriété spécifique d'un objet, mais plutôt sur la probabilité d'obtenir une valeur particulière de propriété. Si nous explorons une balle de coton, nous nous attendons à obtenir une valeur faible sur la propriété de dureté. Cependant, seule l'exploration nous permettra de vérifier la valeur exacte de la propriété. Cette prédiction nous renvoie à la notion de diagnosticité des propriétés. Une propriété est plus ou moins diagnostique pour un objet.

- Le rôle du processus de diagnosticité :

Selon nos attentes sur l'objet, nous allons donc mettre en place un processus de diagnosticité visant à rechercher :

- la propriété qui nous semble la plus pertinente pour identifier l'objet. Pour cela, nous devons avoir des connaissances préalables sur l'objet. C'est le processus de diagnosticité de haut en bas.



- le maximum d'informations sur toutes les propriétés de l'objet pour se créer une représentation globale de l'objet. Ce processus, qualifié de bas en haut, s'applique lorsque aucune information (ou trop peu) n'est disponible avant l'exploration. Le sujet n'étant pas en mesure de poser des hypothèses précises sur ce qu'est l'objet, il ne pourra pas mettre en place des procédures spécifiques à l'extraction d'une propriété.

- Le rôle de la catégorie sémantique :

Des données expérimentales ont montré lors de l'application d'un processus de diagnostic de haut en bas, le rôle du niveau de catégorisation sémantique. Lederman et Klatzky (1990) ont mis en évidence que les propriétés géométriques sont plus diagnostiques que les propriétés matérielles lorsque le nom de l'objet appartient à un niveau de base. De même, les propriétés matérielles sont plus souvent recherchées lorsque le nom de l'objet se situe à un niveau de catégorisation spécifique (sous-ordonné).

- Le rôle de la modalité d'exploration :

De plus, la diagnosticité des propriétés dépend de la modalité d'exploration. Les propriétés structurelles sont plus facilement extraites par la modalité visuelle. Biederman (1987) a d'ailleurs prouvé l'importance des informations géométriques dans la reconnaissance visuelle d'objets et Klatzky et Lederman (1987), le rôle des propriétés matérielles dans la perception haptique.

- Le rôle du contexte perceptif :

Une autre considération est celle du contexte perceptif (Klatzky et al, 1987). Si les sujets sont placés dans une condition haptique avec des instructions sur la forme visuelle ou dans une situation combinant les deux modalités, les propriétés géométriques sont plus pertinentes pour les sujets, alors que les propriétés matérielles l'emportent dans une condition exclusivement haptique.



# Chapitre 5 : conclusion, objectifs et materiel experimentaux.

## Conclusion et objectifs expérimentaux

Tout au long des différents chapitres que nous avons développés, nous avons abordé la complexité de la modalité haptique et ses implications dans les différents champs de la psychologie et de la cognition. En effet, une tâche, nécessite d'une part un traitement perceptif des informations cutanées mais aussi des informations kinesthésiques et proprioceptives. De plus, comme pour n'importe quelle tâche, le sujet est placé devant un problème qu'il doit résoudre. Il lui faut donc trouver des solutions. Pour cela, il doit produire des inférences et modifier son comportement en fonction des résultats obtenus. Or, selon les sujets l'adaptation à la tâche sera plus ou moins aisée. Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte. C'est le domaine de la variabilité individuelle. Mais des facteurs extérieurs peuvent également influencer le mode de résolution des sujets. Ainsi, un déficit peut venir perturber le traitement des sujets. Le modèle de la vicariance (Reuchlin, 1978) explique parfaitement ce phénomène. Selon la situation, les sujets peuvent choisir entre plusieurs processus pour résoudre la tâche. La hiérarchie d'évocabilité de ces procédés sera différente d'un sujet à l'autre et d'une tâche à l'autre. Appliqué aux systèmes déficitaires, ce modèle permet de comprendre les différences

interindividuelles. Ainsi, un sujet aveugle ne pourra pas résoudre une tâche par l'intermédiaire d'un processus impliquant une perception visuelle. Il devra opter pour un processus vicariant, qui ne sera pas nécessairement moins performant, mais qui utilisera d'autres voies de traitement. Mais là encore, il nous faut distinguer les aveugles en fonction de leur expérience visuelle. En effet, un aveugle tardif pourra parfaitement recourir à ses représentations visuelles pour résoudre la tâche contrairement à un aveugle précoce. Le but de notre recherche est d'étudier les différences entre les sujets en fonction de leur statut visuel et leur adaptation différentielle à la tâche. Nous observerons par conséquent l'adaptation des sujets avant et à l'issue d'un entraînement haptique.

La rencontre avec des situations haptiques offre au sujet un espace dans lequel il peut construire et tester des inférences (Richard J.F., 1998). Sur la base de ces dernières et de leurs conséquences, le sujet peut établir une liste des stratégies les plus performantes selon la tâche, en suivant le principe de la hiérarchie d'évocabilité (Reuchlin, 1978). Si cet espace n'est pas proposé aux sujets, nous postulons que celui-ci ne pourra pas s'adapter spontanément à la situation et ne pourra donc pas améliorer ses performances. Cependant, le choix de la stratégie est tout de même influencé par l'expérience des sujets, et en particulier, par l'expérience visuelle. En effet, la structuration cognitive des sujets est modelée par la présence des expériences sensorielles antérieures (Portalier, 1996). Le raisonnement des sujets garde une trace de ces expériences, même si la plasticité cérébrale permet aux aveugles d'activer des zones corticales habituellement dévolues au traitement visuel, à d'autres tâches (De Volder, et al., 1997). La recherche et le traitement des informations sont modifiés par ces expériences. Nous postulons que les voyants et les aveugles tardifs partagent un mode de raisonnement commun, en raison de leur expérience visuelle commune. A l'inverse, les aveugles précoces se distinguent des précédents par des modes de raisonnement basés sur des références non visuelles, alors que le mode de raisonnement des sujets avec expérience visuelle induit des références visuelles. Les différences devront donc être observables quelle que soit la difficulté de la tâche. En effet, si le mode de raisonnement est lié à la structuration cognitive des sujets, alors il sera présent dans toutes les situations, et il dévoilera une partie de l'organisation cognitive des sujets.

L'adaptation des sujets passera nécessairement par l'étude de leurs performances mais elle impliquera également l'étude des stratégies d'exploration. En effet, Klatzky et Lederman (1987) ont montré l'importance des procédures exploratoires dans les études sur la perception haptique. Cette étude des performances, en fonction du statut visuel et des procédés d'exploration, nous conduira à envisager une autre différence de base entre les sujets, celle de l'expérience haptique. En effet, les personnes aveugles sont plus expérimentées que les voyants en matière de modalité haptique, en raison de leur déficit. La vicariance entre à nouveau en jeu dans cette observation. La modalité visuelle étant indisponible, les sujets doivent recourir aux autres modalités pour compenser leur handicap. L'expérience visuelle devrait donc jouer un rôle dans la recherche d'informations.

De plus, les sujets peuvent recourir soit à un processus de recherche de l'information descendant soit à un processus de recherche de l'information ascendant. C'est-à-dire que

les sujets vont soit rechercher de l'information précise au cours de leur exploration, ce qui signifie qu'ils ont construit des inférences sur ce qu'ils vont toucher, soit rechercher le plus possible d'informations pour construire une représentation mentale de l'objet exploré. L'expérience haptique permet-elle de sélectionner plus rapidement le mode de traitement le plus adapté à la tâche ? Si oui, l'acquisition d'une expérience devrait permettre aux sujets de construire et de tester des inférences sur ce qu'ils explorent et donc de sélectionner des stratégies pertinentes pour la résolution de la tâche grâce à une phase d'entraînement haptique ?

D'autre part, cet apprentissage permettra t-il aux sujets de s'adapter à une tâche semblable mais avec des stimuli différents ? Le passage des rectangles aux hexagones sera t-il négocié aisément par nos sujets ? De plus, est-ce que la position de la cible, autrement dit, la proximité de la cible par rapport au modèle, aura une incidence sur la réussite des sujets ? En effet, la difficulté pourrait être plus importante pour des cibles éloignées du modèle que pour des cibles proches en raison d'une surcharge mnésique due à l'exploration des figures séparant le modèle de la cible.

Par ailleurs, les études sur les transferts intermodaux ont mis en évidence une spécialisation des modalités et une impossibilité de transfert des informations d'une modalité à l'autre. Seule une petite partie invariante de la perception peut enclencher une activation des représentations d'une autre modalité (Stréri, 2000, Ninio, 1996). Par conséquent, le modèle par médiation visuelle proposé par Klatzky et Lederman (1987) n'est pas validé. Les auteurs ont alors proposé un autre modèle par appréhension haptique directe (Klatzky et Lederman, 1987). Cependant, la perception visuelle est beaucoup plus globale que la modalité haptique. Par conséquent, les sujets avec une perception visuelle ne vont-ils pas essayer de retrouver cette unité perceptive rapide, avec les informations issues d'une exploration haptique ? Le mode de référence de ces sujets est essentiellement visuel, de ce fait, ne vont-ils pas chercher à traduire les informations haptiques en images visuelles parallèlement à un traitement direct des informations haptiques ? Ainsi, même si cette traduction n'est pas possible, ne pouvons nous pas envisager qu'elle soit malgré tout tentée ?

## **Le matériel et les consignes expérimentales.**

L'objectif principal de notre travail est l'étude différentielle des sujets en fonction de leur statut visuel. Nous souhaitons comprendre comment chacun de ces groupes s'adapte et ajuste spontanément ses stratégies de résolution de problème. Pour cela, nous avons construit un protocole expérimental. En aucun cas, nous ne voulions donner des indications aux sujets sur la manière dont ils pouvaient explorer. Cependant, tous les sujets n'ont pas la même expérience haptique. Par conséquent, il était nécessaire d'offrir aux sujets un espace dans lequel ils pourraient mettre à l'épreuve leurs stratégies et les adapter à leur gré. Toutefois, pour qu'ils puissent construire, tester et modifier leurs inférences, il était indispensable qu'un retour leur soit fourni. Mais ce retour ne devait aucunement les influencer dans le choix de leurs procédés. Nous avons donc fait le choix

de dire simplement si la réponse était juste ou non. Nous ne leur avons jamais dit pourquoi, la réponse était exacte ou non, ni comment ils devaient ou pouvaient explorer.

## 1- Le but de la tâche

---

La tâche que nous leur avons proposée était une tâche de reconnaissance d'un modèle représentant une figure géométrique plane parmi trois propositions. Sur une feuille cartonnée, nous avons disposé un modèle, deux distracteurs et une cible. La cible était la figure identique au modèle. Le modèle était toujours présenté en premier sur la feuille, autrement dit, il s'agissait de la figure la plus à gauche. Ce modèle était présent et consultable jusqu'à la fin de l'exploration.

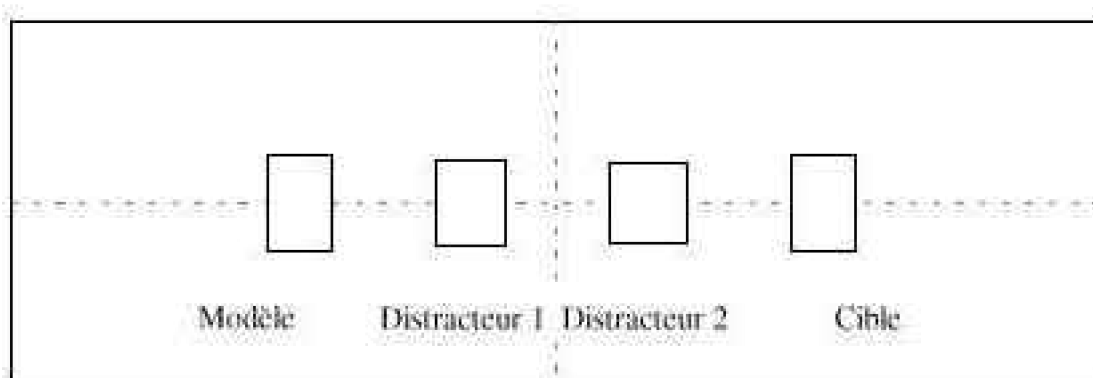


Figure 14 : Exemple d'item à l'échelle 1/2, avec une figure de type C en modèle.

## 2- Le matériel

---

Nous avons utilisé des feuilles cartonnées rigides de couleurs comme support de nos figures. Les dimensions de ces supports étaient de 24 cm de longueur et de 8 cm de hauteur. Nos figures ont été construites en feuilles bristol blanches 520 grammes qui ont permis un relief suffisant pour une discrimination aisée. Nous avons préféré cette utilisation de papier cartonné à une technique de thermogonflage. En effet, l'épaisseur du relief peut être très variable avec cette dernière technique en raison d'une réaction de dilatation des capsules de gaz à la chaleur qui ne garantit pas une hauteur constante. De plus, ce relief a tendance à s'affaisser au fur et à mesure des explorations. Les feuilles cartonnées procurent un avantage de constance du relief d'une figure à l'autre et garantissent une meilleure stabilité du relief à l'usage. En revanche, le papier cartonné est soumis à une altération des angles à force de manipulation. Pour protéger nos figures nous avons donc recouvert toutes nos planches (support et figures) d'un film plastique adhésif transparent. La même marque et la même qualité de film ont été utilisées pour tout le matériel, garantissant ainsi une texture et un grain identique.

Les feuilles cartonnées du support ont été choisies de couleurs pour trancher avec les figures et permettre une bonne visualisation de celles-ci et des procédés d'exploration lors de l'analyse vidéo.

Les sujets voyants étaient momentanément aveuglés à l'aide d'un masque de plongée recouvert de papier calque. Ce papier laissait seulement filtrer la lumière. Nous avons préféré ce mode d'occlusion visuelle à un masque noir afin que les voyants restent dans un milieu éclairé.

### 3- Construction des figures

---

Cinq types de figures rectangulaires ont été construites. L'aire de ces figures est comprise entre  $2,85 \text{ cm}^2$  et  $3 \text{ cm}^2$ . Elles se distinguent par des longueurs et des largeurs variables.

- La figure A mesure 2,5 cm de longueur pour une largeur de 1,2 cm et une aire de  $3 \text{ cm}^2$ .
- La figure B mesure 2,3 cm de longueur pour une largeur de 1,3 cm et une aire de  $2,99 \text{ cm}^2$ .
- La figure C mesure 2,1 cm de longueur pour une largeur de 1,4 cm et une aire de  $2,94 \text{ cm}^2$ .
- La figure D mesure 1,9 cm de longueur pour une largeur de 1,5 cm et une aire de  $2,85 \text{ cm}^2$ .
- La figure E mesure 1,7 cm de longueur pour une largeur de 1,7 cm et une aire de  $2,89 \text{ cm}^2$ .

Nous avons maintenu un écart variable entre deux figures successives de 0,2 mm sur la longueur et de 0,1 mm sur la largeur, exceptée pour la figure E. Le maintien de ce critère aurait diminué son aire à  $2,72 \text{ cm}^2$ , ce qui risquait de créer une différence de perception de la masse de la figure par rapport aux autres. Or, nous voulions que les figures soient différenciées sur le critère de longueur et non sur le critère de surface.

Le point de croisement des diagonales a servi à centrer les figures sur les planches. Toutes les figures ont également été centrées sur la feuille par rapport à leur propre centre, de telle sorte que les sujets ne pouvaient se contenter de tracer avec leur doigt une ligne droite pour sentir les différences de hauteur dues à un positionnement sur une ligne. Les écarts étaient donc répartis aussi bien sur le haut que sur le bas de la figure (figure 14). D'autre part, l'espace entre les figures était constant et de 2,3 cm. De la même manière, cet écart obligeait les sujets à explorer les figures et non à évaluer la hauteur par la perception « d'escaliers ».

Nous avons construit autant de planches que de combinaisons possibles. Chacune des cinq figures était présentée en tant que modèle et en tant que distracteur. Ainsi, il y avait cinq figures pour trois apparitions possibles sur les planches (le modèle (qui est également la cible) et deux distracteurs). Le premier distracteur pouvait être choisi parmi les quatre figures restantes et le second distracteur parmi les trois figures restantes. Au total, nous avons donc 180 combinaisons possibles ( $5 \times 4 \times 3$  figures  $\times$  3 positions).

Nous avons également adjoint à ces items dix nouvelles planches composées de formes géométriques hexagonales. L'aire de ces figures variait de  $2,66 \text{ cm}^2$  à  $2,72 \text{ cm}^2$ . La différence de longueur était également de 2 mm entre les figures et de 1 mm sur la

largeur. Les figures allaient de 2 cm de longueur à 2,8 cm et de 1,8 cm de largeur à 1,4 cm.

#### 4- Organisation des séances

---

Chaque sujet était suivi sur six séances à raison d'une séance par semaine d'une durée approximative d'une heure. Cependant cette durée pouvait varier selon les sujets en raison de leur vitesse d'exploration et de la qualité de leur réponse au cours des entraînements.

Les séances 1 et 6 étaient communes à tous les sujets. Ces deux séances correspondaient aux phases tests. Les quatre séances intermédiaires étaient des séances d'entraînements. Les personnes aveugles tardives, aveugles précoces et la moitié des voyants ont suivi un entraînement haptique à la tâche. L'autre moitié des voyants a suivi un entraînement auditif en lieu et place de l'entraînement haptique pour témoigner de l'effet de l'entraînement haptique sur les performances.

Nous pouvons schématiser l'organisation des séances comme ci-dessous :

- Séance 1 :  
Epreuve (40 items) identique pour tous les sujets (16 voyants, 8 aveugles tardifs et 8 aveugles précoces).
- Séances 2 à 5 : selon le groupe :
  - Séances d'entraînement auditif pour 8 voyants (45 items par séance) : groupe auditif
    - Séances d'entraînement haptique pour les 8 autres voyants (groupe haptique), les 8 aveugles tardifs et les 8 aveugles précoces (45 items par séances).
- Séance 6 :  
Epreuve (40 items +10) identique pour tous les sujets (8 voyants auditifs, 8 voyants haptiques, 8 aveugles tardifs, 8 aveugles précoces).

#### 5- Procédure

---

Les sujets s'asseyaient devant une table. Les planches étaient posées devant eux, de telle sorte que leurs avant-bras prennent appui sur la table, ceci, afin d'éviter un biais dû à la force gravitationnelle (Gentaz, 1997). Les séances étaient systématiquement filmées grâce à un caméscope posé sur un pied. Toutefois, les séances auditives ne nécessitant pas l'enregistrement des mouvements exploratoires n'ont pas été filmées. En effet, au cours de ces séances, les sujets devaient simplement taper sur les touches du clavier pour activer les sons et répondre. Les réponses et les sons écoutés étaient enregistrés directement par ordinateur.



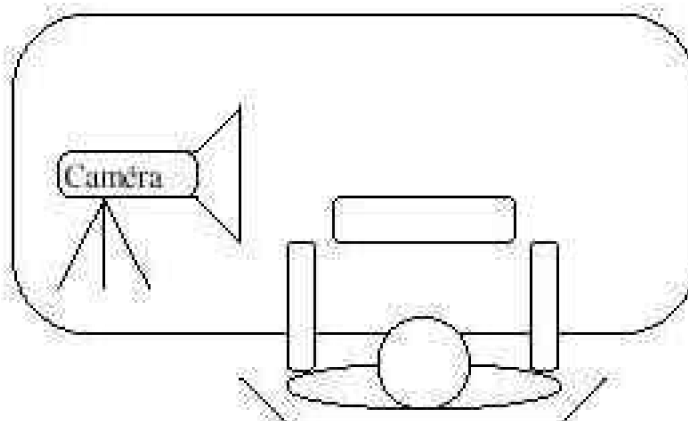


Figure 15 : Schéma du dispositif expérimental.

## 6- Les épreuves

---

Les épreuves 1 et 2 (première et dernière séances) :

40 items étaient proposés. Les items ont été sélectionnés parmi les 180 possibilités en respectant le nombre de huit présentations par figures. De même, nous avons contrôlé la position de la cible. La cible était donc présentée 13 fois en position 1 et en position 3. La position 2 comportait un item de plus, en raison d'un nombre d'items de 40, indivisible par 3.

Lors de la dernière séance, les dix items avec des formes hexagonales étaient proposés en fin de passation.

L'ordre des items de chaque type (rectangles et hexagones) était aléatoire et variait d'un sujet à l'autre et d'une séance à l'autre. D'autre part, nous demandions aux sujets l'autorisation de ne pas leur donner les résultats lors de la première séance. L'ensemble des résultats était donc présenté aux sujets lors de la dernière séance. Cette précaution avait pour but de ne pas guider les sujets dans leur exploration. Seule la phase d'entraînement devait leur offrir cette possibilité. Nous proposons trois items d'essais avant la passation de l'épreuve afin de nous assurer que les sujets avaient bien compris la tâche. Chaque figure était présentée huit fois en tant que modèle, avec des distracteurs différents et une position de la cible variable.

## 7- L'entraînement haptique

---

La tâche proposée était la même que pour les épreuves. Le sujet devait retrouver la figure identique au modèle parmi les trois propositions. Un retour était donné après chaque item en terme de juste ou faux. En cas d'erreurs, les sujets pouvaient explorer à nouveau les figures et prendre une nouvelle décision. 45 items étaient présentés dans un ordre aléatoire au cours de ces séances. De ce fait, la totalité des combinaisons a été présentée lors des entraînements. A chaque séance, un modèle était présenté 9 fois avec des distracteurs différents et une position de la cible variable.

## 8- L'entraînement auditif

---

L'entraînement auditif remplaçait les séances d'entraînement haptique pour la moitié de nos sujets voyants. Ces sujets passaient une tâche informatisée dans laquelle ils devaient retrouver le son identique au modèle parmi trois propositions. Ainsi, les sujets pouvaient écouter le modèle et les propositions autant de fois qu'ils le souhaitaient. Leur réponse était évaluée après chaque item de telle sorte qu'ils puissent réécouter les sons et donner une nouvelle solution. Comme pour l'entraînement haptique, 45 items étaient proposés par séance. L'écoute des sons se réalisait à l'aide d'un casque relié à un ordinateur. Les sons correspondaient à des notes de musique pures, distantes d'un demi-ton.

La tâche était donc la même, avec une présentation adaptée à la modalité auditive et à une présentation informatisée, mais les sons n'étaient pas la retranscription exacte des figures haptiques. De ce fait, seule la procédure de comparaison des sons et des figures était identique, écartant ainsi un risque de transfert intermodal de l'information.

Les personnes qui ont suivi cet entraînement en lieu et place de l'entraînement haptique ont composé notre groupe contrôle. Nous avons choisi de constituer ce groupe pour observer l'incidence d'un entraînement haptique sur les performances. Les sujets des groupes auditifs et haptiques chez les voyants étaient issus de la même population. Ainsi, le groupe auditif viendra renforcer les observations issues du groupe haptique et témoignera des effets de l'entraînement. De plus, il permettra de vérifier qu'aucun apprentissage incident n'est observable entre les épreuves.

## 9- Consigne

---

Nous demandions aux sujets de retrouver la figure (ou le son) identique au modèle le plus rapidement possible. Nous les informions également qu'ils ne devaient explorer qu'avec la main droite (ou la main gauche dans la dernière étude), l'autre main pouvant seulement tenir la planche ou se placer en repère sous la première figure. En aucun cas, la main gauche ne devait toucher les figures.

Les sujets :

Les voyants :

Seize personnes voyantes, toutes étudiantes à l'Université Lyon 2, ont participé à l'expérience. Deux groupes ont été constitués. Un groupe a suivi un entraînement tactile et un autre un entraînement auditif. Tous les sujets étaient droitiers selon le test de latéralité abrégé d'Oldfield (1971). En effet, ce test permet d'évaluer le degré de latéralité des sujets. Le groupe tactile est constitué d'1 homme et de 7 femmes. L'âge moyen des sujets est de 24 ans 1 mois et l'écart-type de 10 ans 8 mois. Leur quotient moyen de latéralité est de 76,79 avec un écart-type de 19,77. Il indique que tous les sujets sont droitiers. Le groupe auditif se compose d'1 homme et de 7 femmes. L'âge moyen de ce groupe est de 21 ans 1 mois et l'écart-type de 2 ans 4 mois. Leur quotient moyen de latéralité est de 74.84 avec un écart-type de 20.15 avec une dominance manuelle droite.

## 10- Les aveugles

---

Seize personnes aveugles résidant dans la région lyonnaise ont participé à l'expérience. Huit étaient aveugles précoces et huit autres étaient aveugles tardives.

Le groupe d'aveugles précoces était composé de 5 femmes et de 3 hommes droitiers. L'âge moyen de ces sujets était de 45 ans et 6 mois avec un écart-type de 14 ans 1 mois. Toutes les personnes lisaient le braille, 7 en lecture bimanuelle et une en lecture unimanuelle. Leur niveau de scolarité était variable. Une personne s'est arrêtée au certificat d'études, une en classe de 5ième, une en 4ième, une en 3ième, une a obtenu le BEPC, deux le CAP et une avait le niveau bac+4. Les causes de cécité étaient la rubéole (2 personnes), la suroxygénation à la naissance (3 personnes), l'absence de nerf optique, la consanguinité et une cause inconnue. Sur les 8 aveugles précoces, 7 étaient aveugles de naissance et la dernière a perdu la vue au cours de sa deuxième année de vie, à la suite d'une cataracte congénitale liée à une rubéole maternelle.

Le groupe d'aveugles tardifs était constitué de 4 femmes et 4 hommes droitiers. Leur âge moyen était de 36 ans avec un écart-type de 10 ans 7 mois. Ils lisaient tous le braille, 4 en lecture bimanuelle et 4 en lecture unimanuelle. Leur niveau de scolarité était le CM2 pour une personne, le CAP pour une, le BEP pour deux, la 3ième pour une, le niveau bac+2 pour une et la licence pour une autre. L'origine de leur cécité résultait d'accident (2 personnes), de rétininites (3 personnes), d'écrasements des nerfs optiques, ou d'angiome rétinien ou de maladie génétique. L'expérience visuelle des aveugles tardifs variait de 3 à 33 ans (3, 6, 20(x2), 21, 24, 25 et 33ans) et quatre conservaient une perception lumineuse.

La France définit la cécité par une perception visuelle inférieure à 1/20° au meilleur des yeux après correction ou par un champ visuel de 10° au moins à chaque œil (Griffon, 1995). De grandes différences peuvent donc être relevées entre des sujets atteints de différentes formes de cécité. Or, ces différences peuvent avoir des conséquences sur le comportement et le développement cognitif des sujets. Nous avons donc essayé de limiter les différences de perception de façon plus précises, en adoptant les critères de cécité définis par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Cette organisation distingue en effet, cinq niveaux principaux d'atteintes visuelles plus un niveau d'atteinte indéfinie. Trois de ces critères correspondent à une cécité telle que définie en France. Nous avons recherché des personnes ayant un niveau de cécité correspondant aux critères 4 et 5 de l'OMS. Autrement dit, la perception visuelle des sujets après correction était inférieure à 1/50° avec au minimum une perception de la lumière (catégorie 4) ou sans perception lumineuse (catégorie 5). Une seule personne appartenait à la catégorie 6, avec une atteinte indéfinie.



## Chapitre 6 : les performances generales.

Tout au long de la présentation des résultats, nous procéderons en deux étapes. Dans un premier temps, nous observerons l'influence de l'entraînement sur les résultats pour le groupe des voyants seuls. Nous comparerons les résultats du groupe haptique avec les résultats du groupe auditif. Cette étude nous permettra de mieux comprendre l'évolution des performances pour les voyants tout en contrôlant les effets de l'entraînement. Dans un second temps, nous étudierons l'évolution des performances des sujets dans une approche différentielle du statut visuel. Pour cela, nous comparerons les performances des sujets voyants avec entraînement haptique, des aveugles précoces et des aveugles tardifs.

D'autre part, toutes nos valeurs sont positives, elles présentent donc une asymétrie par rapport à la moyenne, telle que définie par la loi normale. Or, l'analyse de la variance requiert une condition de normalité, par conséquent, nous avons corrigé toutes nos données en appliquant une transformation en  $\log(x+1)$  (Abdi, 1987). Le test de normalité de Lilliefors (1967) valide cette transformation, en montrant des différences significatives entre la distribution observée et la distribution normale avant correction et une absence de différence à l'issue de la transformation. Autrement dit, les données corrigées en  $\log(x+1)$  suivent la loi normale, ce qui n'est pas le cas avant correction. Par souci du respect du critère de normalité, nous avons donc transformé toutes nos données.

## 1- Les performances

Nous avons procédé à différents types de codage des réponses. Tout d'abord, nous avons comptabilisé le nombre de bonnes réponses. Toutefois, si ces données sont informatives sur l'évolution des performances, elles ne nous permettent pas d'accéder au degré d'erreur effectué par les sujets. Nous avons donc eu recours à un second type de codage, dans lequel nous avons relevé l'amplitude d'erreur totale en millimètres pour chaque sujet. Nous avons vu précédemment que l'écart variait de 2mm sur la longueur pour des figures successives. Selon les combinaisons, l'erreur pouvait donc être de 2, 4, 6 ou 8mm. Ainsi, la différence de longueur entre les figures A et E était de 8mm, de 4mm entre A et D, mais seulement de 2mm entre A et B, B et C, C et D, D et E. Nous n'avons pas effectué cette analyse pour la largeur. En effet, l'écart entre les figures était de 1 mm soit proportionnel à la longueur, excepté pour la figure E qui nécessitait un écart de 2mm pour conserver une aire identique aux autres figures. Toutefois, ce codage ne permet pas de connaître le type d'erreur. En effet, plusieurs cas sont possibles, les sujets peuvent avoir eu peu d'erreurs mais de grande amplitude ; peu d'erreurs avec des amplitudes faibles ; beaucoup d'erreurs mais avec des amplitudes faibles ou encore beaucoup d'erreurs avec une amplitude d'erreur élevée. Pour accéder à ce niveau d'analyse, nous avons comptabilisé le nombre d'erreurs de chaque type pour chaque sujet.

### 1-1 Les voyants

---

#### 1-1-1 Résultats attendus

Cette expérience vise à montrer l'incidence d'un entraînement sur les performances. Par conséquent, nous souhaitons obtenir de meilleures performances à l'épreuve 2. Pour vérifier que l'amélioration que nous observons est bien la conséquence de l'entraînement et ne résulte pas d'un biais expérimental, nous avons constitué un groupe contrôle. Ce groupe a suivi un entraînement auditif qui doit être sans effet sur les performances. Nous postulons donc que les groupes auditif et haptique sont identiques à l'épreuve 1, et que seul le groupe haptique va améliorer ses performances entre l'épreuve 1 et l'épreuve 2. Rudel et Teuber (1963) ont été les premiers à montrer que les erreurs diminuaient grâce à la répétition des essais dans une tâche haptique. Nous devrions donc retrouver cet effet.

D'autre part, le modèle de la vicariance (Reuchlin, 1978) et plus encore les travaux sur les résolutions de problèmes (Bastien, 1997) ont montré que les sujets ne sont pas égaux face aux tâches de résolution de problème et que l'adaptation est très différente d'un sujet à l'autre. Certains sujets sont en position d'échec et ont des difficultés à se sortir de cette impasse et d'autres vont mettre en place des processus qui leur permettront de comprendre et de résoudre plus facilement la situation à problème. Nous postulons donc que la variabilité interindividuelle va augmenter entre les épreuves 1 et 2 pour le groupe haptique avec des personnes qui auront pu s'adapter à la tâche et d'autres

qui seront moins à l'aise.

D'un autre côté, nous supposons que les sujets du groupe auditif vont rester dans le même rapport les uns par rapport aux autres. En effet, l'entraînement auditif ne devrait pas avoir d'influence sur les performances haptiques, aucune différence ne devrait donc être relevée pour le groupe auditif. Effectivement, l'entraînement auditif, tout en reprenant le même style de tâche que l'entraînement haptique, n'est pas la transcription exacte du problème soumis aux sujets explorant haptiquement. Ainsi, le groupe auditif devait reconnaître les sons identiques au modèle, en terme de ton et non en terme de distance séparant deux notes. Par conséquent, nous ne devrions pas observer de transfert intermodal entre les tâches. Les temps d'exploration quant à eux ne devraient pas subir l'influence de l'entraînement ou du moins pas dans une grande mesure. En effet, l'entraînement doit permettre aux sujets de se familiariser avec la modalité haptique, et de tester les procédés d'exploration à leur disposition. Cependant, les sujets voyants sont conditionnés par leur expérience visuelle. De ce fait, nous pensons que les voyants tenteront de traduire les informations haptiques en informations visuelles. Ainsi, le temps d'exploration reflétera ce temps de traduction et non la rapidité d'exécution des procédés d'exploration haptique. Nous devrions donc trouver des temps d'exploration semblables pour les deux épreuves.

### 1-1-2 Performances aux épreuves en terme de bonnes réponses

Nous avons effectué une analyse de la variance à deux facteurs (groupe [haptique vs auditif] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le deuxième facteur. Le tableau IX regroupe les moyennes et les écarts-types en nombre de bonnes réponses et en nombre de bonnes réponses transformé en  $\log(x+1)$ .

			Moyenne	Ecart-type
Epreuve 1	Haptique	nbre	20,5	4,629
		log	1,323	0,098
	Auditif	nbre	20,25	4,2
		log	1,319	0,092
Epreuve 2	Haptique	nbre	27,125	7,039
		log	1,437	0,112
	Auditif	nbre	20,25	6,519
		log	1,306	0,152

Tableau IX : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses en nombre de bonnes réponses et en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

L'analyse révèle une absence d'effet du groupe ( $F(1,14)=1.671$  ;  $p=.217$ ) et une tendance pour l'épreuve ( $F(1,14)=3.918$  ;  $p=.068$ ) allant dans le sens d'une augmentation du nombre de bonnes réponses à l'épreuve 2. Un effet de l'interaction ( $F(1,14)=6.207$ ,  $p=.026$ ) est également obtenu (figure 16).

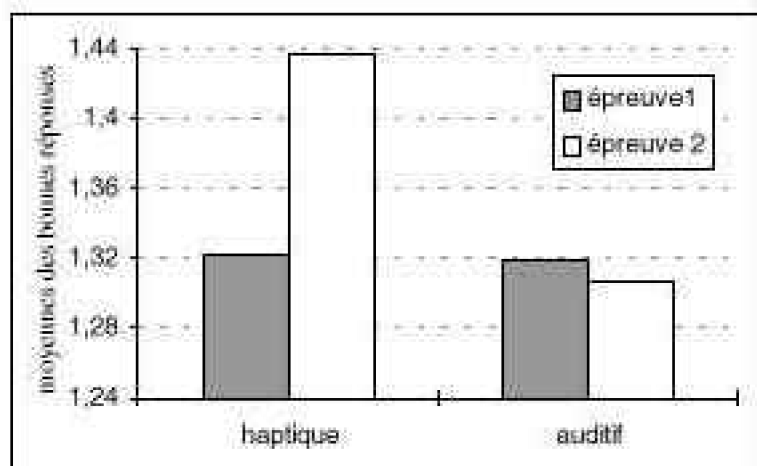


Figure 16 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

L'étude des contrastes (tableau X) nous apprend qu'il n'y a pas de différence significative entre l'épreuve 1 et l'épreuve 2 pour le groupe auditif ( $p=.723$ ), alors qu'une différence très significative est observée pour le groupe haptique entre les deux épreuves ( $p=.007$ ). Les performances du groupe haptique se sont améliorées lors de la seconde épreuve, alors que les performances du groupe auditif n'ont pas évolué. D'autre part, si la différence entre les groupes n'est pas significative à l'épreuve 1 ( $p=.915$ ), les performances diffèrent très significativement entre le groupe haptique à l'épreuve 2 et le groupe auditif à l'épreuve 1 ( $p=.006$ ), ainsi qu'entre les groupes haptique et auditif à l'épreuve 2 ( $p=.003$ ).

Tableau X : Tableau récapitulatif des contrastes pour l'interaction épreuves x groupes.

	Haptique 2	Auditif 1	Auditif 2
HAPTIQUE 1	.007	.915	.645
Haptique 2		.006	.003
Auditif 1			.723

Au départ, les deux groupes sont semblables. Cependant, leur performances diffèrent après la phase d'entraînement. Ainsi, l'entraînement haptique a permis au groupe haptique d'améliorer ses performances, alors que l'entraînement auditif est resté sans effet. Notre hypothèse selon laquelle un entraînement haptique permet d'améliorer les performances à une tâche haptique est donc vérifiée. D'autre part, nous avons émis comme postulat que le groupe auditif, autrement dit notre groupe contrôle, n'améliorerait pas ses performances. Ce point s'est donc avéré exact. Ainsi, nous avons montré d'une part qu'un entraînement auditif n'avait pas de répercussion sur notre tâche haptique et d'autre part, qu'il n'y a pas eu d'effet de mémorisation de l'épreuve 1. Ces points étant clarifiés, nous allons poursuivre notre étude par l'analyse des amplitudes d'erreurs. Le degré d'erreur étant pris en compte dans cette analyse, cette dernière nous apportera des informations sur l'évolution des erreurs.



### 1-1-3 Les performances en terme d'amplitudes d'erreurs

Nous avons effectué une analyse de la variance à deux facteurs (groupe [haptique vs auditif] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le deuxième facteur. Le tableau regroupe les moyennes et les écarts-types en millimètres et en log (x+1).

			Moyenne	Ecart-type
Epreuve 1	Haptique	mm	67,75	22,61
		log	1,813	0,16
	Auditif	mm	62,75	21,08
		log	1,787	0,128
Epreuve 2	Haptique	mm	37,5	26,05
		log	1,469	0,383
	Auditif	mm	63,5	32,28
		log	1,767	0,203

Tableau XI : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs en millimètres et en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

L'analyse révèle un effet de l'épreuve ( $F(1,14)=6.75$  ;  $p=.021$ ) : l'amplitude des erreurs diminue au cours de la seconde épreuve. En revanche, nous n'observons pas d'effet du groupe ( $F(1,14)=2.13$  ;  $p=.167$ ). D'autre part, l'interaction groupes x épreuves est significative ( $F(1,14)=4.88$  ;  $p=.044$ ) (figure 17).

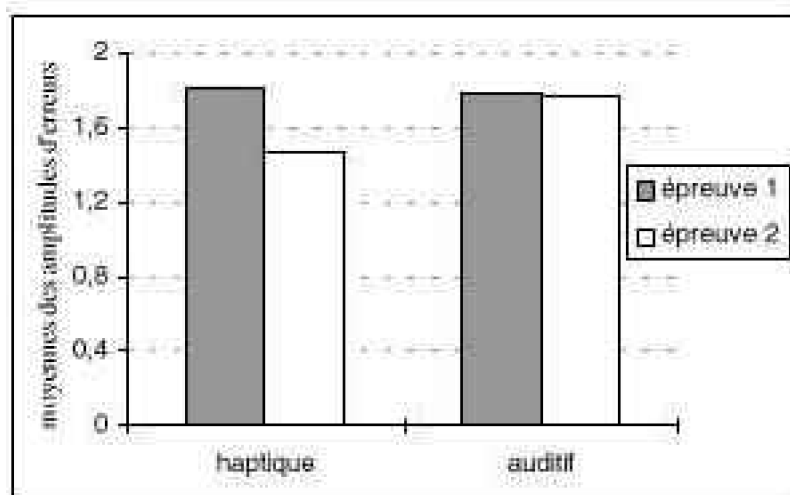


Figure 17 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

L'étude des contrastes (tableau XII) pour l'interaction groupes x épreuves, nous indique une absence de différence significative entre les épreuves pour le groupe auditif ( $p=.786$ ), entre les groupes haptique et auditif pour l'épreuve 1 ( $p=.896$ ) et entre le groupe haptique à l'épreuve 1 et le groupe auditif à l'épreuve 2 ( $p=.689$ ).

En revanche, des différences significatives apparaissent entre les groupes auditif et haptique à l'épreuve 2 ( $p=.01$ ), entre le groupe haptique à l'épreuve 2 et le groupe auditif à l'épreuve 1 ( $p=.006$ ) et entre les épreuves 1 et 2 pour le groupe haptique ( $p=.004$ ) avec une diminution des amplitudes d'erreurs.

Tableau XII : Tableau récapitulatif des contrastes pour l'interaction épreuves x groupes.

	Haptique 2	Auditif 1	Auditif 2
Haptique 1	.004	.896	.689
Haptique 2		.006	.01
Auditif 1			.786

Ces résultats indiquent d'une part, que les groupes auditif et haptique sont semblables au départ, et d'autre part, que le groupe auditif n'a pas bénéficié d'un entraînement. Ainsi, un effet de l'entraînement est mis en évidence pour le groupe haptique mais pas pour le groupe auditif, alors même que les deux groupes sont semblables lors de la première épreuve. Les performances vont dans le sens d'une diminution des amplitudes d'erreurs pour le groupe haptique entre l'épreuve 1 et l'épreuve 2.

Ainsi, notre postulat selon lequel les deux groupes de voyants droitiers sont semblables au départ s'avère exact. Nos hypothèses étaient d'une part, qu'un entraînement haptique permet de diminuer les amplitudes d'erreurs et d'autre part, qu'un entraînement auditif n'est pas transférable à la modalité haptique. Les analyses valident ces hypothèses. Les amplitudes d'erreurs des sujets du groupe haptique à l'épreuve 2 (moyenne : 37.5) sont inférieures au groupe auditif épreuves 1 et 2 (moyenne : 62.75 et 63.5) et au groupe haptique épreuve 1 (moyenne : 67.75).

#### 1-1-4 Discussion générale sur les performances globales

Les résultats des analyses sur les bonnes réponses et sur les amplitudes d'erreurs mettent en évidence une absence d'effet du groupe. Ainsi, les deux groupes sont identiques. Toutefois, l'effet de l'épreuve n'indique qu'une tendance dans l'analyse des bonnes réponses alors qu'il est significatif pour les amplitudes d'erreurs. Or, les amplitudes d'erreurs sont plus discriminantes que l'étude des bonnes réponses. Ainsi, l'effet de l'épreuve se révèle véritablement dans l'analyse des amplitudes d'erreurs qui autorisent des écarts plus importants entre les groupes que ne le font les bonnes réponses. Si le nombre de bonnes réponses n'a pas augmenté de façon réellement significative, l'amplitude des erreurs a évolué. Nous pouvons alors nous interroger pour savoir si ce constat est dû à une augmentation du nombre de bonnes réponses ou à une diminution des grosses erreurs (6 ou 8mm par exemple).

D'autre part, nous avons postulé que la variabilité interindividuelle allait augmenter d'une épreuve à l'autre, notamment pour le groupe haptique en raison d'une plus ou moins grande adaptabilité à la tâche. Nous avons mis en relation avec cette variabilité, le choix d'un processus de recherche d'informations par appréhension haptique directe ou par médiation d'images (Klatzky & Lederman, 1987). Nous avons postulé que le groupe

auditif ne devait pas varier. Or, une analyse descriptive des résultats nous informe que la variabilité a augmenté aussi bien pour le groupe auditif que pour le groupe haptique, et ce, pour le nombre de bonnes réponses comme pour les amplitudes d'erreurs. Le groupe haptique semble donc valider nos hypothèses mais le groupe auditif nous interroge. En effet, ce groupe n'a pas amélioré ses performances or l'écart entre les sujets s'est accentué. Nous avons vu dans la partie théorique que la variabilité interindividuelle est présente quelle que soit la tâche (Bastien, 1997) avec des sujets qui s'adaptent spontanément et d'autres non. Cette variabilité est particulièrement observable dans les situations à problèmes. Certaines personnes du groupe auditif ont donc pu trouver seules des solutions et améliorer ainsi leurs performances. D'ailleurs, l'observation des données brutes du groupe auditif montre que le nombre de bonnes réponses varie entre 13 et 26 pour l'épreuve 1 et entre 10 et 30 pour l'épreuve 2. De plus, 3 sur les 8 personnes ont obtenu un meilleur score à l'épreuve 2. Pour le groupe haptique la répartition des notes varie entre 14 et 26 à l'épreuve 1 et entre 18 et 38 à l'épreuve 2 et il est à noter que 7 des 8 participants ont amélioré leur performance. Ainsi, contrairement à nos hypothèses, la variabilité s'observe plus pour le groupe auditif qui n'a pas suivi d'entraînement haptique que pour le groupe haptique. En effet, ce groupe n'a pas pu être guidé lors de l'entraînement et nous pouvons observer l'adaptation des sujets à la tâche sans intervention extérieure. A l'inverse, les sujets du groupe haptique, qui ont eu plus de difficultés par rapport à la tâche ont bénéficié d'un temps d'adaptation qui leur a permis de développer des processus vicariants. Ce laps de temps a donc offert la possibilité aux sujets d'atténuer les différences interindividuelles sans toutefois les abolir.

### 1-1-5 Les temps d'exploration

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été effectuée.

	Epreuve 1		Epreuve 2	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Haptique	30	7.596	29.63	7.422
Auditif	27.62	11.383	20.91	8.799

Tableau XIII : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction du groupe et de l'épreuve.

Les résultats révèlent un effet principal de l'épreuve ( $F(1,14)=5.48$ ,  $p=.035$ ) et une tendance pour l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=4.39$ ,  $p=.055$ ). Les contrastes indiquent que les temps d'exploration ont diminué significativement pour le groupe auditif ( $p=.007$ ) mais pas pour le groupe haptique ( $p=.869$ ) alors que les groupes sont comparables lors de la première épreuve ( $p=.285$ ).

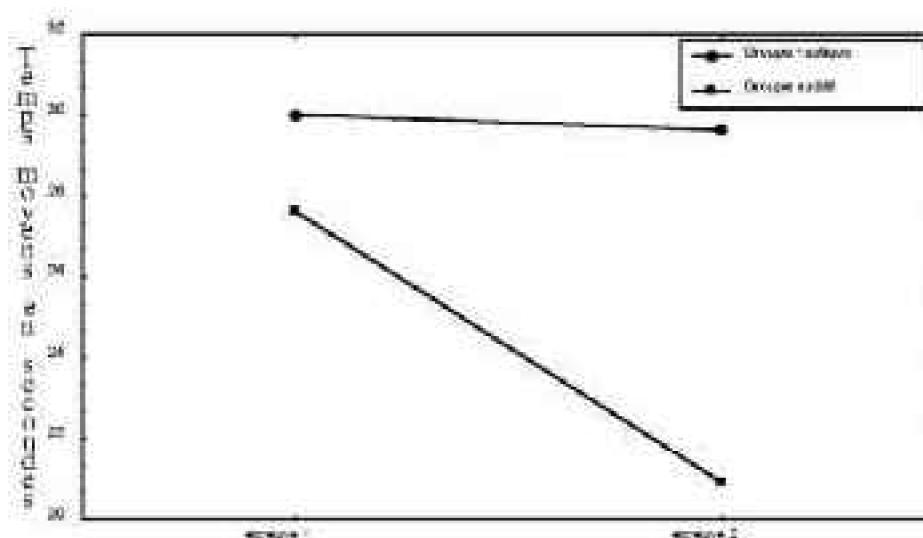


Figure 18 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe et de l'épreuve.

### 1-1-6 Discussion sur les temps d'exploration

Les résultats invalident nos hypothèses. Alors que nous attendions une diminution des temps d'exploration pour le groupe haptique et une absence d'évolution pour le groupe auditif, nous obtenons une diminution pour le groupe auditif et une absence d'évolution pour le groupe haptique. Plusieurs points sont à considérer pour expliquer ces résultats. Tout d'abord, pourquoi le groupe auditif a-t-il réduit son temps d'exploration ? La première hypothèse que nous pourrions formuler, est que le groupe auditif a amélioré ses performances. Or, les analyses précédentes ont montré que ce n'est pas le cas. Une autre possibilité est que le groupe auditif a passé moins de temps sur les items, par désintérêt pour la tâche. En effet, n'ayant pas de retour sur leur performance, ils se sont peut-être démotivés. Pourtant, leurs performances globales n'ont pas évolué. Une autre explication doit exister. Ce phénomène est peut-être induit par l'entraînement auditif suivi par ce groupe. La consigne demandait aux sujets de résoudre la tâche le plus rapidement possible. Or, la tâche a été résolue beaucoup plus rapidement dans la condition auditive que dans la condition haptique. La modalité haptique nécessite en effet une exploration plus longue que l'écoute d'un son. Cette plus grande séquentialité se traduit par des temps d'exploration plus longs. Par conséquent, les sujets du groupe auditif ont été habitués à donner rapidement une réponse et ils ont pu garder cette habitude lors de la phase haptique. Toutefois, cette interprétation ne suffit pas à expliquer pourquoi le temps d'exploration des voyants n'a pas évolué.

Ce second phénomène puise peut-être son origine dans le niveau d'expérience et de dextérité haptique des sujets. Certes, l'entraînement leur a permis d'améliorer leurs performances, mais cette phase est relativement courte au regard de l'expérience qu'ont pu se constituer les aveugles. De ce fait, la qualité d'exécution des procédés d'exploration haptique n'a peut-être pas encore atteint un niveau suffisant pour réduire les temps d'exploration. De plus, nous avons vu dans le chapitre 4 que les procédés d'exploration ne sont pas tous compatibles. Les sujets, manquant d'expérience, associent peut-être mal

les procédés entre eux et perdent du temps. De même, le choix des procédés, même s'il évolue à la suite de la phase d'entraînement, n'est peut-être pas toujours judicieux. Nous reviendrons sur ces procédés d'exploration dans le chapitre 8. Une autre possibilité est que les voyants ont appris au cours des entraînements à prendre le temps d'explorer, contrairement au groupe auditif. De ce fait, ils prêteraient moins attention à la consigne d'explorer le plus rapidement possible, qu'à la consigne de retrouver la figure identique au modèle. Ainsi, le temps indiquerait un moins grand stress du groupe haptique que du groupe auditif, face à la tâche. Ce dernier groupe se centrerait plus sur le temps, étant donné qu'ils n'ont jamais eu de retour sur leurs performances.

## 1-2 Incidence du statut visuel

---

### 1-2-1 Résultats attendus

Dans la tâche que nous proposons, les sujets doivent retrouver la figure identique au modèle mais sans informations préalables sur le type d'appariement. Au fil des essais et notamment au cours des séances d'entraînement, les sujets doivent tester différentes possibilités. Les sujets doivent donc construire des inférences sur la base d'un raisonnement inductif, pour comprendre la tâche et trouver la propriété pertinente. Le retour en terme de juste ou faux, permet aux sujets au cours des entraînements de tester leurs inférences et de trouver la règle. Nous sommes ici dans le cadre d'un apprentissage discriminatif. Cependant, tous les sujets ne raisonnent pas de la même manière, or selon le mode de raisonnement, les inférences seront différentes et les processus mis en place également. Le statut visuel peut également avoir une incidence sur le raisonnement et par conséquent sur les performances. Toutefois, la littérature nous révèle que pour des formes géométriques, les performances des aveugles précoces et des aveugles tardifs sont semblables (Heller, 1989). Nos figures étant des formes géométriques, nos résultats ne devraient donc pas montrer plus de différence.

De même, nous nous attendons à ce que les voyants aient de moins bonnes performances que les aveugles. D'autre part, nous postulons que la variabilité interindividuelle intragroupe sera plus élevée pour les voyants et pour les aveugles tardifs que pour les aveugles précoces. En effet, les aveugles tardifs, tout comme les voyants, ont eu une perception visuelle. Il est donc possible que certains de ces sujets cherchent à traduire les informations haptiques en informations visuelles. Ainsi, ils se trouveraient dans une impasse. En effet, nous avons vu avec Lederman, Klatzky et al. (1990) les limites d'un modèle de la perception par médiation d'images. En revanche, nous avons argumenté que cette traduction à défaut d'aboutir pouvait être tentée. Nous rejoignons à ce niveau de réflexion le modèle de la vicariance avec des processus plus ou moins efficaces pour résoudre une tâche (Reuchlin, 1978) avec une implication au niveau des travaux sur les résolutions de problèmes (Richard J.F, 1998 ; Bastien, 1993, 1997) et au niveau de la distinction entre les notions de handicap et de déficit. En effet, nous avons vu que les tâches de résolution de problèmes sont les lieux privilégiés de l'observation des sujets et de leurs raisonnements. De ce fait, elles permettent l'étude des variabilités intergroupes, interindividuelles et parfois intra-individuelles.

De même, le choix d'un processus différent peut entraîner des performances différentes et donc un niveau de handicap différent. Au-delà de la notion de déficit, qui conduit parfois à un état pathologique, nous pouvons généraliser le handicap à des individus sains mais face à une difficulté qu'ils ne réussissent pas à résoudre. Face à un problème, toute personne est plus ou moins handicapée, selon sa capacité à résoudre le problème. C'est pourquoi, la variabilité interindividuelle se retrouve dans toutes les populations. Nous ne devons pas perdre de vue la définition première du handicap. Le handicap est un poids que l'on attribue aux joueurs pour restreindre les écarts, notamment dans le cadre d'une course hippique. Ainsi, dans une tâche haptique, ce ne sont pas nécessairement les aveugles qui sont handicapés mais bien les voyants.

Au niveau des temps d'exploration, nous postulons que les voyants manquent d'expérience haptique face aux aveugles et que le choix et la qualité d'exécution de leurs procédés d'exploration sont inférieurs avec pour conséquence des temps d'exploration plus longs. Nous nous attendons donc à ce que les aveugles soient plus rapides que les voyants. Cependant, nous avons vu précédemment que le temps d'exploration ne diminue pas entre les épreuves pour le groupe haptique et donc que l'habileté haptique n'est pas l'explication la plus pertinente. Le rôle de l'expérience visuelle est l'hypothèse la plus prégnante. L'analyse des procédés d'exploration fera l'objet d'une analyse ultérieure. Pour cette raison, nous pensons qu'une différence sera également observable entre les aveugles précoces et tardifs avec des temps d'exploration plus longs pour les aveugles tardifs. En effet, nous avons postulé précédemment que l'expérience visuelle a une influence sur la mise en place d'un processus de recherche de l'information. Nous avons notamment avancé que certains aveugles tardifs allaient essayer de traduire les informations haptiques en une représentation visuelle. Le coût de cette tentative devrait s'observer par le biais des temps d'exploration, avec des temps plus longs pour les aveugles tardifs que pour les aveugles précoces. De telle sorte que les temps d'exploration des aveugles tardifs devraient être proches de ceux des voyants.

### 1-2-2-Le nombre de bonnes réponses

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles précoces vs aveugles tardifs] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été réalisée.

		Moyenne	Moyenne log	Ecart-type	Ecart-type log
Epreuve 1	Voyants	20,5	1,323	4,629	0,028
	A. précoces	27,88	1,455	5,303	0,074
	A. tardifs	27	1,445	2,878	0,013
Epreuve 2	Voyants	27,125	1,437	7,039	0,172
	A. précoces	31,75	1,51	4,979	0,072
	A. tardifs	30,25	1,494	1,982	0,028

Tableau XIV : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses en nombre de bonnes réponses et en  $\log(x+1)$  selon le groupe et l'épreuve.

Les résultats montrent un effet principal du groupe ( $F(2,21)=5.94$ ,  $p=.009$ ) et de l'épreuve ( $F(1,21)=18.810$ ,  $p=.0003$ ). Les voyants ont significativement moins de bonnes réponses que les aveugles précoces ( $p=.005$ ) et les aveugles tardifs ( $p=.012$ ). Par

ailleurs, tous groupes confondus, le nombre de bonnes réponses est plus élevé à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. En revanche, l'interaction groupes x épreuves n'est pas significative ( $F(2,21)=1.51$ ,  $p=.244$ ).

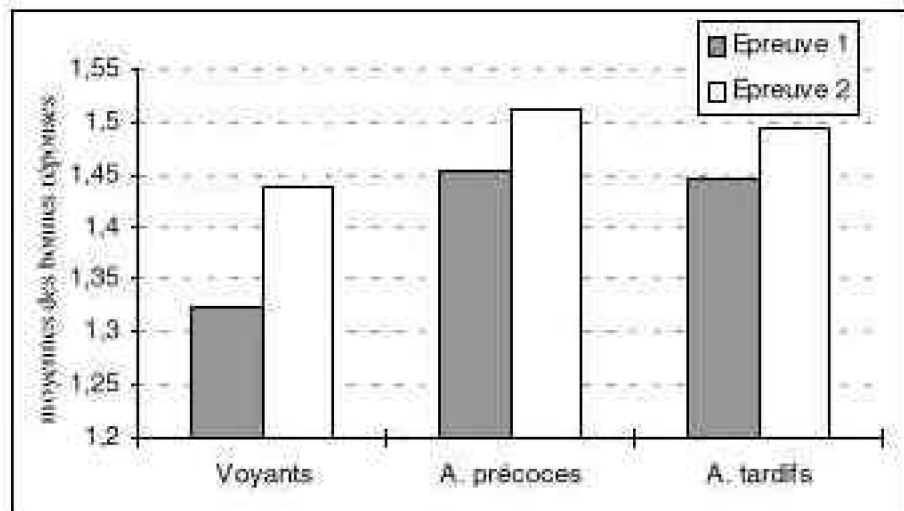


Figure 19 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

### 1-2-3-Les amplitudes d'erreurs

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles précoces vs aveugles tardifs] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été effectuée.

		Moyenne	Moyenne log	Ecart-type	Ecart-type log
Epreuve 1	Voyants	67.75	1.813	22.61	0.16
	A. précoces	32.75	1.428	16.83	0.404
	A. tardifs	33.5	1.524	8.668	0.121
Epreuve 2	Voyants	37.5	1.469	26.05	0.183
	A. précoces	19.75	1.244	14.56	0.255
	A. tardifs	23.75	1.373	6.882	0.127

Tableau XV : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs en millimètres et en  $\log(x+1)$  selon le groupe et l'épreuve.

Les effets principaux du groupe ( $F(2,21)=4.176$ ,  $p=.030$ ) et de l'épreuve ( $F(1,21)=11.52$ ,  $p=.003$ ) sont significatifs. Le groupe des voyants diffère significativement des aveugles précoces ( $p=.009$ ) et tend à se distinguer des aveugles tardifs ( $p=.089$ ). Aucune différence n'est notée entre les groupes d'aveugles ( $p=.293$ ). L'amplitude d'erreurs des voyants est supérieure à celle relevée pour les aveugles. En revanche, l'interaction groupes x épreuves n'est pas significative ( $F(2,21)=0.84$ ,  $p=.445$ ).

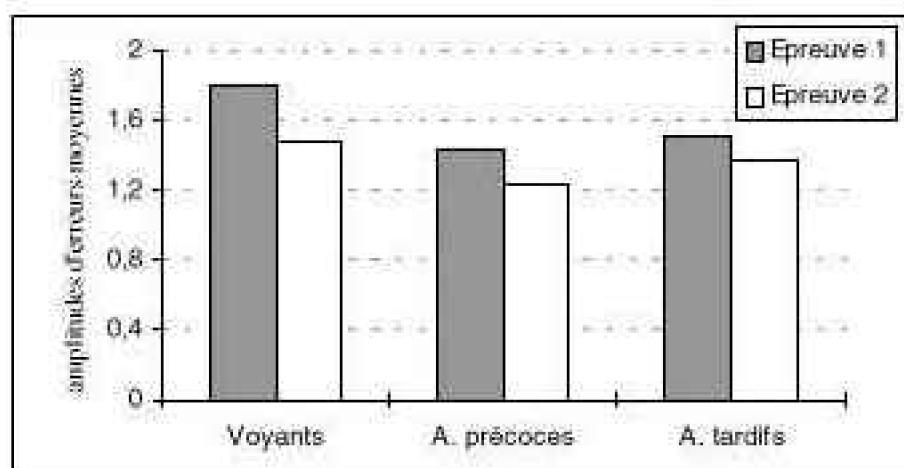


Figure 20 : Amplitudes d'erreurs moyennes en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

#### 1-2-4 Discussion générale

Les résultats montrent donc une différence significative entre les groupes. Les voyants diffèrent des aveugles précoces aussi bien sur le nombre de bonnes réponses que sur les amplitudes d'erreurs. La différence est moins nette pour la comparaison avec le groupe d'aveugles tardifs. En effet, si la différence est bien présente pour le nombre de bonnes réponses, seule une tendance est observée pour les amplitudes d'erreurs. Les performances des voyants semblent donc plus se rapprocher de celles des aveugles tardifs que de celles des aveugles précoces. Toutefois, les différences entre les aveugles précoces et les aveugles tardifs ne sont pas significatives.

D'autre part, l'analyse descriptive des résultats met en évidence une augmentation de la variabilité interindividuelle des voyants et une stabilité voire une diminution pour les groupes d'aveugles. Ceci est contraire à nos hypothèses pour les aveugles tardifs. Nous avons déjà discuté de cette variabilité lors de la comparaison entre les groupes de voyants avec ou sans entraînement haptique. Nous avons alors remarqué que le groupe auditif avait une variabilité plus importante à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. Nous avons interprété cette augmentation comme une aptitude différente d'adaptation spontanée à la tâche. La variabilité interindividuelle a également été observée pour le groupe haptique, mais cette différence s'est particulièrement révélée pour le groupe auditif puisqu'il n'a pas bénéficié d'un espace de réflexion et de test comme le groupe haptique. Pour les aveugles tardifs, nous pensions observer ce phénomène, or ce n'est pas le cas. En revanche, nous pouvons remarquer que leurs performances sont élevées par rapport aux voyants. De plus, l'interaction groupes x épreuves n'est pas significative. Ainsi, les performances des aveugles n'ont peut-être pas évolué de façon significative entre les épreuves. Nous nous proposons donc de regarder les contrastes de ces interactions, même si elles ne sont pas significatives, pour observer les groupes un par un.

Pour le nombre de bonnes réponses ( $F(2,21)=1,51$ ,  $p=.244$ ), les aveugles tardifs n'ont pas réellement amélioré leurs performances ( $p=.107$ ), seule une légère tendance se dessine. Pour les aveugles précoces, la tendance est un peu plus nette ( $p=.069$ ), et la



différence est très significative pour les voyants ( $p=0.0008$ ). Pour les amplitudes d'erreurs ( $F(2,21)=.84$ ,  $p=.444$ ), nous relevons une absence de différence aussi bien pour les aveugles tardifs ( $p=.216$ ) que pour les aveugles précoces ( $p=.124$ ) et bien sûr une différence très significative pour les voyants ( $p=.007$ ). Ainsi, pour les aveugles, l'amélioration des performances est plus nette pour le nombre de bonnes réponses que pour les amplitudes d'erreurs. Ceci laisse supposer que les sujets font moins d'erreurs mais pas nécessairement avec moins d'amplitude. Nous reviendrons sur ce point ultérieurement avec l'analyse du type d'erreurs.

Au vu des résultats et de l'absence d'amélioration des performances, nous pouvons peut-être interpréter la diminution de la variabilité interindividuelle des aveugles tardifs, par un effet de l'entraînement. Nous nous attendions à ce que la variabilité interindividuelle du groupe auditif n'évolue pas, or cette évolution est présente. A l'inverse, nous pensions que le groupe des aveugles tardifs allait présenter cette augmentation de la variabilité interindividuelle, ce qui n'est pas le cas. L'entraînement est sans doute à l'origine de ces observations. En effet, les séances d'entraînement ont donné la possibilité aux sujets de tester leurs inférences sur le critère de différenciation, ce qui équivaut à la recherche de la règle de classification dans le cadre d'un apprentissage discriminatif. De ce fait, des sujets qui ont eu plus de difficultés à résoudre la tâche, ont eu du temps et un espace de réflexion qui leur ont permis de trouver des solutions et donc d'atténuer l'écart avec des personnes qui ont trouvé spontanément et rapidement le critère de sélection des figures et les procédés pour extraire la propriété pertinente.

Cependant, si cette explication est valide, nous devrions également obtenir une diminution de la variabilité pour les voyants avec entraînement haptique. Or, ce n'est pas le cas. Comment interpréter ce résultat ? Nous avons comparé les groupes de voyants et d'aveugles en terme de statut visuel mais nous avons oublié en effectuant cette distinction, une autre distinction fondamentale qui est celle de l'expérience haptique. Les aveugles tardifs sont certes des sujets souffrant de cécité, mais ils n'en sont pas moins des sujets avec une expérience haptique. Leurs performances ne se distinguent d'ailleurs pas de celles des aveugles précoces qui pourtant n'ont pas d'expérience visuelle. Or, la variabilité des aveugles précoces a, elle aussi, diminuée. Cette diminution est peut-être à attribuer aux performances élevées des aveugles. Ils ont peut-être atteint un seuil au-delà duquel il est difficile d'améliorer les performances de façon significative du moins pour les sujets qui se sont spontanément adaptés à la tâche. Pour ces sujets déjà très performants, l'entraînement n'a pas eu un intérêt très important. L'amélioration n'a pu passer que par les sujets qui ont eu des difficultés dès le départ. L'entraînement leur a donc permis d'améliorer leurs performances et d'égaliser ainsi les performances des autres. Pour le groupe des voyants avec entraînement haptique, les sujets dès le départ étaient pénalisés par une inexpérience haptique. Par conséquent, les sujets qui ont trouvé rapidement le critère de différenciation des figures ont tout de même dû « s'initier » à la situation haptique, d'où des performances relativement faibles par rapport aux aveugles. Lors des séances d'entraînement, ces sujets ont pu se familiariser avec la situation haptique et améliorer leurs performances lors de l'épreuve 2. Les sujets qui n'ont pas trouvé le critère de différenciation des figures rapidement, ont dû non seulement se familiariser avec la tâche, mais en plus trouver le critère de sélection. De ce fait, la

variabilité interindividuelle est plus grande pour les voyants que pour les aveugles qui dans tous les cas, ont au moins bénéficié de leur expérience haptique.

### 1-2-5 Les temps d'exploration

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupe [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été réalisée.

	Epreuve 1		Epreuve 2	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Voyants	30	7.596	29.63	7.422
A. Précoces	18.22	19.075	13.61	10.307
A. Tardifs	26.57	13.491	29.65	23.211

Tableau XVI : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction du groupe et de l'épreuve.

L'effet principal de l'épreuve ( $F(1,21)=.065$ ,  $p=.801$ ) et l'interaction groupes x épreuves ( $F(2,21)=0.796$ ,  $p=.464$ ) ne sont pas significatifs. Seule une tendance se dessine pour le groupe ( $F(2,21)=2.56$ ,  $p=.101$ ) avec une différence quasi significative entre le groupe des voyants et le groupe des aveugles précoces ( $p=.0505$ ). Une tendance s'esquisse également entre les aveugles précoces et les aveugles tardifs ( $p=.083$ ). En revanche, les groupes de voyants et d'aveugles tardifs ne diffèrent pas au niveau des temps d'exploration ( $p=.802$ ).

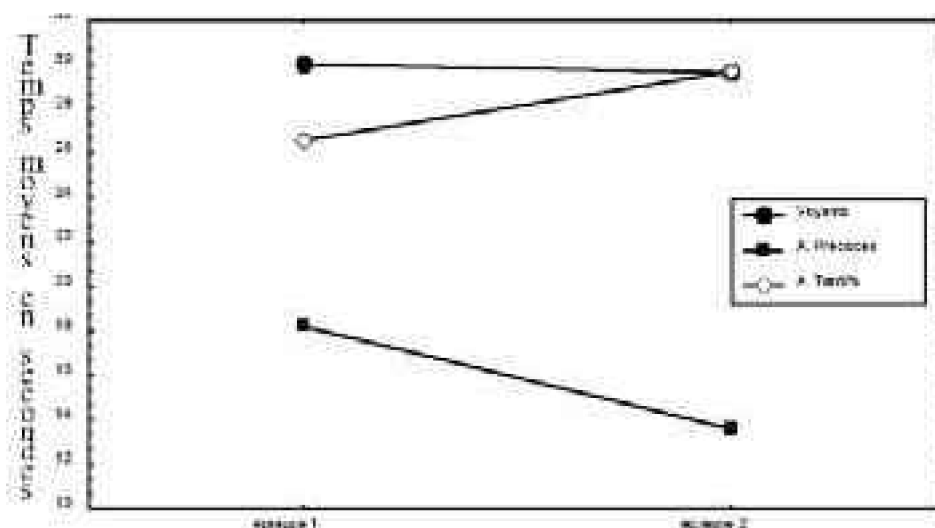


Figure 21 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe et de l'épreuve.

### 1-2-6 Discussion sur les temps d'exploration

Les voyants diffèrent des aveugles précoces mais pas des aveugles tardifs au niveau du temps d'exploration. Or, ces deux groupes n'ont de point commun ni sur le statut visuel ni sur le statut haptique. En revanche, les temps d'exploration des aveugles tardifs ne sont

significativement différents ni des voyants ni des aveugles précoces. Or, les aveugles tardifs partagent un point commun avec chacun des groupes. Ils se rapprochent des voyants sur le plan de l'expérience visuelle et ils rejoignent les aveugles précoces pour l'expérience haptique.

Cependant, l'analyse descriptive des résultats montre que les aveugles tardifs sont plus proches des voyants que des aveugles précoces et que l'écart semble même se creuser à l'épreuve 2 (figure 21). Les temps d'exploration des aveugles précoces semblent diminuer entre les épreuves. Or, la variabilité interindividuelle diminue également entre les épreuves pour ce groupe. Cette diminution du temps d'exploration résulte sans doute de la diminution de la variabilité interindividuelle.

A l'inverse, la variabilité interindividuelle des aveugles tardifs augmente, ce qui explique peut-être là encore, la forme ascendante de la droite des temps d'exploration entre les épreuves pour ce groupe.

La variabilité interindividuelle des voyants est, quant à elle, relativement stable et basse en comparaison des autres groupes. Or, si nous revenons au niveau d'expérience des sujets, nous pouvons constater que les personnes qui ont le plus d'expérience haptique sont aussi celles qui sont soumises à la plus grande variabilité interindividuelle. Les voyants ont amélioré de façon très significative leurs performances, cependant un entraînement haptique sur quatre séances ne compense pas une utilisation quotidienne. De ce fait, leurs procédures exploratoires ne peuvent pas égaler celles des aveugles au niveau de la précision. Ils ne peuvent pas non plus devenir experts dans le choix et la combinaison de ces procédés dans un délai aussi bref. L'analyse des procédures exploratoires nous permettra de mieux appréhender ce phénomène. Mais ceci ne permet pas d'interpréter la plus grande variabilité des sujets avec expérience visuelle.

Une explication est peut-être à chercher du côté de la vicariance. En effet, nous avons vu qu'avec un déficit égal, deux personnes pouvaient être plus ou moins handicapées dans une situation précise. En effet, les sujets développent des processus vicariants qui peuvent être très différents d'un sujet à l'autre. De ce fait, certaines personnes développent des processus vicariants sur la base d'une modalité différente. Il est donc probable que toutes les personnes n'ont pas la même dextérité dans une tâche haptique. De ce fait, les temps d'exploration varieront en fonction de leur aisance face à la tâche. Cette aisance est à distinguer du choix des procédés haptiques. Deux personnes peuvent utiliser le même procédé mais avec une réussite et une vitesse différente. Nous avons vu que les performances sont élevées chez les aveugles. La préférence des sujets ne peut donc se révéler qu'au niveau de la vitesse d'exécution des procédés.

Cette analyse met deux phénomènes en évidence. D'une part, tous les sujets aveugles ne sont pas aussi à l'aise les uns que les autres, face à une tâche haptique. Même si leurs performances restent excellentes, le temps d'exploration révèle une grande variabilité dans l'exécution des procédés. Nous verrons lors de l'analyse des procédés si cette variabilité dépend du choix des procédés ou bien de leur durée d'exécution. D'autre part, cette étude nous apporte un élément en faveur de notre hypothèse sur la tentative de traduction des informations haptiques en informations visuelles, en montrant des temps d'exploration plus longs pour les groupes ayant ou ayant eu une expérience

visuelle. Toutefois, cette hypothèse nécessitera d'autres analyses complémentaires pour être validée. Nous la rediscuterons ultérieurement.

## 2- Le type d'erreurs

A deux reprises au cours de cette partie, nous avons évoqué le type d'erreurs. Nous nous sommes interrogés sur l'évolution du nombre d'erreurs selon leur type. Nous nous proposons à présent d'analyser les erreurs.

Rappelons que les erreurs pouvaient être de 2, 4, 6 ou 8mm selon les items. Nous avons donc comptabilisé le nombre des erreurs effectuées par les sujets en fonction de leur type. Quarante items étaient proposés au cours des épreuves. A chaque item, trois propositions étaient présentées. Ainsi, 120 réponses étaient possibles (3 propositions x 40 items). Sur les trois propositions, une était correcte et les deux autres étaient erronées. Sur ces réponses erronées, l'amplitude des erreurs variait de 2 à 8 mm. Sur la totalité des items, il y avait donc 40 réponses justes, 25 réponses avec 2mm d'erreur, 23 avec 4mm, 32 avec 6mm ou plus (tableau XVII). Les erreurs de 8mm étant peu nombreuses, nous les avons regroupées avec les erreurs de 6mm. Le risque d'erreur pour des réponses aléatoires était donc différent selon le type d'erreur, par conséquent, nous allons étudier chaque type d'erreur isolément.

**Tableau XVII : Type de réponses possibles au cours des 40 items proposés au cours des épreuves.**

Nombre de possibilités de :	Nombres de réponses possibles
Réponses correctes	40
Réponses de type 2mm	25
Réponses de type 4mm	23
Réponses de type 6mm et plus	32
Nombre total de réponses possibles	120

Remarque : 40 items étaient proposés avec chacun trois possibilités de réponses. L'une de ces réponses était correcte, les autres pouvaient varier de 2, 4 ou 6mm et plus sur la longueur. Le tableau indique le nombre de possibilités de réponses de chaque type au cours d'une passation de 40 items (40 items x 3 possibilités = 120 réponses possibles).

### 2-1 Les voyants

---

#### 2-1-1 Résultats attendus

Au cours de la partie théorique nous avons vu que la recherche d'informations pouvait se réaliser par différents processus. En effet, selon le type d'informations recherchées, les sujets peuvent soit essayer de construire une représentation globale de l'objet exploré,

---

en vertu de la loi du droit d'auteur.

auquel cas ils appliquent un processus de diagnosticité de bas en haut ; soit rechercher des propriétés particulières et dans cette situation ils recourent à un processus de diagnosticité de haut en bas. Lors de la première épreuve, les sujets n'avaient pas de connaissances sur la situation et sur les formes. Par conséquent, ils ont dû se représenter la situation de manière globale et appliquer un processus de recherche de l'information ascendant. En revanche, le groupe haptique a eu la possibilité de se représenter le problème et de trouver la propriété pertinente pour résoudre la tâche. En effet, l'espace de l'entraînement leur a offert la possibilité de rechercher le critère de différenciation des figures et donc la propriété discriminante. Ainsi, lors de la seconde épreuve, le processus de recherche doit être descendant. A partir de leurs connaissances, les sujets vont rechercher un détail. De ce fait, ils vont prêter attention à une propriété particulière et l'entraînement va leur permettre d'extraire cette propriété avec plus de précision, en affinant leur recherche. Ainsi, le groupe haptique devrait voir son nombre d'erreurs baisser, notamment pour les erreurs de grande amplitude.

Nous postulons donc que le nombre des erreurs va diminuer pour le groupe haptique. Le groupe auditif, quant à lui ne devrait pas évoluer, en raison d'une absence d'effet de l'entraînement auditif, sur les performances haptiques. La diminution des erreurs pour le groupe haptique devrait se révéler pour tous les types d'erreurs et en particulier pour les erreurs les plus importantes (6mm et plus). Le seuil de perception devrait en effet diminuer à l'issue de l'entraînement, de telle sorte que les écarts de 6mm ou plus devraient être distingués et les erreurs évitées.

		Epreuve 1			Epreuve 2		
		2mm	4mm	6mmet+	2mm	4mm	6mmet+
Groupe Haptique	moyenne	10,75	5	3,75	8,25	3,5	1,125
	moyenne log	1,059	0,739	0,617	0,921	0,58	0,203
	écart-type	2,765	2,563	2,605	4,166	2,507	2,1
	écart-type log	0,103	0,230	0,247	0,226	0,293	0,317
Groupe Auditif	moyenne	10,63	6,25	2,75	11,38	5,75	2,625
	moyenne log	1,058	0,839	0,441	1,078	0,792	0,453
	écart-type	2,504	2,053	3,196	3,378	3,012	2,774
	écart-type log	0,086	0,159	0,363	0,122	0,194	0,312

Tableau XVIII : Moyennes et écarts-types du nombre d'erreurs selon le groupe, l'épreuve et le type d'erreurs.

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été réalisée pour chaque type d'erreur.

## 2-1-2 Nombre d'erreurs de 2mm

Les résultats ne révèlent un effet significatif ni pour le groupe ( $F(1,14)=2.39$ ,  $p=.144$ ) ni pour l'épreuve ( $F(1,14)=1.29$ ,  $p=.275$ ) ni pour l'interaction ( $F(1,14)=2.33$ ,  $p=.149$ ). Cependant, l'évolution interne des groupes nous intéressant plus particulièrement, nous nous proposons d'observer les contrastes. Ces derniers nous informent que le groupe auditif n'a pas amélioré ses performances entre les épreuves ( $p=.786$ ). En revanche, une

tendance se dessine pour le groupe haptique ( $p=.081$ ). De plus, nous apprenons que les deux groupes sont identiques à l'épreuve 1 ( $p=.98$ ).

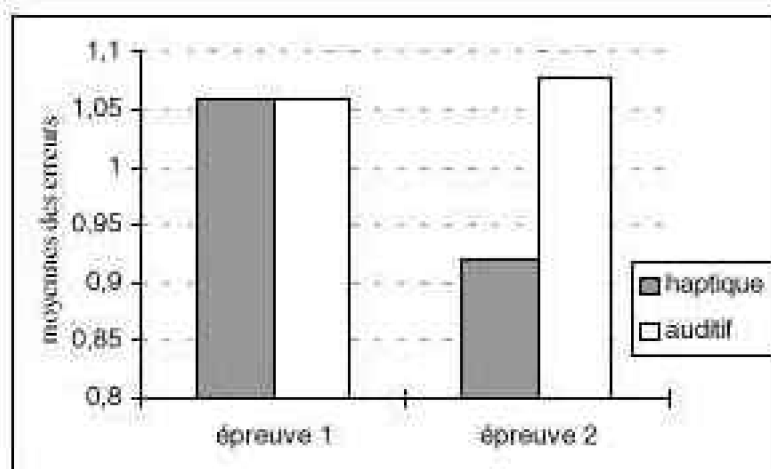


Figure 22 : Nombre moyen d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour des erreurs de 2mm d'amplitude.

### 2-1-3 Nombre d'erreurs de 4mm

L'effet du groupe n'est pas significatif ( $F(1,14)=2.55$ ,  $p=.133$ ) et l'interaction groupes x épreuves non plus ( $F(1,14)=1.328$ ,  $p=.268$ ). En revanche, un effet de l'épreuve est pratiquement observé ( $F(1,14)=4.53$ ,  $p=.051$ ), avec une diminution du nombre des erreurs à l'épreuve 2. Pour les mêmes raisons que précédemment, nous nous sommes penchés sur les contrastes de l'interaction groupes x épreuves. Alors que le groupe auditif n'a pas évolué ( $p=.501$ ), le groupe haptique a eu moins d'erreurs à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1 ( $p=.036$ ).

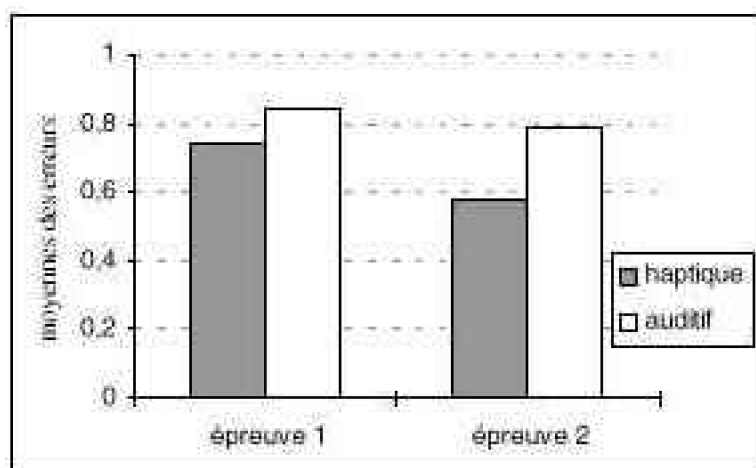


Figure 23 : Nombre moyen d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour des erreurs de 4mm d'amplitude.

### 2-1-4 Nombre d'erreurs de 6mm et plus

L'effet du groupe n'est pas significatif ( $F(1,14)=.08$ ,  $p=.782$ ) mais l'effet de l'épreuve si

( $F(1,14)=7.76$ ,  $p=.015$ ) avec une diminution du nombre d'erreurs à l'épreuve 2. De plus, l'interaction groupes x épreuves est elle aussi significative ( $F(1,14)=9.16$ ,  $p=.009$ ). Les contrastes révèlent une forte diminution des erreurs pour le groupe haptique entre les épreuves 1 et 2 ( $p=.001$ ). Le groupe auditif n'évolue pas entre les épreuves ( $p=.867$ ). Il est toutefois à noter que les groupes auditif et haptique tendent légèrement à différer à l'épreuve 1 ( $p=.102$ ) avec moins d'erreurs pour le groupe auditif. Cette tendance s'observe également entre les groupes auditif épreuve 2 et haptique épreuve 1 ( $p=.137$ ). En revanche, la différence est inversée à l'épreuve 2 avec un nombre d'erreurs inférieur pour le groupe haptique par rapport au groupe auditif à l'épreuve 1 ( $p=.033$ ) comme à l'épreuve 2 ( $p=.024$ ).

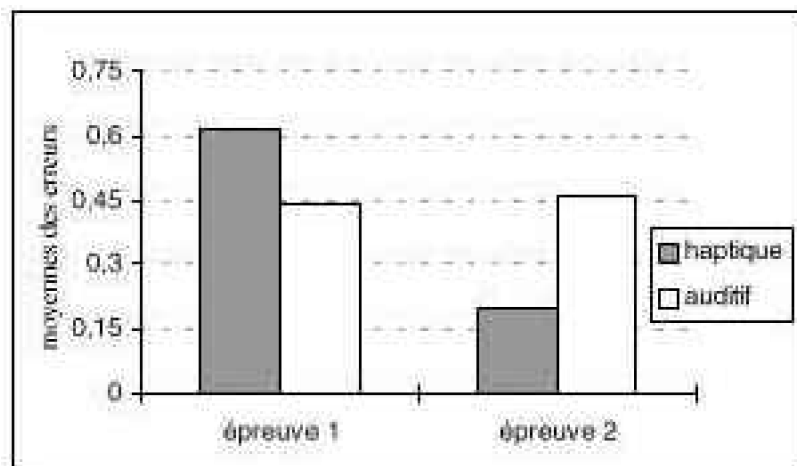


Figure 24 : Nombre moyen d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour des erreurs d'au moins 6mm d'amplitude.

### 2-1-5 Discussion générale

Nous pouvons noter que l'effet du groupe n'est significatif pour aucun type d'erreurs. Ce résultat pourrait nous paraître surprenant du fait de l'amélioration des performances pour le groupe haptique. Cependant, les groupes auditif et haptique sont issus de la même population. Par conséquent, leurs performances à l'épreuve 1 sont identiques. Seule l'épreuve 2 permet de les distinguer, ce qui ne suffit pas à rendre l'effet significatif, une tendance s'esquisse seulement pour les erreurs de 2 et 4mm ( $p<.145$ ). Pour les erreurs de 6mm et plus, la différence n'est pas du tout significative ( $p=.781$ ). Or, pour une raison indéterminée, les deux groupes tendent à différer à l'épreuve 1 avec moins d'erreurs pour le groupe auditif. De ce fait, les moyennes des deux groupes, toutes épreuves confondues sont encore plus semblables, et ne traduisent pas l'évolution différentielle des deux groupes au cours des épreuves.

Au niveau de l'effet de l'épreuve, nous obtenons un effet pour les erreurs de types 4mm et surtout 6mm et plus, mais pas pour les erreurs de 2mm. L'entraînement haptique ne semble pas avoir eu un effet sur ces erreurs de 2mm. Ces résultats sont en accord avec notre hypothèse selon laquelle l'amélioration passe par la réduction des erreurs les plus importantes.

Au niveau des interactions groupes x épreuves, seule l'interaction pour les erreurs de

6mm et plus est significative. Cependant, nos hypothèses portent sur l'évolution du groupe haptique et la stabilité du groupe auditif. Or, cette absence d'évolution du groupe auditif peut masquer les différences du groupe haptique si celles-ci ne sont pas suffisamment fortes. Pour cette raison, nous nous sommes autorisés à étudier les contrastes même si les interactions ne sont pas significatives. Les contrastes révèlent une tendance à la diminution des erreurs de type 2mm ( $p=.081$ ), une diminution pour les erreurs de 4mm ( $p=.036$ ) et une forte diminution des erreurs de 6mm ( $p=.001$ ) pour le groupe haptique entre les épreuves 1 et 2. En revanche, aucune amélioration n'est relevée pour le groupe auditif ( $p>.50$ ).

Ces résultats semblent donc valider nos hypothèses. L'entraînement a permis aux sujets du groupe haptique d'affiner leur recherche d'informations avec la mise en place d'un processus de diagnosticité descendant. Le nombre des erreurs a donc diminué en commençant par les erreurs les plus importantes, c'est-à-dire par les erreurs les plus faciles à éliminer. Nous nous proposons à présent, d'observer comment les erreurs évoluent pour les aveugles, en comparaison des voyants.

## 2-2 Le statut visuel :

---

### 2-2-1 Résultats attendus

Nous avons vu jusqu'à présent que l'amélioration des performances des aveugles est très relative. D'autre part, nous avons supposé précédemment que le choix du processus de diagnosticité participait à la résolution de problème. Si les aveugles ont de bonnes performances dès la première épreuve, c'est donc qu'ils ont mis en place des processus performants qui leur ont permis de trouver rapidement le critère de différenciation des figures. Ainsi, les erreurs d'amplitudes élevées (6mm ou plus) devraient être peu nombreuses dès la première épreuve. Pour les amplitudes moyennes (4mm), les aveugles devraient avoir moins d'erreurs que les voyants, en raison de leur expérience haptique. Cette expérience devrait leur permettre de prêter attention à des écarts plus restreints que les voyants. Ceci ne veut pas dire que les aveugles perçoivent mieux, mais que plus habitués aux situations haptiques, ils seront moins distraits par la somme des informations issues de la perception. En effet, nous avons vu que la perception haptique est séquentielle et qu'elle nécessite une étape de traitement importante de construction d'une unité perceptive. Par conséquent, les sujets doivent trier les informations. L'expérience permet de sélectionner plus rapidement les informations pertinentes mais pas forcément de mieux discriminer les différences. L'entraînement joue un rôle à ce niveau là pour les aveugles. Il permet aux sujets d'une part, d'affiner leurs procédés d'exploration et d'autre part, de se créer des représentations des longueurs afin de différencier des écarts de plus en plus fin. Ainsi, les erreurs moyennes (4mm) devraient être moins nombreuses à l'épreuve 2 aussi bien pour les voyants que pour les aveugles. Pour les erreurs de 2mm, l'amélioration devrait être moins nette du fait de la plus grande difficulté de différenciation des longueurs.



		Epreuve 1			Epreuve 2		
		2mm	4mm	6mmet+	2mm	4mm	6mmet+
voyants aveuglés	moyenne	10,75	5	3,75	8,25	3,5	1,125
	moyenne log	1,659	0,739	0,617	0,921	0,58	0,203
	Ecart-type	2,765	2,563	2,505	4,166	2,507	2,1
	Ecart-type log	0,103	0,230	0,247	0,226	0,293	0,317
aveugles précoces	moyenne	8,875	2,375	0,875	6,75	1,5	0,125
	moyenne log	0,931	0,466	0,185	0,848	0,316	0,038
	Ecart-type	4,486	1,847	1,458	3,454	1,927	0,354
	écart-type log	0,289	0,259	0,276	0,21	0,269	0,105
aveugles tardifs	moyenne	9,875	2,5	0,625	7,875	1,625	0,25
	moyenne log	1,025	0,533	0,135	0,944	0,367	0,075
	Ecart type	2,416	0,756	1,188	1,246	1,188	0,463
	écart type log	0,113	0,109	0,252	0,061	0,245	0,139

Tableau XIX : Moyennes et écarts-types du nombre d'erreurs selon le groupe, l'épreuve et le type d'erreurs.

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [voyants vs aveugles précoces vs aveugles tardifs] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2] x types d'erreurs [2mm vs 4mm vs 6mm et plus]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été effectuée.

### 2-2-2 Nombre d'erreurs de 2mm

Aucun effet n'est significatif (groupe :  $F(2,21)=1.56$ ,  $p=.233$  ; groupes x épreuves  $F(2,21)=.121$ ,  $p=.887$ ), seule une tendance se dessine pour l'épreuve ( $F(1,21)=3.42$ ,  $p=.233$ ) avec moins d'erreurs à l'épreuve 2.

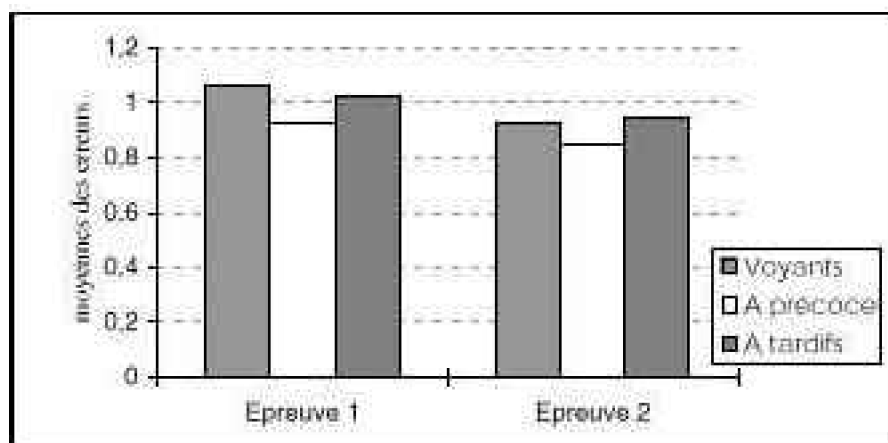


Figure 25 : Nombre moyen d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour des erreurs de 2mm d'amplitude.

### 2-2-3 Nombre d'erreurs de 4mm

L'effet du groupe est significatif ( $F(2,21)=3.64$ ,  $p=.044$ ). Les voyants sont significativement différents des aveugles précoces ( $p=.018$ ) et tendent à l'être des aveugles tardifs

( $p=.058$ ). Les deux groupes d'aveugles, quant à eux, ne diffèrent pas ( $p=.578$ ). L'effet de l'épreuve est lui aussi significatif ( $F(1,21)=11.88$ ,  $p<.003$ ) avec des erreurs moins nombreuses à l'épreuve 2. En revanche, l'interaction groupes x épreuves n'est pas du tout significative ( $F(2,21)=.0096$ ,  $p=.99$ ).

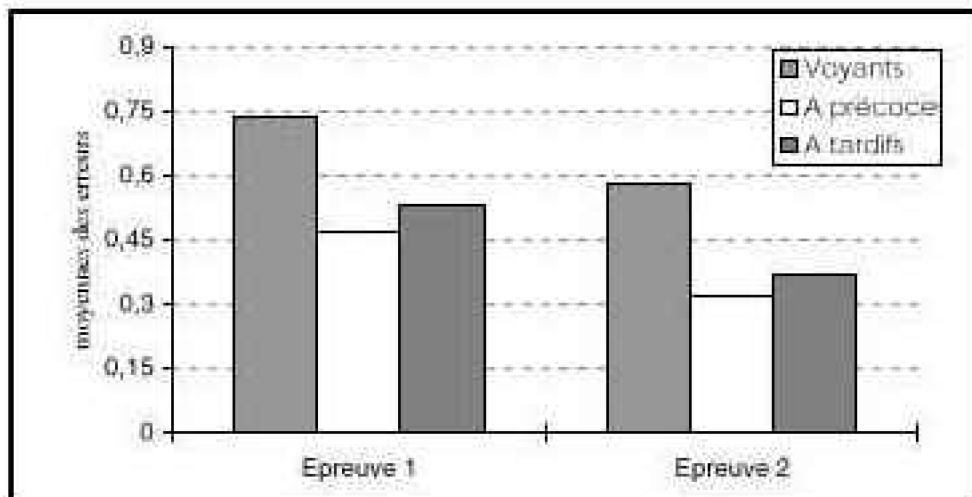


Figure 26 : Nombre moyen d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour des erreurs de 4mm d'amplitude.

#### 2-2-4 Nombre d'erreurs de 6mm et plus

Les effets simples du groupe ( $F(2,21)=6.79$ ,  $p=.005$ ) et de l'épreuve ( $F(1,21)=13.14$ ,  $p=.0016$ ) sont significatifs. D'une part, les voyants font beaucoup plus d'erreurs que les aveugles tardifs ( $p=.004$ ) et les aveugles précoces ( $p=.005$ ), les aveugles tardifs et précoces étant semblables sur ce critère ( $p=.95$ ). D'autre part, les sujets font globalement moins d'erreurs à l'épreuve 2. L'interaction groupes x épreuves est elle aussi significative ( $F(2,21)=3.49$ ,  $p=.049$ ). Les contrastes nous informent que les voyants ont diminué de façon significative le nombre des erreurs entre les épreuves ( $p=.0004$ ) mais pas les aveugles tardifs ( $p=.553$ ) ni les aveugles précoces ( $p=.152$ ). Il est également à noter que les performances des voyants, de très différentes à l'épreuve 1, deviennent comparables à celles obtenues par les aveugles précoces et tardifs à l'épreuve 1 ( $p>.499$ ) et dans une moindre mesure à l'épreuve 2 ( $p>.109$ ).

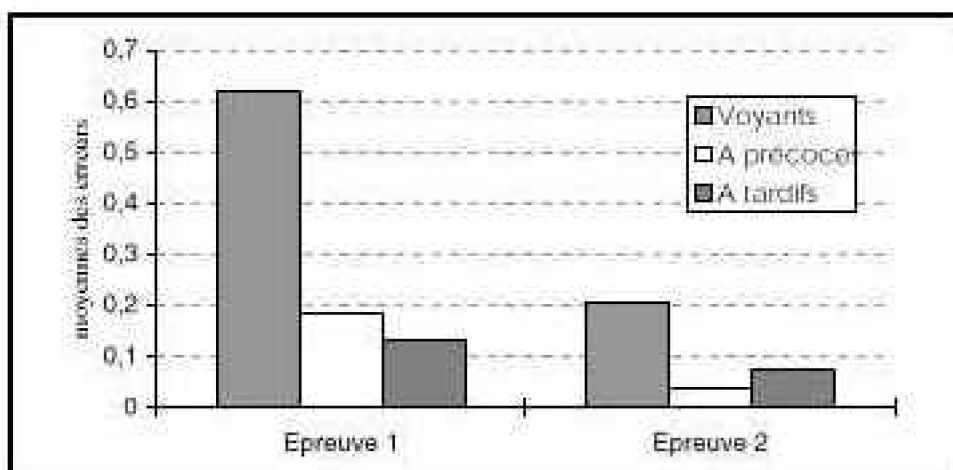


Figure 27 : Nombre moyen d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour des erreurs d'au moins 6mm d'amplitude.

### 2-2-5 Discussion générale

L'absence d'interaction observée pour les erreurs de 4mm, s'explique par une amélioration globale des performances sur les épreuves, sans modification du rapport entre les groupes. Autrement dit, les erreurs de 4mm ont diminué pour tous les groupes de la même façon. Ce qui n'est pas le cas pour les erreurs de 2mm. En effet, l'amélioration est peu perceptible avec seulement une tendance. De plus, les trois groupes ne se distinguent pas sur ce type d'erreurs. Ils font tous autant d'erreurs les uns que les autres, alors que pour les erreurs de 4mm, un effet du groupe est observé avec plus d'erreurs pour les voyants que pour les aveugles tardifs et précoces. Pour les erreurs de 6mm et plus, les voyants sont très différents des aveugles, ces derniers étant semblables. Il est à noter également qu'un effet de l'épreuve est observé globalement, alors que l'étude des contrastes nous informe que seuls les voyants ont amélioré significativement leurs performances. Ceci dévoile ainsi une diminution spectaculaire des erreurs de 6mm chez les voyants. La non-amélioration des performances des aveugles peut être expliquée par un faible nombre d'erreurs de ce type dès la première épreuve. Les aveugles ont donc atteint un niveau de réussite élevé sur ces items avec peut-être l'apparition d'un effet plafond. Les performances sont par conséquent difficilement améliorables d'où une apparente stabilité des résultats. Cette explication est renforcée par la diminution de la variabilité interindividuelle des aveugles sur ce type d'erreurs, alors qu'elle est en progression pour les autres types (tableau XIX). Ces résultats expliquent également pourquoi l'amélioration des performances s'est traduite avec plus de précision sur le nombre de bonnes réponses que sur les amplitudes d'erreurs pour les aveugles. En effet, si un effet plafond est atteint pour le nombre d'erreurs de 6mm et plus, l'amplitude des erreurs ne pourra pas baisser. En revanche, le nombre de bonnes réponses pourra augmenter sur les autres items. D'ailleurs, pour des erreurs de plus faible amplitude (4mm), plus difficiles à éviter, la diminution des erreurs est présente. Cette amélioration disparaît lorsque les erreurs sont de faible amplitude (2mm). Dans ce cas, la difficulté est plus grande et les entraînements ne permettent pas de réduire de façon significative les erreurs. Notre hypothèse d'une amélioration des performances passant par les

amplitudes d'erreurs les plus élevées est validée par ces résultats.

L'absence d'interaction observée pour les erreurs de 4mm, s'explique par une amélioration globale des performances sur les épreuves, sans modification du rapport entre les groupes. Autrement dit, les erreurs de 4mm ont diminué pour tous les groupes de la même façon. Ce qui n'est pas le cas pour les erreurs de 2mm. En effet, l'amélioration est peu perceptible avec seulement une tendance. De plus, les trois groupes ne se distinguent pas sur ce type d'erreurs. Ils font tous autant d'erreurs les uns que les autres, alors que pour les erreurs de 4mm, un effet du groupe est observé avec plus d'erreurs pour les voyants que pour les aveugles tardifs et précoces. Pour les erreurs de 6mm et plus, les voyants sont très différents des aveugles, ces derniers étant semblables. Il est à noter également qu'un effet de l'épreuve est observé globalement, alors que l'étude des contrastes nous informe que seuls les voyants ont amélioré significativement leurs performances. Ceci dévoile ainsi une diminution spectaculaire des erreurs de 6mm chez les voyants. La non-amélioration des performances des aveugles peut être expliquée par un faible nombre d'erreurs de ce type dès la première épreuve. Les aveugles ont donc atteint un niveau de réussite élevé sur ces items avec peut-être l'apparition d'un effet plafond. Les performances sont par conséquent difficilement améliorables d'où une apparente stabilité des résultats. Cette explication est renforcée par la diminution de la variabilité interindividuelle des aveugles sur ce type d'erreurs, alors qu'elle est en progression pour les autres types (tableau XIX). Ces résultats expliquent également pourquoi l'amélioration des performances s'est traduite avec plus de précision sur le nombre de bonnes réponses que sur les amplitudes d'erreurs pour les aveugles. En effet, si un effet plafond est atteint pour le nombre d'erreurs de 6mm et plus, l'amplitude des erreurs ne pourra pas baisser. En revanche, le nombre de bonnes réponses pourra augmenter sur les autres items. D'ailleurs, pour des erreurs de plus faible amplitude (4mm), plus difficiles à éviter, la diminution des erreurs est présente. Cette amélioration disparaît lorsque les erreurs sont de faibles amplitudes (2mm). Dans ce cas, la difficulté est plus grande et les entraînements ne permettent pas de réduire de façon significative les erreurs. Notre hypothèse d'une amélioration des performances passant par les amplitudes d'erreurs les plus élevées est validée par ces résultats.

### 3- Les séances d'entraînement

Nous avons analysé jusqu'à présent les performances des sujets au cours des épreuves. Cependant, nous pouvons nous demander comment les performances se sont améliorées au cours des séances. Est-ce que l'amélioration a été progressive ou bien a-t-elle été soumise à des paliers ? Nous avons relevé le nombre de bonnes réponses et les amplitudes d'erreurs. Comme précédemment, nous avons transformé les données en  $\log(x+1)$ .

Les séances d'entraînement sont constituées d'items semblables à ceux de l'épreuve, de plus la tâche est la même. Nous devrions donc observer des résultats semblables à ceux des épreuves. A savoir, les voyants devraient obtenir des

performances inférieures aux aveugles tardifs et précoces. Cependant, le retour proposé à chaque item, devrait aider considérablement les voyants. Les aveugles ayant obtenu de bons résultats dès la première épreuve devraient être moins sensibles au retour. De ce fait, nous nous attendons à ce que les différences soient présentes entre les voyants et les aveugles mais de façon moins prononcée que lors des épreuves. Le groupe auditif n'ayant pas suivi cet entraînement, nous analyserons directement les résultats des voyants avec ceux des aveugles.

### 3-1 Le nombre de bonnes réponses

Nous avons effectué une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x séances [1, 2, 3 vs 4]) avec mesures répétées sur le dernier facteur.

		Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4
Voyants	Moyennes	26,75	27	27,75	28,13
	Ecart-type	3,323	4,336	5,285	6,312
	Moyennes en log	1,435	1,442	1,453	1,455
	Ecart-type en log	0,09	0,068	0,077	0,094
A. Précoces	Moyennes	35,13	32,88	33,5	36,38
	Ecart-type	4,794	5,139	5,707	4,596
	Moyennes en log	1,555	1,526	1,533	1,57
	Ecart-type en log	0,054	0,062	0,069	0,054
A. Tardifs	Moyennes	30,5	32,13	30,38	31,13
	Ecart-type	5,099	5,111	5,125	6,896
	Moyennes en log	1,493	1,515	1,491	1,497
	Ecart-type en log	0,07	0,07	0,076	0,098

Tableau XX : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses en fonction du groupe et de la séance.

Les résultats montrent un effet du groupe ( $F(2,21)=4.77$ ,  $p=.0197$ ). Les voyants se distinguent des aveugles précoces ( $p=.0056$ ). Les aveugles tardifs ne diffèrent ni des aveugles précoces ( $p=.166$ ) ni des voyants ( $p=.114$ ). L'effet principal de la séance ( $F(3,63)=0.65$ ,  $p=.585$ ) n'est pas significatif et l'interaction groupes x séances non plus ( $F(6,63)=0.92$ ,  $p=.487$ ).

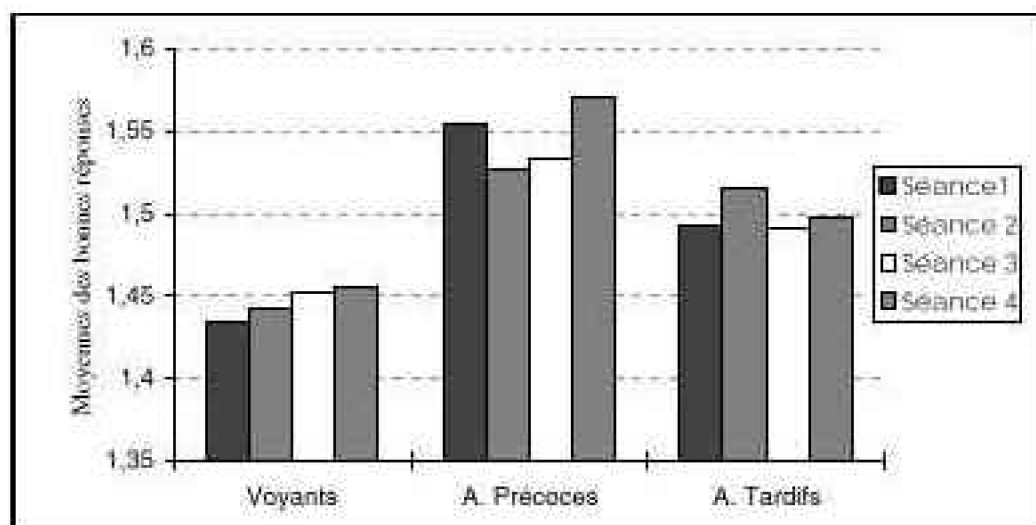


Figure 28 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de la séance.

### 3-2 Les amplitudes d'erreurs

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x séances [1, 2, 3 vs 4]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été effectuée.

		Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4
Voyants	Moyennes	54,75	53,63	49,25	48,75
	Ecart-type	21,59	17,57	21,25	26,38
	Moyennes en log	1,715	1,716	1,658	1,623
	Ecart-type en log	0,18	0,147	0,22	0,299
A. Précoces	Moyennes	24	28,75	28,5	21
	Ecart-type	13,18	13,09	19,29	12,71
	Moyennes en log	1,25	1,385	1,304	1,243
	Ecart-type en log	0,528	0,38	0,552	0,367
A. Tardifs	Moyennes	40,5	34	37	34,25
	Ecart-type	18,42	17,37	19,3	21,02
	Moyennes en log	1,571	1,497	1,537	1,47
	Ecart-type en log	0,231	0,221	0,201	0,294

Tableau XXI : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs en fonction du groupe et de la séance.

L'effet du groupe est presque significatif ( $F(2,21)=3.25$ ,  $p=.059$ ). Les voyants ont des amplitudes d'erreurs supérieures aux aveugles précoces ( $p=.019$ ). En revanche, les aveugles tardifs ne se distinguent ni des aveugles précoces ( $p=.154$ ) ni des voyants ( $p=.303$ ). L'effet principal de la séance ( $F(3,63)=1.55$ ,  $p=.209$ ) et l'interaction groupes x séances ( $F(6,63)=0.78$ ,  $p=.585$ ) ne sont pas significatifs.

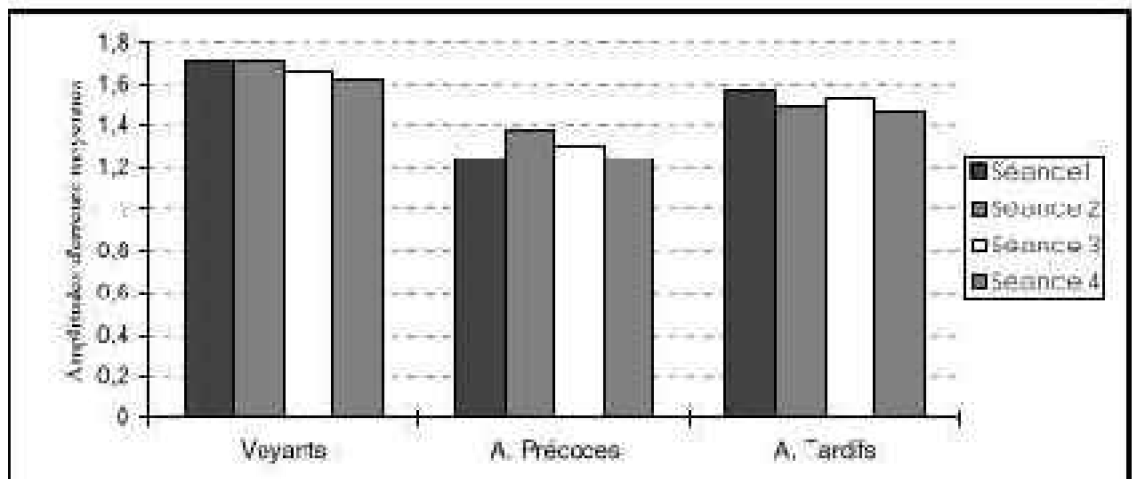


Figure 29 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  selon le groupe et la séance.

### 3-3 Discussion

Les effets de la séance ne sont pas significatifs et les interactions non plus. Ceci laisse supposer que l'amélioration a été progressive. Le nombre de bonnes réponses n'a pas évolué non plus de façon spectaculaire. D'autre part, nous retrouvons la différence de performances entre les voyants et les aveugles précoces. En revanche, les aveugles tardifs se retrouvent dans une position intermédiaire entre les voyants et les aveugles précoces. Or, lors des épreuves, les aveugles tardifs obtenaient des résultats comparables à ceux des aveugles précoces. Certes, les différences entre les aveugles tardifs et les aveugles précoces ne sont pas significatives pour les séances. Cependant, une tendance est tout de même visible alors qu'elle est inexistante pour les épreuves. Le retour en terme de juste et faux après chaque item ne semble pas avoir été bénéfique pour les aveugles tardifs. Une interprétation de ces résultats serait d'ordre psychologique. Les voyants sont inexpérimentés en matière de tâche haptique, le retour leur a permis d'améliorer leur traitement des informations haptiques. Les aveugles précoces, eux sont plus experts en perception haptique, mais ils sont souvent gênés par les représentations en relief. Les séances d'entraînement leur ont peut-être permis de se rassurer sur leurs performances. En revanche, les aveugles tardifs ont à la fois une expérience du dessin et une expérience haptique. De ce fait, ils espéraient peut-être réussir la tâche avec une relative facilité. Or, le retour leur a nécessairement renvoyé des réponses négatives. Et ces réponses les ont peut-être perturbés d'où des performances proportionnellement moins bonnes que lors des épreuves au regard des autres groupes.

### 3-4 Le passage aux hexagones

Jusqu'à présent, nous avons analysé les performances et leur évolution au travers et à l'issue des séances d'entraînement. Une question que nous pouvons nous poser est de savoir si les entraînements sont bénéfiques sur d'autres figures ou bien l'amélioration des performances est-elle limitée aux figures présentées lors des entraînements ? Pour

répondre à cette interrogation nous allons analyser les résultats des sujets aux hexagones. Dans cette tâche, les sujets se sont trouvés dans une situation de résolution de problème où ils ont dû procéder à une activité de compréhension de la tâche par analogie. En effet, la tâche est relativement semblable à celle proposée aux épreuves et aux entraînements, mais les figures sont différentes et une adaptation est de rigueur. Un raisonnement en situation est donc nécessaire pour modifier le processus de résolution de la première tâche à la nouvelle situation. Cette nouvelle situation requiert de la part des sujets de transformer ses hypothèses sur l'exploration des figures et de retrouver le critère de différenciation des figures malgré le changement de forme. Cette situation place le sujet dans une situation d'apprentissage par la découverte où le sujet passe d'une tâche à une autre très proche de la première mais nécessitant cependant de procéder à quelques changements. Nous postulons que la phase d'entraînement va aider les sujets à s'adapter à la nouvelle situation. En effet, si les entraînements ont permis aux sujets de décortiquer la situation en profondeur et donc de comprendre les mécanismes qui sous-tendent sa résolution, le passage à une situation proche devrait être facilité. Nous devrions donc obtenir de meilleures performances pour le groupe haptique que pour le groupe auditif. De plus, les aveugles devraient conserver leur avance sur les voyants. Leur expérience haptique devrait leur permettre de s'adapter plus aisément à la nouvelle situation.

Nous avons effectué une analyse de la variance à un facteur (groupes [voyants haptique, aveugles précoces, aveugles tardifs vs voyants auditifs]).

	Moyenne	Ecart type	Moyenne en log	Ecart type en log
V. Haptique	4,25	1,908	0,742	0,127
V. Auditif	3,625	1,188	0,651	0,121
A. Tardifs	5	2,204	0,751	0,167
A. Précoces	5	1,927	0,76	0,131

Tableau XXII : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses selon le groupe.

Les analyses ne montrent pas d'effet significatif ( $F(3,28)=1.88$ ,  $p=.393$ ). Cependant, la forme du graphique laisse entrevoir des performances inférieures pour le groupe de voyants ayant suivi un entraînement auditif. Nous avons donc regardé les contrastes. Les performances des voyants haptiques sont comparables à celles des aveugles précoces ( $p=.793$ ) et des aveugles tardifs ( $p=.896$ ) et celles des aveugles précoces semblables à celles des aveugles tardifs ( $p=.894$ ). Les performances des voyants auditifs tendent légèrement à différer de ceux des aveugles précoces ( $p=.124$ ) et des aveugles tardifs ( $p=.157$ ), la tendance est encore moins nette avec le groupe de voyants haptiques ( $p=.197$ ).



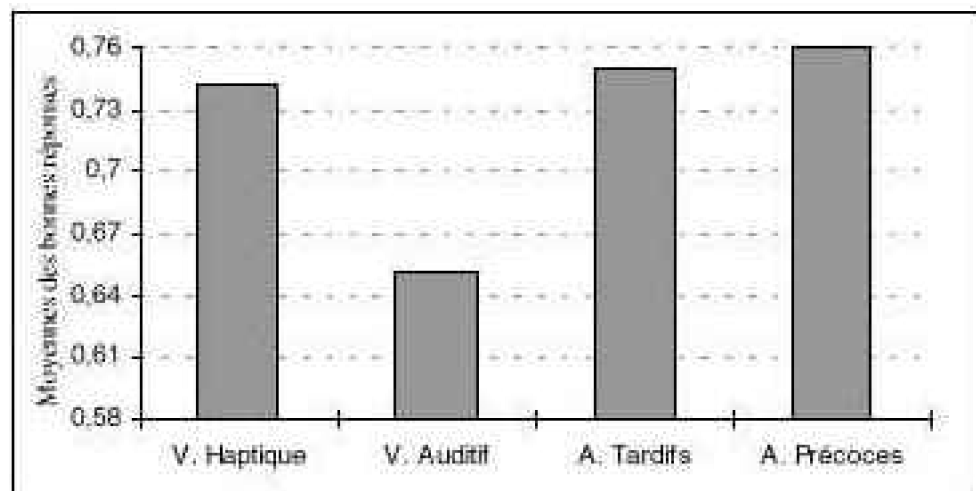


Figure 30 : Moyennes des bonnes réponses en log(x+1) selon le groupe.

### 3-5-Les amplitudes d'erreurs

Nous avons réalisé une analyse de la variance à un facteur (groupes [voyants haptique, aveugles précoces, aveugles tardifs vs voyants auditifs]).

	Moyenne	Ecart-type	Moyenne en log	Ecart-type en log
V. Haptique	13,5	5,831	1,107	0,272
V. Auditif	14,75	2,121	1,193	0,059
A. Tardifs	12,5	5,831	1,079	0,247
A. Précoces	12	4,276	1,072	0,244

Tableau XXIII : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs selon le groupe.

Comme pour l'analyse précédente, l'effet du groupe n'est pas significatif ( $F(3,28)=.501$ ,  $p=.685$ ). Cependant, la figure 31 laisse apparaître des tendances même si elles ne sont pas significatives. De plus, il peut être noté que la variabilité est nettement inférieure pour le groupe auditif par rapport aux autres groupes.

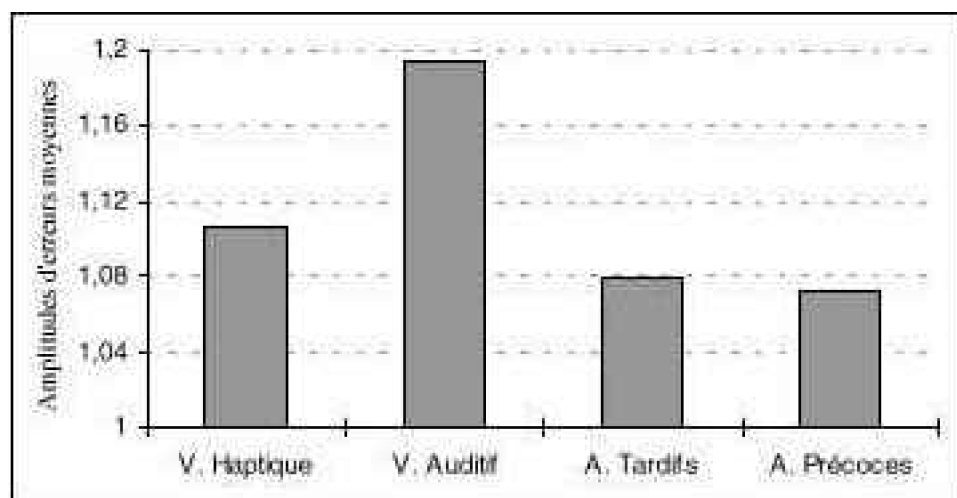


Figure 31 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en log(x+1) en fonction du groupe.

### 3-6 Discussion

---

Les résultats ne mettent pas en évidence des performances supérieures pour les personnes ayant suivies un entraînement haptique par rapport au groupe sans entraînement. Cependant, les graphiques laissent penser qu'une légère amélioration s'est produite. Certes, elle n'est pas suffisante pour être constatée de manière sûre mais elle est amorcée. Les performances tendent d'ailleurs à être supérieures pour les groupes avec entraînement haptique au niveau du nombre de bonnes réponses. Les figures proposées étaient des hexagones, or, plus le nombre d'angles augmente, plus la difficulté est élevée (Hatwell, 1986). De ce fait, la tâche proposée est beaucoup plus difficile. Pour qu'une amélioration se perçoive, il aurait fallu pouvoir entraîner les sujets beaucoup plus longtemps. Il aurait également fallu leur proposer plus d'items que les dix que nous leur avons présenté. Cependant, la durée des séances (autour d'une heure) ne nous permettait pas de démultiplier les items. De plus, nous n'avons pas testé les sujets avant les entraînements sur ces figures. Pour les voyants, le groupe auditif nous a servi de groupe contrôle. De plus, nous avons testé ces items auprès de voyants lors d'une phase pré-expérimentale (Richard, 2000) et les performances obtenues ne différaient pas de celles du groupe auditif. Mais il aurait été intéressant de savoir si les aveugles ont amélioré leurs performances. Toutefois, nous n'avons pas choisi cette option, pour garder une certaine nouveauté à la tâche lors de son évaluation. En effet, si nous avons proposé ces figures dès la première épreuve, les sujets se seraient attendus à les retrouver lors de la dernière séance. Ils auraient donc eu quatre séances d'entraînement pour réfléchir à la façon dont ils pourraient adapter leur procédé et leur démarche à ces figures. L'ensemble de ces résultats laisse toutefois supposer qu'il est possible d'améliorer les performances des sujets même avec un entraînement ciblé et que celui-ci permet aux sujets de s'adapter plus rapidement à la tâche. D'autres études seront nécessaires pour vérifier et approfondir cette hypothèse.

En résumé :

- Les entraînements ne montrent pas d'amélioration significative des performances, d'une séance à l'autre.
- Nous n'avons pas pu mettre en évidence de transferts avérés des connaissances, au cours du changement de figures.
- Le groupe contrôle n'a pas amélioré ses performances.
- Les voyants haptiques ont amélioré significativement leurs performances. Toutefois, les différences interindividuelles sont encore élevées. L'adaptation des sujets à la tâche reste donc variable, malgré le bénéfice non négligeable de l'entraînement.
- Les aveugles tardifs et précoces obtiennent des performances supérieures aux voyants. Cependant, leurs performances ne s'améliorent pas à l'issue de l'entraînement. Toutefois, la variabilité interindividuelle se réduit, laissant entrevoir une forme d'amélioration des performances.
- Les temps d'exploration des aveugles tardifs sont comparables à ceux des voyants.

---

En revanche, les aveugles précoces sont beaucoup plus rapides que les voyants et également, plus que les aveugles tardifs. Ces résultats apportent des éléments en faveur d'une tentative de médiation visuelle.



## Chapitre 7 : du statut visuel au statut haptique.

Dans la partie précédente, nous avons distingué les groupes en fonction de leur statut visuel : voyants, aveugles tardifs et aveugles précoces. Nous verrons dans cette partie qu'une autre différence distingue ces groupes, celle du statut haptique, autrement dit de l'expérience haptique. Nous débattons sur ce point en abordant la question de la difficulté des items.

### La difficulté des items

Selon les items, la difficulté était variable. En effet, nous avons vu que l'écart entre les figures allait de 2 à 8mm. Selon les combinaisons, l'écart minimal entre la cible et un distracteur pouvait être de 2, 4 ou 6mm. Nous allons donc tester l'incidence de cette difficulté sur les performances des sujets. Mais ce critère n'est pas le seul. L'écart entre les distracteurs peut également avoir une incidence. En effet, si les distracteurs sont proches, c'est-à-dire si leur écart est faible, la difficulté est peut-être plus importante que si les distracteurs sont très différents. De plus, la position de la cible pourra aussi être un révélateur de la difficulté des items. Une cible en première position, donc à côté du modèle, sera peut-être plus aisée à repérer, qu'une cible en dernière position. Enfin, nous

étudierons le rôle de la figure sur les performances. Nous observerons si la forme des figures permet une amélioration différente selon les groupes et si ces figures ont une influence sur les performances.

## 1- L'écart minimal entre la cible et un distracteur

Le nombre d'items pour lesquels l'écart minimal entre la cible et le distracteur le plus proche était de 2mm était de vingt-huit, pour 4mm neuf et pour 6mm trois. Le dernier cas étant peu représenté, nous l'avons intégré au précédent, autrement dit nous avons regroupé les écarts de 4 et 6mm dans une catégorie 4mm et plus. L'inégalité de la répartition des écarts est due à un souci de représentativité de toutes les combinaisons dans les épreuves. Toutefois, cela ne nous permet pas de comparer les écarts les uns par rapport aux autres. Nous avons donc réalisé deux analyses, l'une pour les écarts de 2mm et l'autre pour les écarts de 4mm et plus. Nous avons relevé le nombre de bonnes réponses et les amplitudes d'erreurs des sujets pour ces items ainsi que les temps d'exploration. Précisons également qu'au cours de cette partie, nous parlerons « d'écart entre la cible et le distracteur le plus proche » pour exprimer la ressemblance en terme de longueur et non pour signifier la position physique du distracteur par rapport à la cible.

### 1-1 Les voyants

---

#### 1-1-1 Résultats attendus

Plus l'écart entre le distracteur et la cible est faible, plus le nombre de bonnes réponses sera faible. En effet, si deux figures sont proches, les sujets devront percevoir de petites différences de longueurs, d'où des risques de confusion. Cependant, l'entraînement doit permettre aux sujets de trouver le critère de différenciation des figures. Cet entraînement doit donc leur permettre de sélectionner les informations pertinentes parmi toutes les informations issues de leur exploration. Nous postulons par conséquent que le nombre de bonnes réponses va être supérieur pour le groupe haptique par rapport au groupe auditif à l'épreuve 2. Cette amélioration des performances sera notamment visible pour les écarts les plus importants et donc les plus aisés à repérer. Pour les mêmes raisons, nous attendons à ce que les amplitudes d'erreurs diminuent entre les épreuves pour le groupe haptique mais pas pour le groupe auditif. Au niveau du temps d'exploration, nous n'avons pas observé de baisse significative des temps d'exploration pour le groupe haptique. Nous avons postulé que le temps d'exploration traduit le recours à un mode de traitement de l'information spécifique, correspondant à une recherche par médiation visuelle des informations haptiques. Par conséquent, la difficulté des items ne devrait jouer qu'un rôle mineur dans la durée d'exploration. Nous pensons donc que cette stabilité des temps d'exploration s'observera sur l'ensemble des items, quel que soit l'écart en millimètre entre le distracteur et la cible. Pour le groupe auditif, nous avons constaté une diminution significative des temps d'exploration entre les épreuves. Nous

avons interprété cette diminution comme la résultante de l'entraînement auditif, pour lesquels les sujets étaient très rapides. Pour maintenir cette hypothèse du temps d'exploration perçu plus comme le reflet de la mise en place d'un processus que comme un révélateur de la difficulté des items, nous devons observer une diminution des temps d'exploration du groupe auditif pour l'ensemble des écarts étudiés entre la cible et le distracteur le plus proche.

#### 1-1-1-1 LE NOMBRE DE BONNES RÉPONSES

		Ecart 2mm		Ecart 4mm et +	
		Epreuve 1	Epreuve 2	Epreuve 1	Epreuve 2
groupe haptique	moyenne	13,25	18,75	7,25	9,625
	moyenne log	1,15	1,273	0,891	1,02
	écart-type	2,121	6,364	2,816	1,786
	écart-type log	0,065	0,157	0,168	0,08
groupe auditif	moyenne	13,38	12,75	7	7,125
	moyenne log	1,149	1,114	0,879	0,889
	écart-type	3,068	4,833	2,33	2,416
	écart-type log	0,091	0,158	0,172	0,154

Tableau XXIV : Moyennes et écarts-types du nombre de bonnes réponses selon le groupe, l'épreuve et l'écart minimal entre la cible et le distracteur le plus proche.

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupe [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été réalisée pour chaque cas.

##### 1-1-1-1-1 Pour les écarts de 2mm au minimum :

Les effets du groupe ( $F(1,14)=2.68$ ,  $p=.124$ ) et de l'épreuve ( $F(1,14)=1.28$ ,  $p=.278$ ) ne sont pas significatifs. En revanche, une tendance peut être observée pour l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=4.17$ ,  $p=.061$ ). Les contrastes révèlent une amélioration des performances pour le groupe haptique ( $p=.042$ ) mais pas pour le groupe auditif ( $p=.53$ ), sachant que les groupes sont comparables à l'épreuve 1 ( $p=.995$ ).

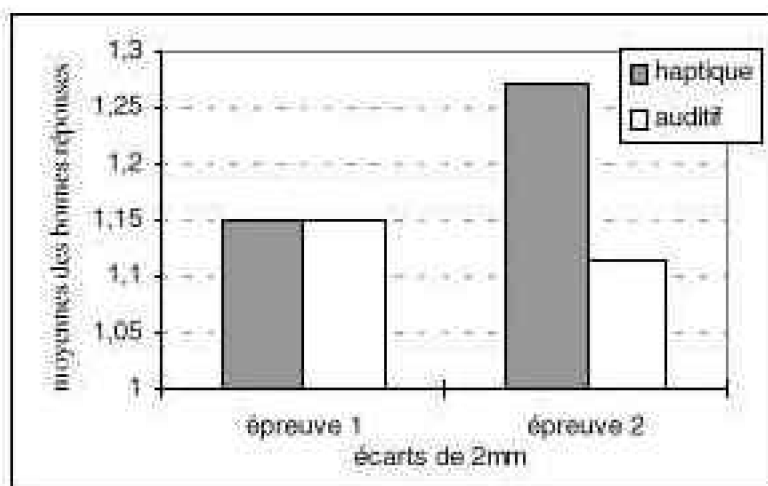


Figure 32 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur de 2mm.

#### 1-1-1-2 Pour les écarts de 4mm au minimum :

L'effet du groupe n'est pas significatif ( $F(1,14)=1.20$ ,  $p=.292$ ). En revanche, une tendance se dessine pour l'effet de l'épreuve ( $F(1,14)=4.02$ ,  $p=.065$ ) et dans une moindre mesure pour l'interaction ( $F(1,14)=2.996$ ,  $p=.105$ ). Le nombre de bonnes réponses est plus important à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. Les contrastes de l'interaction nous indiquent comme précédemment, une amélioration des performances seulement pour le groupe haptique ( $p=.019$ ), et une absence de différence entre les groupes à l'épreuve 1 ( $p=.818$ ).

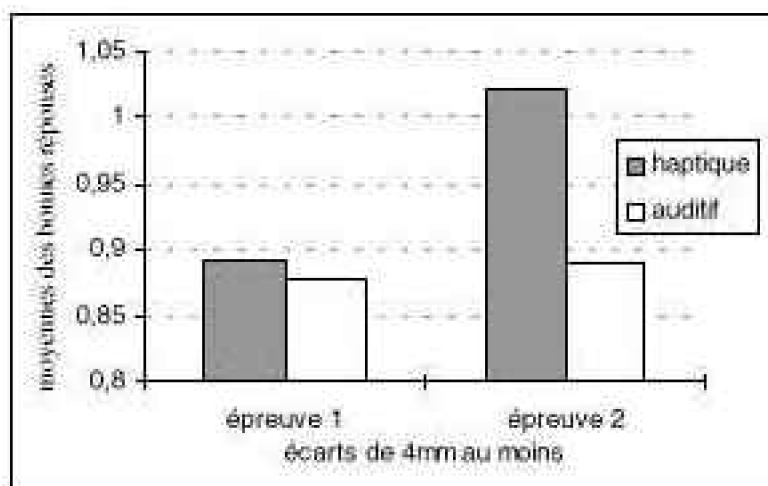


Figure 33 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur d'au moins 4mm.

#### 1-1-1-2 LES AMPLITUDES D'ERREURS



		Ecart 2mm		Ecart 4mm et +	
		Epreuve 1	Epreuve 2	Epreuve 1	Epreuve 2
groupe haptique	moyenne	40,75	27	24,25	10,5
	moyenne log	1,613	1,345	1,311	0,913
	écart-type	7,851	18,24	16,65	9,055
	écart-type log	0,065	0,157	0,309	0,44
groupe auditif	moyenne	40	40,5	24,25	23
	moyenne log	1,595	1,577	1,347	1,292
	écart-type	12,56	18,69	14,64	16,07
	écart-type log	0,133	0,206	0,23	0,311

Tableau XXV : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs selon le groupe, l'épreuve et l'écart minimal entre la cible et le distracteur le plus proche.

Une analyse de la variance a deux facteurs (groupe [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été effectuée pour chaque cas.

#### 1-1-1-2-1 Pour les écarts de 2mm au minimum :

L'effet du groupe ( $F(1,14)=1.63$ ,  $p=.222$ ) n'est pas significatif. En revanche, une tendance s'esquisse pour l'effet principal de l'épreuve ( $F(1,14)=4.34$ ,  $p=.056$ ) avec une diminution des amplitudes d'erreurs à l'épreuve 2. De même, l'interaction tend vers la significativité ( $F(1,14)=3.33$ ,  $p=.090$ ). L'étude des contrastes révèle une diminution des amplitudes d'erreurs pour le groupe haptique entre les épreuves ( $p=.015$ ) mais pas pour le groupe auditif ( $p=.858$ ). Les deux groupes sont semblables à l'épreuve 1 ( $p=.715$ ) et différent à l'épreuve 2 ( $p=.032$ ).

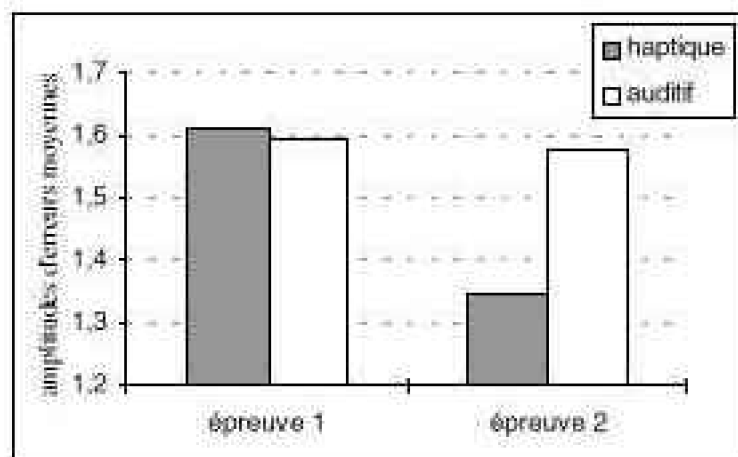


Figure 34 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur de 2mm.

#### 1-1-1-2-2 Pour des écarts de 4mm et plus entre la cible et le distracteurs :

Les effets du groupe ( $F(1,14)=2.83$ ,  $p=.115$ ) et de l'interaction groupes x épreuves

( $F(1,14)=2.44$ ,  $p=.141$ ) ne sont pas significatifs. Seule une tendance s'esquisse pour l'épreuve ( $F(1,14)=4.24$ ,  $p=.059$ ) avec une diminution des amplitudes d'erreurs à l'épreuve 2. Pour comprendre l'évolution des amplitudes d'erreurs entre les épreuves, nous avons tout de même analysé les contrastes de l'interaction. Le groupe haptique a amélioré ses performances entre les épreuves de façon significative ( $p=.023$ ) contrairement au groupe auditif ( $p=.73$ ) alors que les deux groupes sont comparables à l'épreuve 1 ( $p=.904$ ).

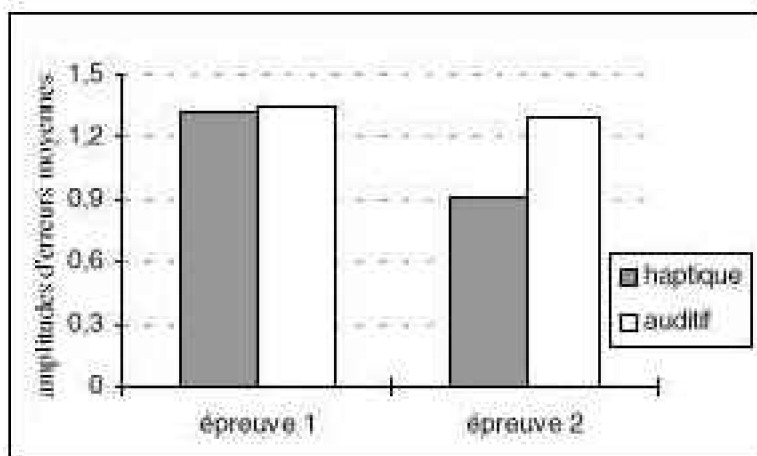


Figure 35 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur de 4mm.

### 1-1-1-3 LES TEMPS D'EXPLORATION

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x type d'écart [2mm vs 4mm et plus]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été appliquée.

Groupe		Épreuve 1		Épreuve 2	
		Ecart 2mm	Ecart 4mm et plus	Ecart 2mm	Ecart 4mm et plus
Groupe Haptique	Moyenne	28,52	30,64	23,54	31,98
	Écart-type	7,73	7,47	8,9	6,63
Groupe Auditif	Moyenne	25,64	28,47	20,58	21,87
	Écart-type	12,14	10,11	9,5	9,871

Tableau XXVI : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en seconde selon le groupe, l'épreuve et l'écart entre la cible et le distracteur le plus proche.

Les effets principaux du type d'écart ( $F(1,14)=15.90$ ,  $p=.0014$ ) et de l'épreuve ( $F(1,14)=6.84$ ,  $p=.020$ ) sont significatifs. Les temps d'exploration sont plus longs pour des écarts de 4mm et plus et diminuent entre les épreuves. L'interaction groupes x épreuves x écarts est également significative ( $F(1,14)=5.81$ ,  $p=.03$ ). Les contrastes indiquent que les temps d'exploration ont baissé significativement pour les écarts de 2mm aussi bien pour le groupe auditif ( $p=.006$ ) que pour le groupe haptique ( $p=.01$ ). En revanche, les durées ont baissé pour les écarts de 4mm seulement pour le groupe auditif ( $p=.0009$ ). De ce fait, les temps d'exploration qui étaient semblables à l'épreuve 1 quels que soient les écarts ( $p=.199$ ), différent à l'épreuve 2 ( $p=.00014$ ) pour le groupe haptique. Pour le groupe

auditif, les temps ne sont différents ni pour l'épreuve 2 ( $p=.426$ ) ni pour l'épreuve 1 ( $p=.093$ ) même si une tendance s'esquisse dans le sens d'une exploration plus longue pour les items avec 4mm d'écart entre la cible et le distracteur.

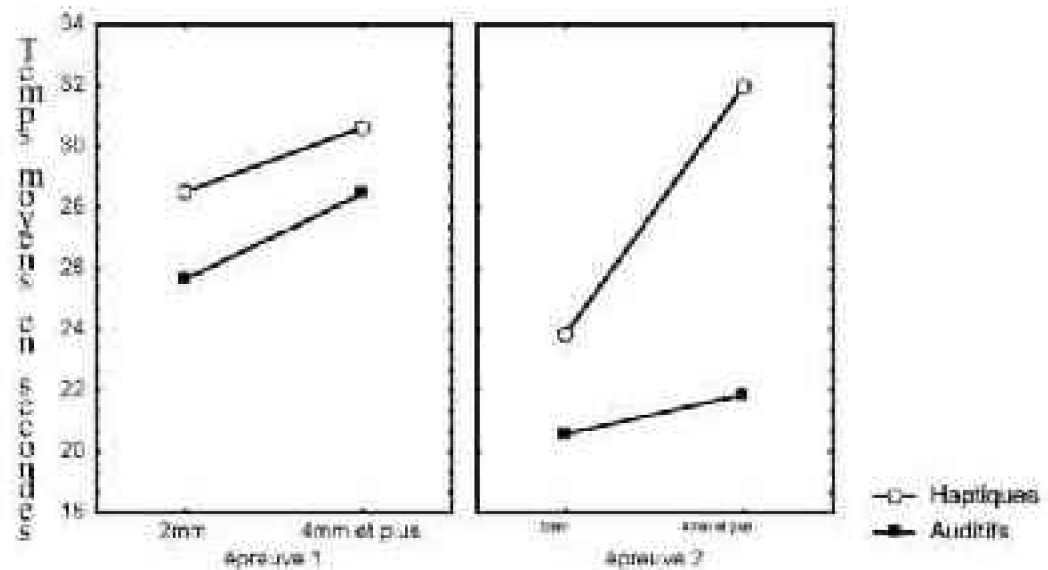


Figure 36 : Temps d'exploration moyens en secondes selon le groupe, l'épreuve et l'écart entre la cible et le distracteur le plus proche.

### 1-1-2 Discussion générale

Les résultats montrent une amélioration des performances mais pas toujours de façon très nette. Cependant, si nous nous référons aux contrastes, nous nous apercevons que cette amélioration est exclusivement due au groupe haptique. En effet, seul ce groupe augmente son nombre de bonnes réponses et diminue ses amplitudes d'erreurs entre les épreuves. Le groupe auditif masque les effets de l'entraînement lors des analyses groupées. De ce fait, l'étude des interactions est fondamentale pour comprendre l'évolution des performances entre les épreuves.

L'amélioration existe pour le groupe haptique aussi bien pour les écarts de 2mm que pour les écarts de 4mm. Elle est un peu plus significative au niveau du nombre de bonnes réponses pour les écarts de 4mm ( $p=.019$ ) que pour les écarts de 2mm ( $p=.042$ ). La tendance s'inverse légèrement pour les amplitudes d'erreurs (2mm ( $p=.015$ ) et 4mm ( $p=.023$ )). Une explication à ce constat réside dans le risque maximal d'erreurs. Pour les items avec 2mm d'écart entre la cible et le distracteur, le risque d'erreur moyen est 5.29mm par item contre 7.17mm pour des écarts d'au moins 4mm entre la cible et le distracteur le plus ressemblant. C'est-à-dire qu'en cas d'erreur, l'amplitude sera en moyenne plus élevée pour des écarts de 4mm que pour des écarts de 2mm. Par conséquent, lorsque les sujets font des erreurs pour des items d'au moins 4mm d'écart entre la cible et le distracteur, leurs erreurs sont plus importantes. C'est également ce point qui justifie l'amélioration plus importante du nombre de bonnes réponses pour ces items. En effet, il est plus facile d'éviter les erreurs de grandes amplitudes que des erreurs de faibles amplitudes.

L'analyse des temps d'exploration révèle des différences entre les écarts pour le groupe haptique à l'épreuve 2. Les temps d'exploration sont plus longs pour les écarts de 4mm et plus. Ce résultat est contraire à nos attentes. En effet, nous n'attendions pas d'évolution des durées d'exploration quels que soient les écarts. Or, non seulement des différences apparaissent, mais en plus elles indiquent des temps d'exploration plus longs pour les items avec le plus de différences. Nous avons vu précédemment que ces items étaient aussi les plus faciles, en raison d'une plus grande différence entre les figures que pour des écarts de 2mm. Cet effet est peut-être la conséquence d'une limite perceptive. Si les écarts sont trop faibles les sujets ne trouveront pas les différences et ils répondront de manière plus intuitive. Pour des écarts plus importants, ils percevront des différences mais de façon floues. De ce fait, ils devront affiner leur exploration et donc prendre plus de temps.

## 1-2 Le statut visuel

---

### 1-2-1 Résultats attendus

Comme pour la section précédente, nous allons plus parler du statut haptique que du statut visuel des sujets. En effet, ce qui caractérise les aveugles par rapport aux voyants est l'absence de perception visuelle. Or, nous avons vu jusqu'à présent que les aveugles ne se distinguent pas au niveau des performances. Pourtant, l'un des deux groupes a une expérience visuelle et l'autre non. De plus, les voyants obtiennent des performances très médiocres par rapport aux aveugles. Ainsi, le rôle de l'expérience visuelle sur les performances n'est pas une explication pertinente. L'autre différence que nous avons avancée entre ces groupes réside dans l'expérience haptique des sujets. Sur ce critère, les aveugles tardifs et précoces sont proches et les voyants très différents. En effet, si les voyants utilisent quotidiennement la modalité tactile, rares sont ceux qui ont réellement une expérience haptique. Ici, la distinction entre tactile et haptique prend tout son sens. Par exemple, il est très différent de prendre un pull et de le trouver doux et de rechercher la qualité de la laine pour distinguer deux pulls. Ainsi, les aveugles devraient être plus performants que les voyants aussi bien sur les écarts de 2mm entre la cible et le distracteur que pour les écarts de 4mm au minimum. De plus, l'entraînement devrait permettre à ces sujets d'affiner leurs procédés d'exploration et donc d'améliorer leurs performances. L'étude des procédés d'exploration fera l'objet d'une analyse ultérieure.

Les temps d'exploration devraient par conséquent être plus courts pour les aveugles que pour les voyants. Cependant, les aveugles tardifs partagent une expérience visuelle avec les voyants. De ce fait, et si notre hypothèse d'une tentative de traduction des informations haptiques en informations visuelles est valable, nous devrions obtenir des temps d'exploration semblables pour les voyants et les aveugles tardifs. En revanche, nous avons vu avec l'analyse des voyants que les temps d'exploration étaient plus longs pour les items avec un écart de 4mm au minimum entre la cible et le distracteur. Nous avons expliqué ce point par des difficultés de perception des écarts les plus faibles et donc par une réponse plus intuitive. Si les aveugles obtiennent de meilleures performances que les voyants sur les écarts de 2mm, alors nous ne devrions pas

observer des temps d'exploration différents entre les écarts de 2mm et 4mm ou du moins avec moins d'amplitude.

### 1-2-1-1 LE NOMBRE DE BONNES RÉPONSES

		Ecart 2mm		Ecart 4mm et +	
		Epreuve 1	Epreuve 2	Epreuve 1	Epreuve 2
voyants aveuglés	moyenne	13,25	18,75	7,25	9,625
	<i>moyenne log</i>	1,15	1,273	0,891	1,02
	écart-type	2,121	6,364	2,816	1,786
	écart-type log	0,065	0,157	0,168	0,08
aveugles précoces	moyenne	17,5	20,75	10,25	11,13
	<i>moyenne log</i>	1,257	1,328	1,047	1,082
	écart-type	4,44	4,464	1,581	0,991
	écart-type log	0,096	0,097	0,066	0,037
aveugles tardifs	moyenne	16,63	18,75	10,38	11,63
	<i>moyenne log</i>	1,243	1,294	1,053	1,101
	écart-type	2,504	1,753	1,302	0,518
	écart-type log	0,058	0,039	0,052	0,018

Tableau XXVII : Moyennes et écarts-types du nombre de bonnes réponses selon le groupe, l'épreuve et l'écart minimal entre la cible et le distracteur le plus proche.

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été réalisée pour les écarts de 2mm et pour les écarts d'au moins 4mm entre la cible et le distracteur le plus proche.

#### 1-2-1-1-1 Pour les écarts de 2mm au minimum :

Les analyses montrent que l'effet du groupe n'est pas significatif ( $F(2,21)=1.79$ ,  $p=.191$ ). L'interaction ne l'est pas plus ( $F(2,21)=1.25$ ,  $p=.307$ ). Par contre, un effet de l'épreuve peut être relevé ( $F(1,21)=8.29$ ,  $p=.009$ ) avec une augmentation du nombre de bonnes réponses à l'épreuve 2 par rapport à l'épreuve 1.

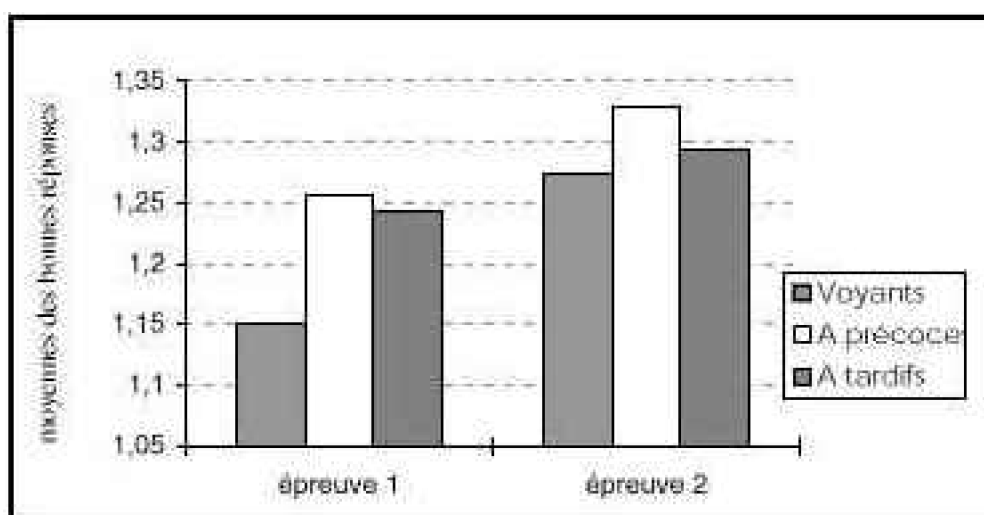


Figure 37 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur de 2mm.

#### 1-2-1-1-2 Pour les écarts de 4mm au minimum :

Un effet du groupe ( $F(2,21)=6.74$ ,  $p=.0055$ ) et de l'épreuve ( $F(1,21)=15.92$ ,  $p=.0007$ ) est relevé. L'interaction tend elle-même à la significativité ( $F(2,21)=2.76$ ,  $p=.086$ ). Les contrastes indiquent une amélioration des performances uniquement pour le groupe des voyants ( $p=.0004$ ). Le nombre de bonnes réponses des aveugles tardifs ( $p=.137$ ) et des aveugles précoces ( $p=.263$ ) n'évolue pas significativement entre les épreuves.

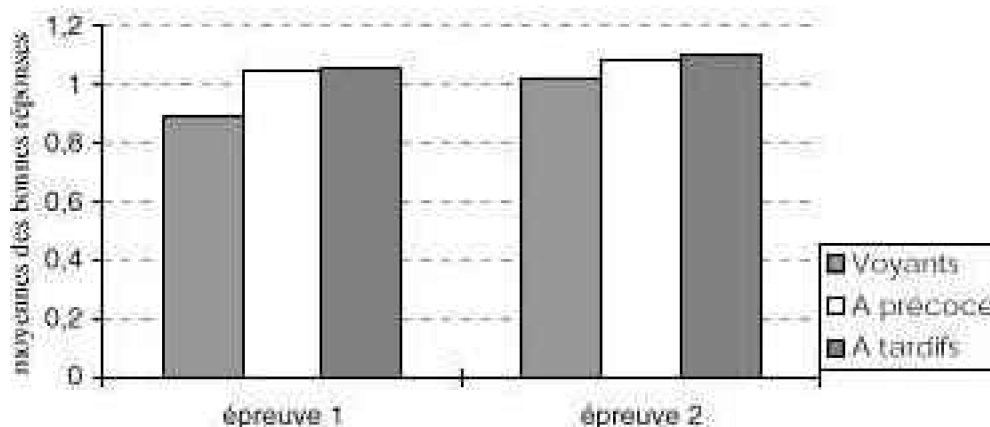


Figure 38 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur d'au moins 4mm.

#### 1-2-1-1-3 Discussion générale :

Les résultats des items avec un écart minimal de 2mm entre la cible et le distracteur nous informent que le nombre de bonnes réponses obtenu par les voyants est comparable à celui des aveugles précoces et tardifs, alors qu'une différence est relevée pour un écart d'au moins 4mm. Les aveugles sont plus performants que les voyants lorsque les écarts

---

sont importants mais pas quand ils sont faibles. Or, notre hypothèse postulait que les aveugles allaient obtenir un nombre de bonnes réponses supérieur aux voyants, aussi bien pour des écarts de 2mm que pour des écarts de 4mm au minimum. Ce résultat est à rapprocher de l'analyse précédente sur le nombre d'erreurs de 2mm. En effet, nous avons observé que les aveugles font autant d'erreurs de ce type que les voyants. Russier (2000) a montré que des déformations sur des ellipses sont perçues à condition qu'elles soient d'au moins 2mm. Cette valeur de 2mm semble donc une limite à la discrimination. Ces constats peuvent être expliqués par des limites physiologiques (Weber, 1835). Moberg (1958) a recherché le seuil de discrimination statique de deux points sur différentes surfaces de la main. Ces données ont révélé que sur la pulpe de l'index, les sujets discriminaient en moyenne des écarts de 3mm. Des études plus récentes ont permis de définir avec plus de précision le seuil de discrimination et les raisons physiologiques de ce seuil. Johansson et Lamb (1981) ont déterminé la perception minimale de deux points à un millimètre et demi voire deux millimètres. Cette limite perceptive résulte d'une distance entre des récepteurs de type I variant entre 2 et 2,8 mm. Par conséquent, ce type d'écart est plus difficilement décelable et les erreurs sont plus nombreuses. D'ailleurs une analyse descriptive des résultats (tableau XXVII), nous informe que la variabilité interindividuelle est plus élevée pour les items avec 2mm d'écart entre la cible et le distracteur que pour les écarts de 4mm. Nous pouvons également noter une forte augmentation de la variabilité des voyants entre les épreuves 1 et 2 pour les écarts de 2mm. Nous pouvons expliquer ce phénomène par la capacité différentielle des sujets à s'adapter à la situation. Malgré une amélioration globale des performances entre les épreuves, certaines personnes sont plus en difficulté que d'autres. De ce fait, plus la tâche est difficile, plus les effets de l'entraînement seront faibles et plus ces sujets vont se distinguer des autres, d'où une augmentation de la variabilité interindividuelle pour les écarts de 2mm. Pour des écarts de 4mm, la tâche est moins difficile, ce qui va permettre aux sujets les plus en difficulté d'améliorer tout de même leurs performances. Nous avons vu lors de l'étude des types d'erreurs que le nombre des erreurs de 4mm diminuait significativement pour le groupe des voyants avec entraînement haptique. De ce fait, la variabilité interindividuelle sera restreinte après entraînement. C'est effectivement ce qui est observé. Le même phénomène peut être observé pour les aveugles avec une réduction de la variabilité pour des écarts de 4mm. Il est également à noter que le nombre de bonnes réponses n'évolue pas de façon significative chez les aveugles pour cet écart. Or, les performances de ces sujets sont supérieures à 10 sur un total de 12 cas. De ce fait, l'amélioration des performances ne peut pas être significative. En revanche, une diminution de la variabilité pour des écarts de 2mm est constatée pour le groupe des aveugles tardifs. Or, l'analyse de la variance a montré un effet de l'épreuve et une absence de différence entre les groupes. L'amélioration des performances est donc présente pour les trois groupes. La combinaison de la diminution de la variabilité et de l'augmentation du nombre de bonnes réponses indique que les aveugles tardifs ont bénéficié de l'entraînement même si leurs bonnes performances du départ ne rendent pas toujours les effets significatifs. Nous serons plus réservés pour les aveugles précoces qui certes ont amélioré leurs performances sur des écarts de 2mm mais pour lesquels la variabilité est importante et stable entre les épreuves. Mais nous pouvons peut-être interpréter cette variabilité par l'âge de nos sujets. En effet, le groupe des aveugles

précoces est le groupe avec la moyenne d'âge la plus élevée et l'écart-type le plus important. Or, nous avons vu que les limites physiologiques du système tactile ne permettent pas de distinguer des écarts de plus d'un millimètre et demi à deux millimètres. L'âge réduit peut-être ce seuil et expliquerait ainsi la plus grande variabilité de ce groupe.

### **1-2-1-2 LES AMPLITUDES D'ERREURS**

#### **1-2-1-2-1 Résultats attendus :**

Si un effet plafond empêche le nombre de bonnes réponses d'augmenter, nous devrions apercevoir un effet de l'entraînement au travers des amplitudes d'erreurs. En effet, si les sujets réussissent presque tous les items avec un écart supérieur ou égal à 4mm entre la cible et l'un des distracteurs, les amplitudes d'erreurs devraient être très faibles dès la première épreuve. Toutefois, si ces amplitudes montrent tout de même une diminution significative, c'est qu'une amélioration a eu lieu. En revanche pour les écarts de 2mm, les résultats ne devraient pas différer de ceux obtenus lors de l'analyse des bonnes réponses.

		Ecart 2mm		Ecart 4mm et +	
		Epreuve 1	Epreuve 2	Epreuve 1	Epreuve 2
<b>voyants aveuglés</b>	moyenne	40,751	27	24,25	10,5
	moyenne log	1,15	1,273	0,891	1,02
	écart-type	7,851	18,24	16,65	9,055
	écart-type log	0,086	0,346	0,309	0,44
<b>aveugles précoces</b>	moyenne	26	16,5	7,25	3,25
	moyenne log	1,257	1,328	1,047	1,082
	écart-type	11,21	11,7	6,409	3,37
	écart-type log	0,362	0,251	0,488	0,414
<b>aveugles tardifs</b>	moyenne	26	22	7,5	1,75
	moyenne log	1,243	1,294	1,053	1,101
	écart-type	5,657	5,127	6,908	2,493
	écart-type log	0,108	0,102	0,407	0,39

Tableau XXVIII : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs selon le groupe, l'épreuve et l'écart minimal entre la cible et le distracteur le plus proche.

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été effectuée pour chaque cas.

#### **1-2-1-2-2 Pour les écarts de 2mm au minimum :**

Un effet de l'épreuve est observé ( $F(1,14)=7.84$ ,  $p=.011$ ) avec une diminution des amplitudes d'erreurs. Une légère tendance à la significativité est constatée pour l'effet du groupe ( $F(1,14)=2.72$ ,  $p=.089$ ) avec une différence significative seulement entre les



voyants et les aveugles précoces ( $p=.030$ ). L'interaction n'est pas significative ( $F(1,14)=0.88$ ,  $p=.431$ ).

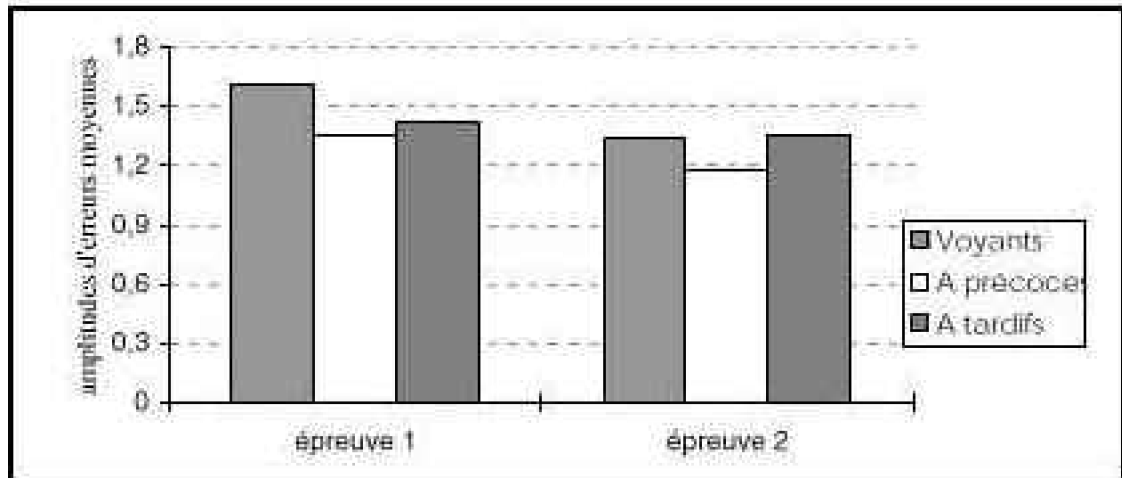


Figure 39 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur de 2mm.

#### 1-2-1-2-3 Pour les écarts de 4mm au minimum :

Un effet significatif du groupe est relevé ( $F(2,21)=7.36$ ,  $p=.004$ ). Le groupe des voyants se distingue des aveugles tardifs ( $p=.002$ ) et des aveugles précoces ( $p=.006$ ). L'effet de l'épreuve est également très significatif ( $F(1,21)=14.65$ ,  $p=.001$ ) avec une diminution des amplitudes d'erreurs à l'épreuve 2. L'interaction groupes x épreuves n'est pas significative ( $F(2,21)=0.49$ ,  $p=.618$ ).

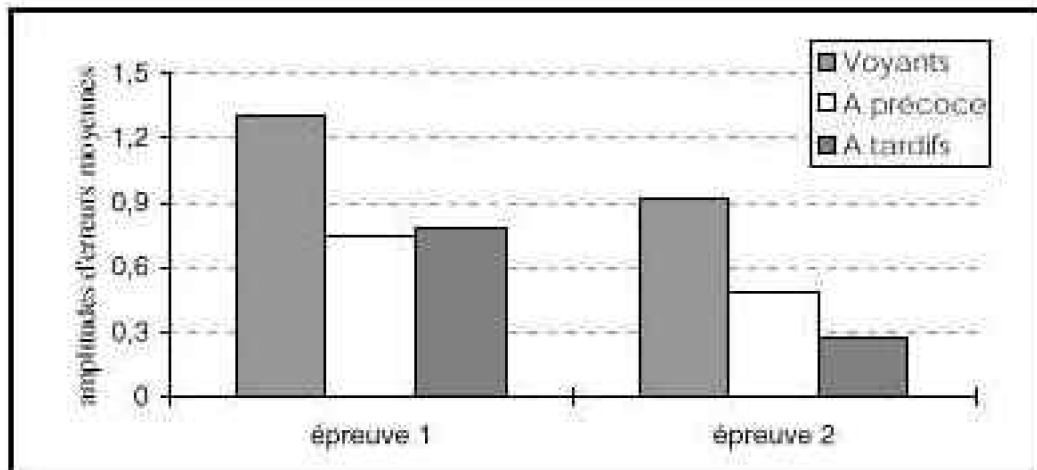


Figure 40 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre la cible et le distracteur d'au moins 4mm.

#### 1-2-1-3 LES TEMPS D'EXPLORATION

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x type d'écart [2mm vs 4mm et plus]) avec mesures répétées sur les deux derniers

facteurs a été appliquée.

		Epreuve 1		Epreuve 2	
		Ecart 2mm	Ecart 4mm et +	Ecart 2mm	Ecart 4mm et +
Voyants	Moyenne	28,52	30,61	23,81	31,98
	Ecart type	7,73	7,17	8,9	6,63
A. Précoces	Moyenne	14,28	19,91	10,37	14,87
	Ecart-type	21,5	13,46	10,15	10,44
A. Tardifs	Moyenne	22,07	28,50	21,85	31,75
	Ecart-type	14,5	11,5	22,01	24,61

Tableau XXIX : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en seconde selon le groupe, l'épreuve et l'écart entre la cible et le distracteur le plus proche.

L'effet principal du type d'écart ( $F(1,21)=32.67$ ,  $p=.00001$ ) est significatif. Les temps d'exploration sont plus longs pour les écarts de 4mm que pour les écarts de 2mm entre la cible et le distracteur le plus ressemblant. L'effet du groupe tend vers la significativité ( $F(2,21)=2.66$ ,  $p=.093$ ) avec une différence entre les voyants et les aveugles précoces ( $p=.042$ ) mais pas entre les voyants et les aveugles tardifs ( $p=.707$ ). Les aveugles tardifs tendent également à différer des aveugles précoces ( $p=.089$ ). Les interactions ne sont pas significatives.

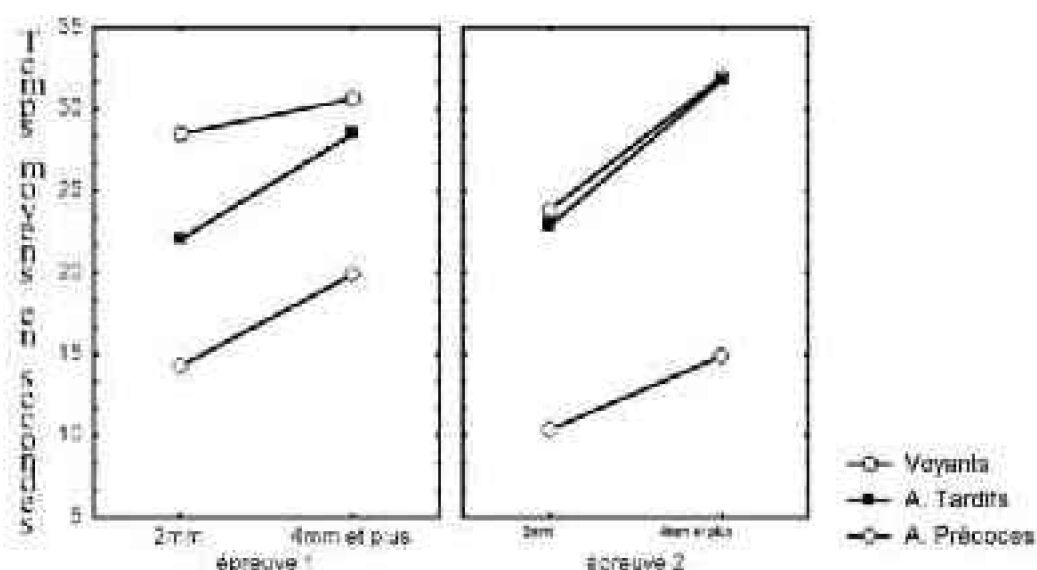


Figure 41 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et du type d'écart entre la cible et le distracteur le plus proche.

### 1-2-2 Discussion générale

Au niveau des items comprenant des écarts de 2mm entre la cible et le distracteur le plus ressemblant, les amplitudes d'erreurs ne nous apprennent rien de plus que l'analyse des bonnes réponses. En revanche, il en est autrement pour les écarts de 4mm et plus. En effet, nous avons vu précédemment que le nombre de bonnes réponses n'augmentait pas de façon significative pour les groupes d'aveugles. Nous avons mis en relation cette absence d'amélioration avec un effet plafond. Cependant, si le nombre de bonnes réponses ne peut progresser, il peut en être différemment des erreurs. En effet, sur le

petit nombre des erreurs réalisées, les amplitudes d'erreurs ont pu diminuer et c'est ce que nous observons. L'amélioration est passée par une diminution des amplitudes d'erreurs.

Hormis le fait que les temps des aveugles tardifs soient plus élevés que ceux des aveugles précoces, les temps d'exploration des aveugles suivent la même courbe que ceux des voyants. C'est-à-dire que les temps d'exploration sont plus élevés pour des écarts de 4mm que pour des écarts de 2mm. Or, nous pensions que les aveugles allaient résoudre plus rapidement les items avec 4mm que les items avec 2mm d'écart entre la cible et le distracteur le plus ressemblant. Cependant, les performances des aveugles sont équivalentes à celles des voyants pour les écarts de 2mm entre le distracteur et la cible. Il est donc logique que les temps d'exploration suivent la même courbe que celle des voyants. De ce fait, la seule différence observable se situe au niveau de la vitesse d'exploration. Les aveugles précoces sont plus rapides que les aveugles tardifs et les voyants qui obtiennent des temps d'exploration comparables en particulier à l'épreuve 2 (figure 41). La différence de vitesse ne peut pas être expliquée par le niveau d'expérience haptique. En revanche, le statut visuel est responsable. Ainsi, l'hypothèse d'un mode de traitement spécifique aux sujets avec expérience visuelle n'est pas rejetée. Les voyants comme les aveugles tardifs chercheraient à traduire les informations haptiques en informations visuelles.

## **2 L'influence de la ressemblance entre les distracteurs.**

Nous allons à présent nous intéresser à un autre critère de difficulté des items, l'écart entre les deux distracteurs. En effet, nous avons traité de l'écart entre la cible et le distracteur, mais les sujets devaient reconnaître la cible parmi trois propositions et donc deux distracteurs. Selon le choix de résolution du problème les sujets pouvaient soit comparer le modèle avec chaque proposition, soit repérer les différences entre les distracteurs et ensuite décider de celui identique au modèle. L'écart entre les distracteurs peut donc être un critère de difficulté. Comme précédemment nous avons relevé le nombre de bonnes réponses.

### **2-1 Les voyants**

---

#### **2-1-1 Résultats attendus**

A plusieurs reprises, nous avons parlé du choix d'un processus descendant (Klatzky et Lederman, 1987) pour rechercher de l'information. Ce type de processus est particulièrement adapté à notre situation, à condition que les sujets gardent en mémoire le critère de différenciation des items découvert lors des entraînements. Les entraînements leur offraient la possibilité de connaître immédiatement le résultat de leur choix en terme

de juste ou faux et donc de tester différents critères et de modifier leurs inférences en fonction du résultat de leur action. En effet, le retour constant leur a permis de se rassurer sur leur exploration et la décision qui lui succède. Or, lors des épreuves, aucun retour n'est donné aux sujets pendant la passation. Certains d'entre eux peuvent donc être décontenancés et perturbés par cette absence de retour. Nous postulons que les items comportant de gros écarts entre les distracteurs vont permettre aux sujets d'une part de se remémorer le critère de discrimination et d'autre part, de se rassurer sur leur décision. En effet, lorsque l'écart entre deux figures est important, la perception des différences de longueur sera plus facile. De ce fait, les sujets seront confortés sur le critère de différenciation et par conséquent, ils seront rassurés sur leur démarche et leur décision. Nous nous attendons donc à ce que le groupe haptique améliore de façon significative ses performances pour les écarts les plus importants (4 et 6mm ou plus). L'amélioration sera perceptible dans une moindre mesure pour des items où l'écart entre les distracteurs est faible (2mm). Le groupe auditif quant à lui ne devrait pas s'améliorer entre les épreuves quel que soit le type d'écart. Au niveau du temps d'exploration, si notre hypothèse concernant à la fois le manque de dextérité des voyants en matière de procédés d'exploration haptique et un mode de raisonnement spécifique aux personnes avec expérience visuelle est valide, nous ne devrions pas observer de réduction du temps d'exploration entre les épreuves pour le groupe haptique, et ce quel que soit l'écart entre les distracteurs. Pour le groupe auditif, une diminution du temps d'exploration a été observée entre les épreuves. Cette diminution a été attribuée à un biais expérimental résultant de la rapidité de résolution des items lors de l'entraînement auditif. Les temps d'exploration devraient donc diminuer proportionnellement pour tous les écarts.

Comme pour l'analyse précédente, les écarts entre les distracteurs étaient variables : dans 16 items l'écart entre les distracteurs était de 2mm, dans 12 items, l'écart était de 4mm et dans 12 autres l'écart était de 6mm ou plus. Nous avons donc procédé à des analyses séparées.

### 2-1-2 Nombre de bonnes réponses pour des écarts variables entre les distracteurs

		Ecart 2mm		Ecart 4mm		Ecart 6mm et plus	
		épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2
groupe haptique	moyenne	8,375	12,13	6,75	7,125	5,5	7,875
	moyenne log	0,952	1,111	0,878	0,9	0,804	0,904
	écart-type	2,925	2,416	1,832	1,808	1,414	3,758
	écart-type log	0,144	0,053	0,11	0,104	0,091	0,225
groupe auditif	moyenne	7,875	8,75	5,5	5	6,875	6,5
	moyenne log	0,93	0,974	0,798	0,716	0,882	0,842
	écart-type	2,357	2,605	1,927	2,519	1,885	2,828
	écart-type log	0,147	0,128	0,121	0,217	0,125	0,19

Tableau XXX : Moyennes et écarts-types du nombre de bonnes réponses selon le groupe, l'épreuve et les écarts entre les distracteurs.

Remarque : le tableau indique la moyenne et l'écart-type des bonnes réponses pour les items où l'écart entre les distracteurs est de 2mm, 4mm 6mm ou plus selon le groupe

et l'épreuve.

Nous avons effectué une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur pour chaque type d'écart.

### **2-1-2-1 POUR DES ÉCARTS DE 2MM ENTRE LES DISTRACTEURS**

Les résultats montrent un effet de l'épreuve ( $F(1,14)=9.44$ ,  $p=.008$ ) mais pas d'effet du groupe ( $F(1,14)=2.15$ ,  $p=.165$ ). De plus, seule une tendance de l'interaction groupes x épreuves est relevée ( $F(1,14)=3.05$ ,  $p=.103$ ). L'étude des contrastes révèle tout de même une amélioration très nette du nombre de bonnes réponses pour le groupe haptique ( $p=.004$ ) contrairement au groupe auditif ( $p=.365$ ), alors que ces deux groupes ne diffèrent pas à la première épreuve ( $p=.654$ ).

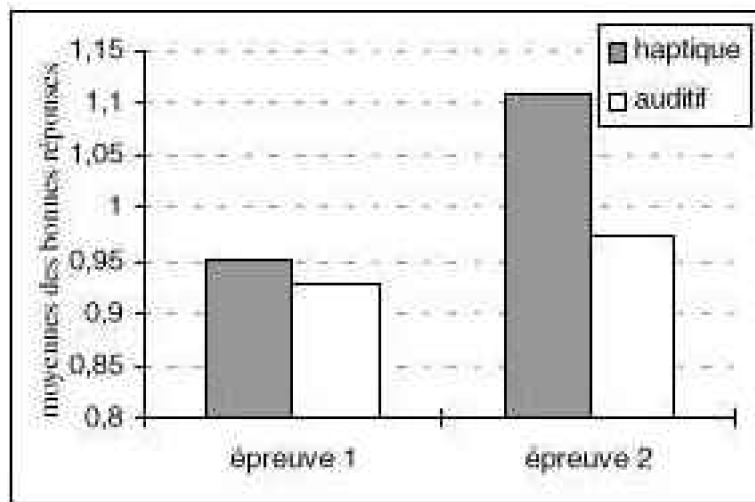


Figure 42 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 2mm.

### **2-1-2-2 POUR DES ÉCARTS DE 4MM ENTRE LES DISTRACTEURS**

Seul un effet du groupe est observé ( $F(1,14)=5.29$ ,  $p=.037$ ) avec un nombre de bonnes réponses supérieur pour le groupe haptique. Les effets de l'épreuve ( $F(1,14)=0.15$ ,  $p=.699$ ) et de l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=0.70$ ,  $p=.418$ ) ne sont pas significatifs.

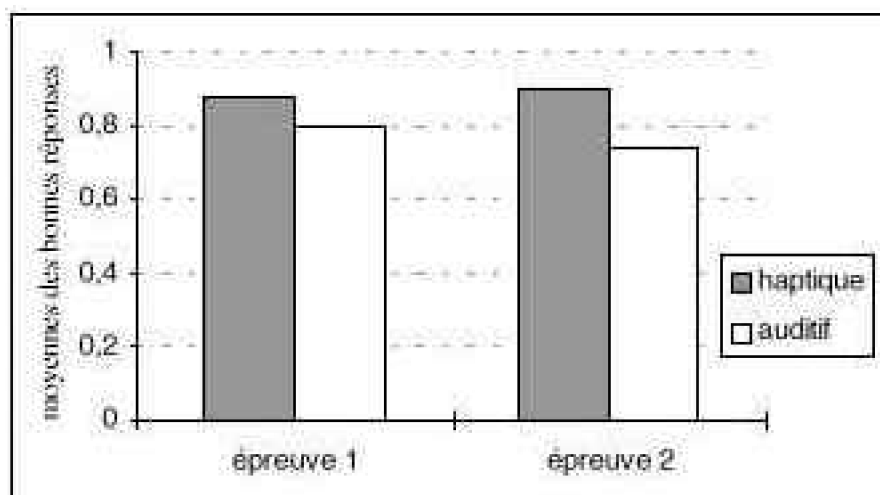


Figure 43 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 2mm.

### 2-1-2-3 POUR DES ÉCARTS DE 6MM OU PLUS ENTRE LES DISTRACTEURS

Aucun effet n'est significatif pour ce type d'écart.

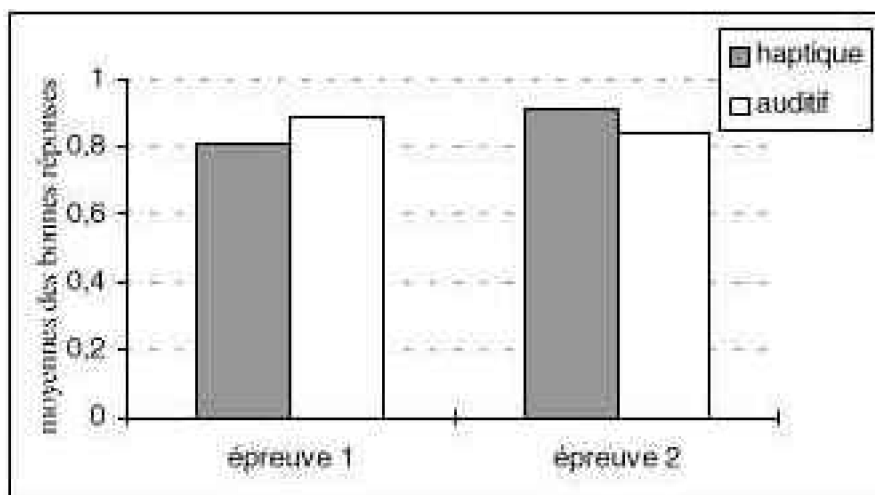


Figure 44 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 6mm et plus.

Contrairement à nos attentes, l'amélioration des performances n'est observée ni pour les écarts de 6mm et plus entre les distracteurs ni pour les écarts de 4mm. Seul un effet du groupe montre que le groupe haptique obtient dans l'ensemble des performances supérieures au groupe auditif pour des écarts de 4mm entre les distracteurs. En revanche, un effet de l'épreuve est observé globalement pour des écarts de 2mm. Si le groupe ne révèle pas d'effet significatif pour cet écart, le tableau XXX montre cependant que le groupe haptique a nettement amélioré ses performances. De même, l'étude des contrastes de l'interaction qui tend vers la significativité montre que seul ce groupe obtient plus de bonnes réponses à l'épreuve 2. Pour comprendre ces résultats, nous avons interrogé les amplitudes d'erreurs. Le même type d'analyse que précédemment a été

réalisé.

### 2-1-3 Les amplitudes d'erreurs

groupe		Ecart 2mm		Ecart 4mm		Ecart 6mm et plus	
		épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2
	moyenne	30,5	14	15,5	11,5	20,5	11,5
	moyenne log	1,464	1,036	1,16	1,052	1,304	0,819
	écart-type	12,55	9,442	8,799	6,547	7,231	12,27
haptique	écart-type log	0,192	0,467	0,242	0,209	0,181	0,602
	moyenne	20,5	26,25	18	20	16,25	17,25
	moyenne log	1,454	1,394	1,252	1,23	1,192	1,19
	écart-type	13,34	13,54	6,59	11,9	9,588	10,25
	écart-type log	0,165	0,196	0,172	0,286	0,2	0,281
groupe auditif							

Tableau XXXI : Moyennes et écarts-types de l'amplitudes des erreurs selon le groupe, l'épreuve et les écarts entre les distracteurs.

Remarque : le tableau indique la moyenne et l'écart-type des amplitudes d'erreurs pour les items où l'écart entre les distracteurs est de 2mm, 4mm 6mm ou plus selon le groupe et l'épreuve.

#### 2-1-3-1 POUR DES ÉCARTS DE 2MM

L'effet du groupe n'est pas significatif ( $F(1,14)=2.45$ ,  $p=.140$ ). En revanche, un effet principal de l'épreuve est obtenu ( $F(1,14)=7.83$ ,  $p=.014$ ) ainsi qu'un effet de l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=4.44$ ,  $p=.054$ ). Les amplitudes d'erreurs sont moins élevées à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. De plus, le groupe haptique améliore significativement ses performances ( $p=.004$ ), contrairement au groupe auditif ( $p=.632$ ), alors que les deux groupes sont semblables au départ ( $p=.937$ ).

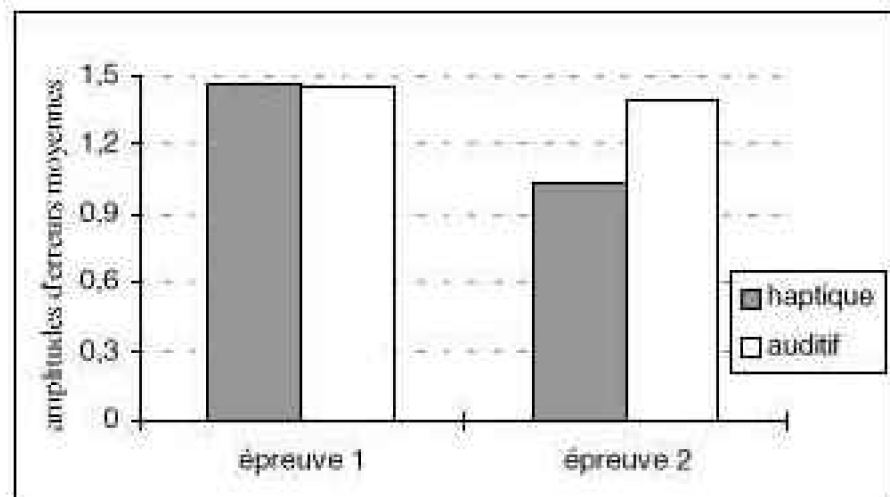


Figure 45 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 2mm.

### 2-1-3-2 POUR DES ÉCARTS DE 4MM

Aucun effet n'est significatif au niveau des amplitudes d'erreurs pour cet écart de 4mm entre les distracteurs. Seule une légère tendance s'esquisse pour le groupe (F(1,14)=2.74, p=.120) avec des amplitudes moindres pour le groupe haptique.

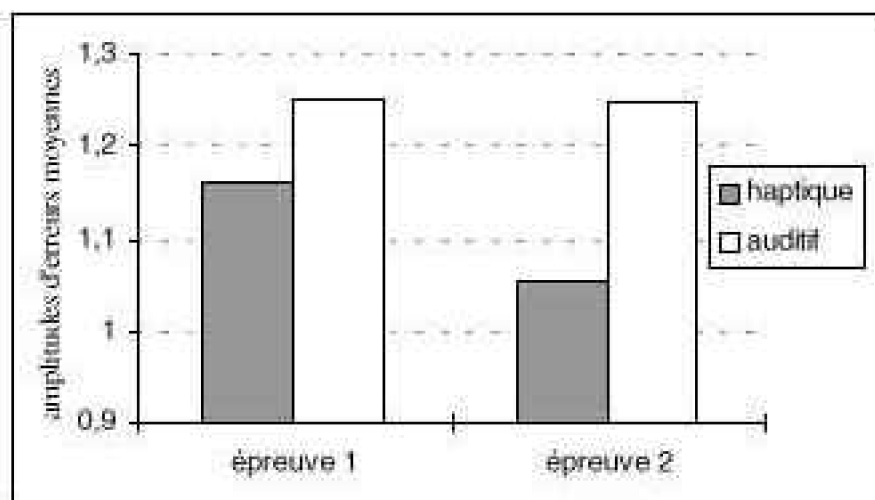


Figure 46 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 4mm.

### 2-1-3-3 POUR DES ÉCARTS DE 6MM OU PLUS

L'effet principal du groupe n'est pas significatif (F(1,14)=0.92, p=.355). En revanche, une tendance se dessine fortement pour l'épreuve (F(1,14)=4.15, p=.061) et l'interaction groupes x épreuves (F(1,14)=4.10, p=.062). Une diminution des amplitudes d'erreurs est à noter entre les épreuves pour le groupe haptique (p=.012), alors que le groupe auditif est stable (p=.993) et que les deux groupes ne diffèrent pas à l'épreuve 1 (p=.506).

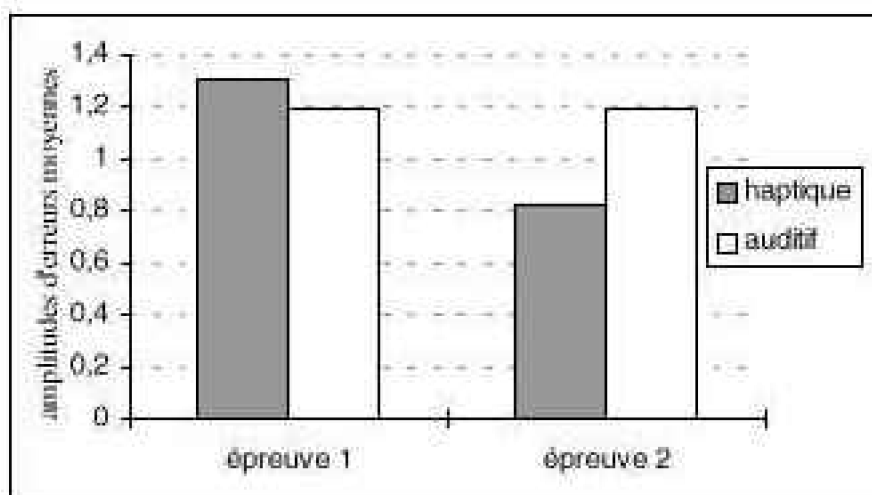


Figure 47 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 6mm ou plus.



### 2-1-4 Les temps d'exploration

Une analyse de la variance à trois facteurs a été effectuée (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x écarts entre les distracteurs [2mm vs 4mm vs 6mm et plus]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

		Ecart 2mm		Ecart 4mm		Ecart 6mm et plus	
		épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2
groupe haptique	moyenne	29,83	29,19	29,50	29,85	30,73	30,03
	écart-type	7,87	7,565	7,10	8,70	8,06	6,763
groupe auditif	moyenne	27,44	22,23	27,08	21,09	28,40	20,63
	écart-type	11,56	10,12	10,32	8,83	12,92	9,60

Tableau XXXII : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et de l'écart entre les distracteurs.

Seul un effet principal de l'épreuve est observé ( $F(1,14)=4.81$ ,  $p=.046$ ) avec une diminution du temps d'exploration entre les épreuves. Les interactions ne sont pas non plus significatives. Une tendance s'esquisse toutefois pour l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=3.92$ ,  $p=.068$ ). L'étude des contrastes révèle une absence d'évolution du temps d'exploration pour le groupe haptique ( $p=.883$ ) et une diminution pour le groupe auditif ( $p=.0105$ ). Par ailleurs, les deux groupes sont semblables à l'épreuve 1 ( $p=.312$ ).

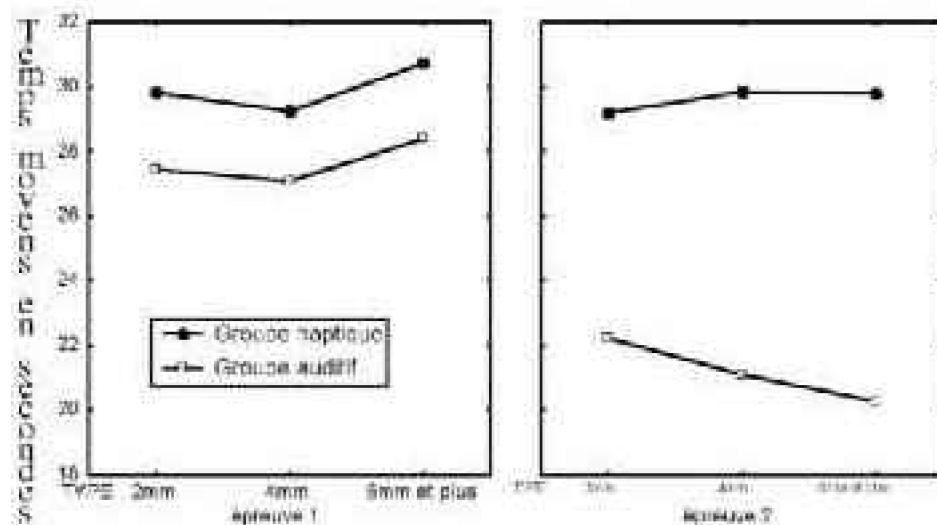


Figure 48 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et du type d'écart entre les distracteurs.

### 2-1-5 Discussion générale

Il y a autant d'items comportant des écarts de 4mm que des écarts de plus de 6mm. De plus, l'amplitude maximale d'erreur est la même pour ces deux types d'items. Or, une amélioration est relevée pour des écarts de 6mm et plus au niveau des amplitudes d'erreurs mais pas pour des écarts de 4mm. La diminution de l'écart entre les distracteurs semble donc provoquer une augmentation des amplitudes d'erreurs, ce à quoi nous nous attendions. Or, une amélioration est visible pour des écarts de 2mm entre les distracteurs,

aussi bien pour le nombre de bonnes réponses que pour les amplitudes d'erreurs. Ces données viennent donc ruiner notre hypothèse. Une interprétation de ces résultats réside peut-être dans le niveau de vigilance des sujets. En effet, lors des entraînements le groupe haptique a appris à affiner son jugement sur l'estimation des longueurs, du moins pour les personnes qui ont découvert le critère de différenciation des figures. Les écarts de 6mm et plus leur sont donc plus faciles à discriminer et ils parviennent à éviter les grosses erreurs, à défaut de réussir systématiquement. En effet, ce n'est pas parce que l'écart entre les distracteurs est important et qu'ils peuvent éliminer une des propositions qu'ils trouvent nécessairement la bonne solution. L'élimination d'une des possibilités réduit seulement le risque d'erreur. De même pour des écarts faibles entre les distracteurs, les sujets vont redoubler de vigilance pour repérer les différences. De ce fait, des erreurs vont être évitées ou diminuer d'amplitude. Lorsque l'écart entre les distracteurs est de 4mm, la différence n'est pas suffisamment importante pour éliminer rapidement l'une des possibilités et trop faible pour permettre une bonne réussite. Nous pourrions toutefois rétorquer à cette argumentation que le risque moyen d'erreur pour chaque item, varie en fonction du type d'écart. En effet, le risque moyen d'erreur pour des écarts de 2mm est de 3,375mm, contre 2,5mm pour des écarts de 4 et 6mm ou plus. Or, plus l'amplitude d'erreur maximale est grande, plus il est facile d'éviter les erreurs. Ce qui explique que les items avec 2mm d'écart entre les distracteurs aient été mieux réussies que les items avec 4mm.

Au niveau des temps d'exploration, les données viennent valider nos hypothèses. Le temps d'exploration n'évolue pas différemment en fonction des écarts entre les distracteurs. La diminution des temps d'exploration du groupe auditif est observable pour l'ensemble des écarts. Par ailleurs, le temps d'exploration du groupe haptique reste stable entre les épreuves. Quelle que soit la difficulté des items, le temps d'exploration ne varie pas. Le temps d'exploration ne traduit donc pas la difficulté des items, mais d'une part, la mise en place et l'exécution des procédés d'exploration, et d'autre part, un mode de raisonnement spécifique aux sujets ayant ou ayant eu une expérience visuelle. Nous retravaillerons cette double hypothèse d'un manque d'expérience et de manipulation des procédés d'exploration haptique chez les voyants, associé à un mode de raisonnement spécifique, dans une perspective différentielle du statut visuel et haptique des sujets lors de la comparaison des voyants et des aveugles.

## 2-2 Le statut visuel

---

### 2-2-1 Résultats attendus

Les aveugles ayant obtenu de très bonnes performances, nous ne devrions pas observer d'amélioration significative quel que soit l'écart entre les distracteurs. En revanche, une différence devrait apparaître entre les voyants et les aveugles. Toutefois, les voyants ont fortement progressé entre les épreuves, l'écart devrait donc se réduire voire disparaître entre les groupes à l'épreuve 2. Par ailleurs, si les temps d'exploration traduisent un mode de raisonnement particulier en fonction de l'expérience visuelle, nous devrions observer une absence de variation du temps d'exploration en fonction de l'épreuve et du type

d'écart. De plus, le temps des voyants devrait être comparable à celui des aveugles tardifs et ce quel que soit l'écart. En revanche, ces deux groupes devraient différer des aveugles précoces.

## 2-2-2 Le nombre de bonnes réponses

		Ecart 2mm		Ecart 4mm		Ecart 6mm et plus	
		Epreuve 1	Epreuve 2	Epreuve 1	Epreuve 2	Epreuve 1	Epreuve 2
voyants aveugles	moyenne	8,375	12,13	6,75	7,125	5,5	7,875
	moyenne log	0,922	1,111	0,878	0,9	0,894	0,904
	écart-type	2,925	2,416	1,832	1,808	1,414	3,758
	écart-type log	0,144	0,083	0,11	0,104	0,091	0,223
aveugles précoces	moyenne	12,63	13,5	8	8,875	7,25	9,375
	moyenne log	1,13	1,157	0,943	0,983	0,902	1,008
	écart-type	2,066	2,07	2,204	2,295	1,25	9,375
	écart-type log	0,063	0,063	0,105	0,114	0,123	0,089
aveugles tardifs	moyenne	12,25	13,88	7,875	8,5	6,875	7,875
	moyenne log	1,117	1,17	0,944	0,975	0,89	0,946
	écart-type	2,188	1,553	1,356	1,195	1,158	0,991
	écart-type log	0,073	0,048	0,066	0,052	0,083	0,051

Tableau XXXIII : Moyennes et écarts-types du nombre de bonnes réponses selon le groupe, l'épreuve et les écarts entre les distracteurs.

Nous avons réalisé une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur pour chaque type d'écart.

### 2-2-2-1 POUR DES ÉCARTS DE 2MM ENTRE LES DISTRACTEURS

Un effet principal du groupe ( $F(2,21)=7.40$ ,  $p=.0037$ ) et de l'épreuve ( $F(1,21)=14.25$ ,  $p=.0011$ ) est relevé. Le nombre de bonnes réponses augmente entre les épreuves. De plus, les voyants ont des performances inférieures aux aveugles précoces et tardifs ( $p>.0031$ ), ces deux derniers groupes étant comparables ( $p=.9965$ ). L'interaction groupes x épreuves est également significative ( $F(2,21)=3.62$ ,  $p=.045$ ). A l'épreuve 1, les voyants se distinguent des aveugles tardifs et précoces de façon très significative ( $p<.00021$ ). Les voyants sont les seuls à obtenir un nombre de bonnes réponses supérieur à l'épreuve 2 par rapport à l'épreuve 1 ( $p=.0003$ ). L'amélioration est telle que les performances des voyants équivalent celles obtenues par les aveugles à l'épreuve 1 ( $p>.613$ ) et à l'épreuve 2 ( $p>.122$ ).

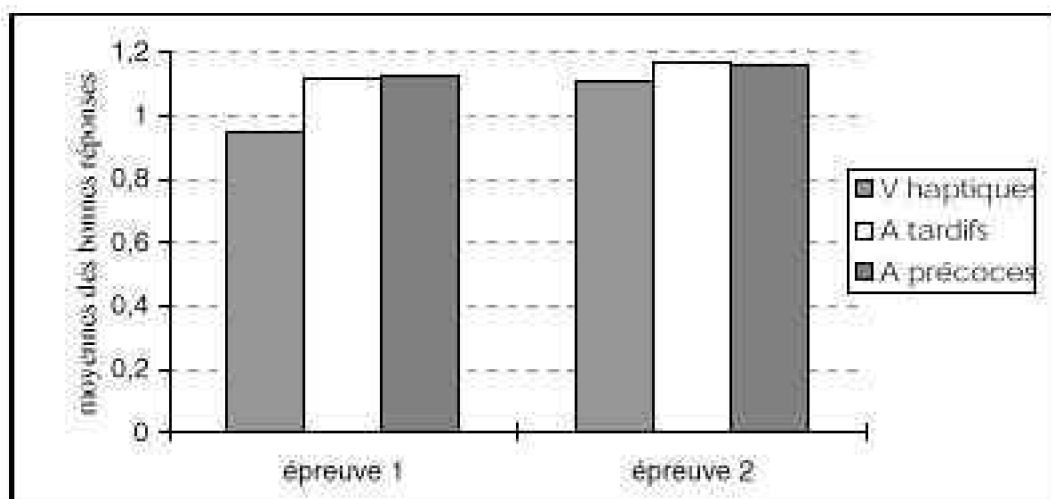


Figure 49 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 2mm.

Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 2mm.

#### 2-2-2-2 POUR DES ÉCARTS DE 4MM ENTRE LES DISTRACTEURS

Aucun effet significatif n'est observé pour cet écart. Seule une légère tendance s'esquisse pour le groupe ( $F(2,21)=2.455$ ,  $p=.110$ ).

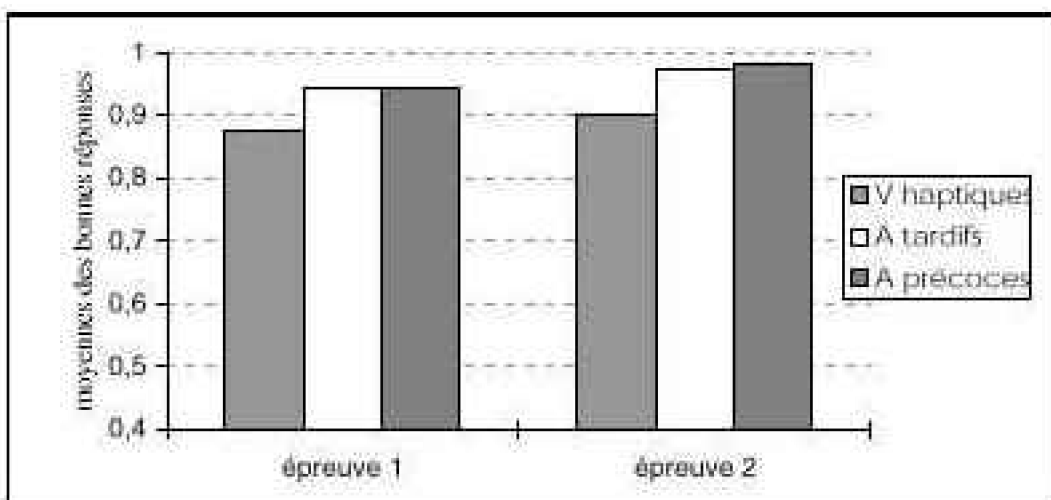


Figure 50 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve

#### 2-2-2-3 POUR DES ÉCARTS DE 6MM ET PLUS ENTRE LES DISTRACTEURS

Un effet principal de l'épreuve est observé ( $F(1,21)=5.96$ ,  $p=.024$ ) avec une amélioration des performances à l'épreuve 2. L'effet du groupe montre seulement une tendance à la significativité ( $F(2,21)=2.75$ ,  $p=.087$ ). Les voyants diffèrent uniquement des aveugles précoces ( $p=.031$ ), les autres combinaisons ne sont pas significatives.

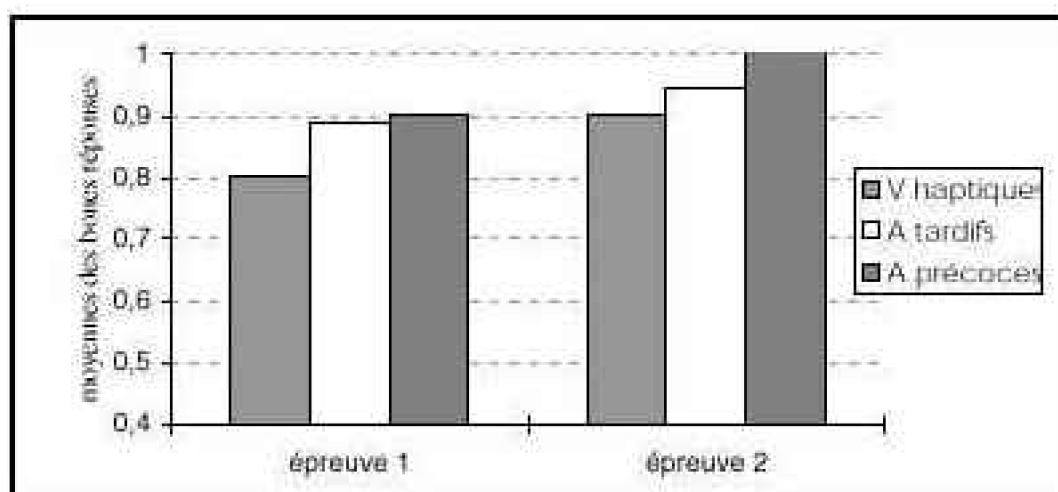


Figure 51 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 6mm et plus.

## 2-2-3 Les amplitudes d'erreurs

		Écart 2mm		Écart 4mm		Écart 6mm et plus	
		Épreuve 1	Épreuve 2	Épreuve 1	Épreuve 2	Épreuve 1	Épreuve 2
voyants aveuglés	moyenne	30,5	14	15,5	11,5	20,5	11,5
	moyenne log	1,464	1,036	1,16	1,052	1,304	0,919
	écart-type	12,55	9,442	8,799	6,547	7,231	12,27
	écart-type log	0,192	0,467	0,242	0,209	0,182	0,602
aveugles précoces	moyenne	11,5	6,5	11,75	7	11	8,25
	moyenne log	1,054	0,832	0,978	0,808	1,025	0,76
	écart-type	5,23	6,392	8,648	3,932	5,431	4,713
	écart-type log	0,156	0,489	0,433	0,301	0,255	0,357
aveugles tardifs	moyenne	11,75	5,5	9	7,75	12,75	10,5
	moyenne log	0,986	0,706	0,978	0,906	1,122	1,045
	écart-type	7,41	5,125	3,207	3,451	3,901	3,338
	écart-type log	0,431	0,305	0,152	0,303	0,13	0,127

Tableau XXXIV : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs selon le groupe, l'épreuve et les écarts entre les distracteurs.

Nous avons réalisé une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [1 vs 2]) avec mesures répétées sur le dernier facteur pour chaque type d'écart.

### 2-2-3-1 POUR DES ÉCARTS DE 2MM ENTRE LES DISTRACTEURS

Les effets principaux du groupe ( $F(2,21)=5.06$ ,  $p=.016$ ) et de l'épreuve ( $F(1,21)=14.69$ ,  $p=.00097$ ) sont significatifs mais pas l'interaction. Les amplitudes d'erreurs sont moins importantes à l'épreuve 2. De plus, le groupe des voyants se distingue des aveugles tardifs ( $p=.010$ ) aussi bien que des aveugles précoces ( $p=.014$ ). En revanche, les deux groupes d'aveugles sont semblables ( $p=.882$ ).

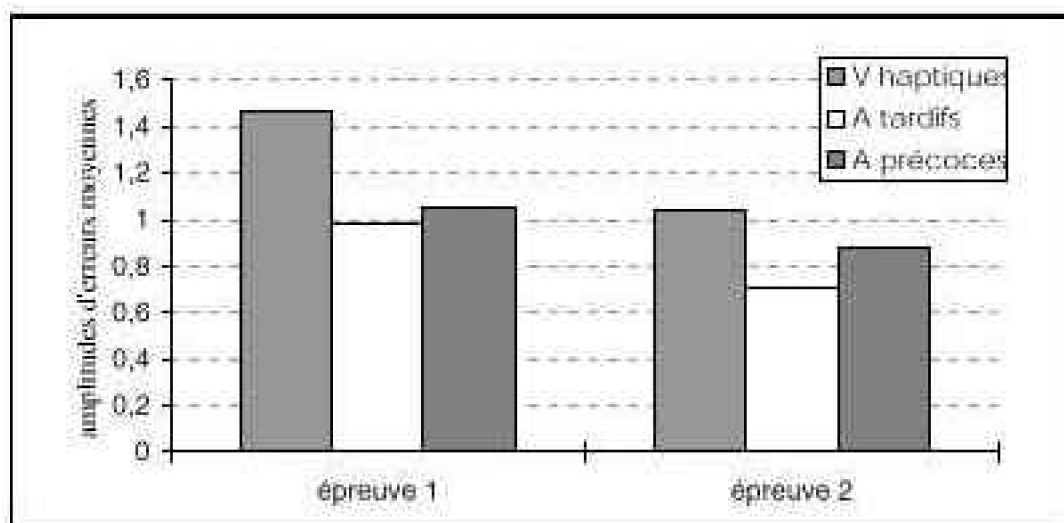


Figure 52 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 2mm.

### **2-2-3-2 POUR DES ÉCARTS DE 4MM ENTRE LES DISTRACTEURS**

Aucun effet n'est significatif. Seule une tendance s'esquisse pour l'effet de l'épreuve ( $F(1,21)=2.73$ ,  $p=.113$ ) avec une légère diminution des amplitudes d'erreurs. L'effet de groupe montre également une tendance ( $F(2,21)=2.265$ ,  $p=.129$ ).

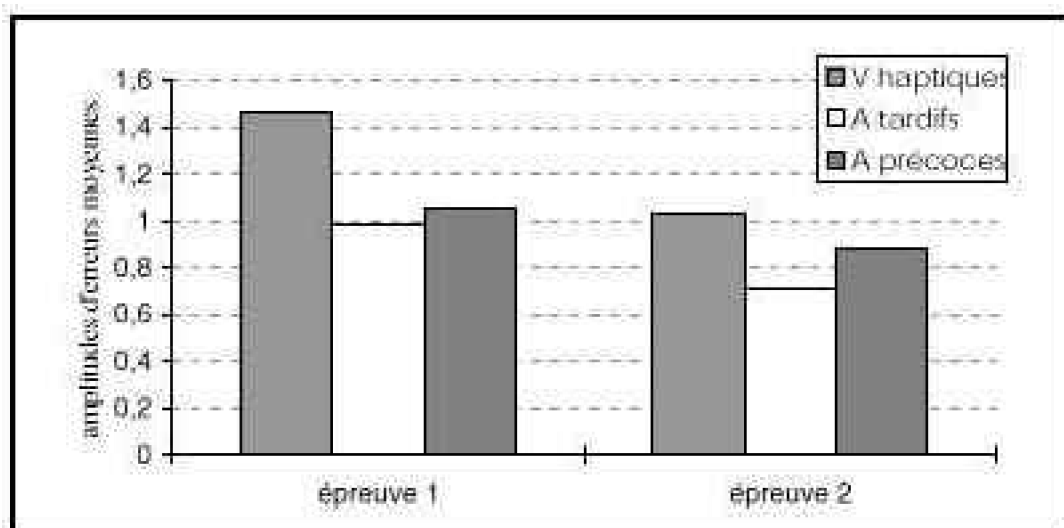


Figure 53 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 4mm.

### **2-2-3-3 POUR DES ÉCARTS DE 6MM ET PLUS ENTRE LES DISTRACTEURS**

Un effet principal de l'épreuve ( $F(1,21)=7.57$ ,  $p=.012$ ) est relevé. En revanche, l'effet du groupe ( $F(2,21)=2.01$ ,  $p=.159$ ) et l'effet de l'interaction ( $F(2,21)=1.38$ ,  $p=.273$ ) ne sont pas significatifs.

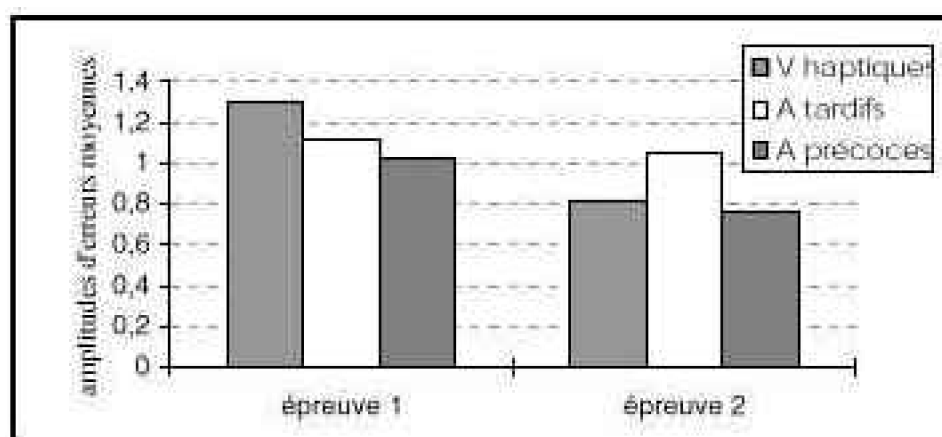


Figure 54 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve pour un écart entre les distracteurs de 6mm et plus.

## 2-2-4 Les temps d'exploration

Une analyse de la variance à trois facteurs a été effectuée (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [1 vs 2] x écarts entre les distracteurs [2mm vs 4mm vs 6mm et plus]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

		Ecart 2mm		Ecart 4mm		Ecart 6mm et plus	
		épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2
Voyants	moyenne	29,83	29,19	29,50	29,85	30,73	30,03
	écart-type	7,87	7,865	7,10	8,79	8,05	6,763
Aveugles Précoces	moyenne	16,75	12,88	20,13	13,61	18,28	14,57
	écart-type	15,52	10,34	23,67	9,81	19,49	16,96
Aveugles Tardifs	moyenne	25,39	28,16	27,48	32,09	36,04	16,56
	écart-type	14,38	24,59	14,05	24,68	13,6	26,94

Tableau XXXV : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et de l'écart entre les distracteurs.

Les effets principaux de l'épreuve ( $F(1,21)=.064$ ,  $p=.803$ ) et du type d'écart ( $F(2,42)=2.02$ ,  $p=.145$ ) ne sont pas significatifs. Seule une tendance à un effet principal du groupe ( $F(2,21)=2.50$ ,  $p=.106$ ) est relevée. Les contrastes montrent que le temps d'exploration des aveugles précoces tend à être inférieur au temps d'exploration des voyants ( $p=.054$ ) et des aveugles tardifs ( $p=.084$ ). Les temps d'exploration des aveugles tardifs et des voyants sont comparables ( $p=.824$ ). Les interactions ne sont pas significatives.

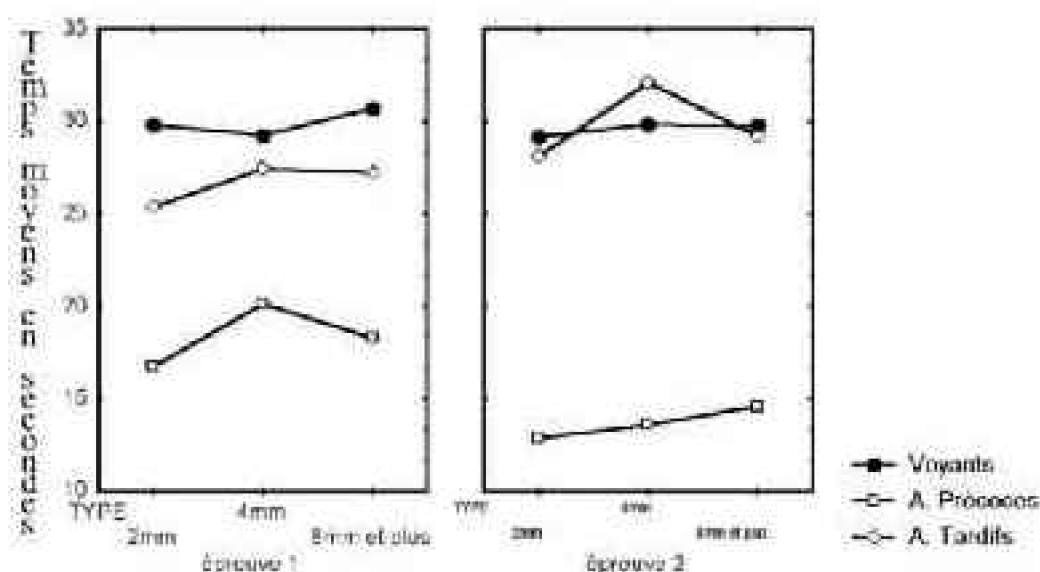


Figure 55 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et du type d'écart entre les distracteurs.

### 2-2-5 Discussion générale

Nous avons vu avec l'analyse des résultats des voyants avec ou sans entraînement haptique, que les items avec un écart de 4mm étaient plus difficiles que les items avec 2mm d'écart entre les distracteurs. Les résultats de cette analyse confirment cette première observation, avec une amélioration des performances globales aussi bien pour le nombre de bonnes réponses que pour les amplitudes d'erreurs, pour des écarts de 2mm mais pas pour des écarts de 4mm. L'amélioration est également visible pour des écarts de 6mm et plus. Sur l'ensemble des résultats, une seule interaction est significative, c'est celle du nombre de bonnes réponses pour des écarts de 2mm. L'amélioration est présente seulement pour les voyants qui égalent à l'épreuve 2 les performances des aveugles. Pour cet écart, au niveau des amplitudes d'erreurs et pour les écarts de 6mm et plus au niveau du nombre de bonnes réponses et des amplitudes d'erreurs, un effet de l'épreuve est pourtant observé. Ces résultats traduisent ainsi une amélioration globale des performances pour tous les groupes. Ceci est contraire à nos attentes. Cependant, pour les items les plus difficiles, les effets ne sont pas significatifs. Il n'y a donc pas d'amélioration pour ces items. De plus, nous pensions obtenir des différences au niveau du groupe, ce qui n'est le cas que pour des écarts de 2mm entre les distracteurs. Ainsi, il semblerait que tous les groupes soient aussi sensibles les uns que les autres au type d'écarts entre les distracteurs. Nous pensions que les performances des aveugles allaient annuler cet effet, en réduisant l'incidence de la difficulté des items, mais cette hypothèse n'est pas validée. L'expérience haptique ne permet pas de contourner la difficulté. L'analyse des temps d'exploration ne montre pas d'effet significatif au niveau de l'épreuve et du type d'écart. Ces résultats sont conformes à nos attentes. L'amélioration des performances n'a pas réduit le temps d'exploration. De plus, une différence est relevée entre les temps d'exploration du groupe des voyants et ceux des aveugles précoces, mais pas entre ceux des voyants et ceux des aveugles tardifs. Or, le



point commun entre les voyants et les aveugles tardifs est l'expérience visuelle. Le temps d'exploration semble donc bien traduire la mise en place d'un processus différent en fonction du statut visuel des sujets. Notre hypothèse d'une traduction des informations haptiques en informations visuelles ne peut donc pas être rejetée en l'état actuel de nos connaissances.

### 3 La position de la cible

Jusqu'à présent, nous avons pris en considération des différences de longueurs entre les figures, mais un autre facteur de difficulté réside dans la position de la cible par rapport au modèle. En effet, nous pouvons penser que plus la cible est éloignée du modèle plus il y a risque de perdre des informations au cours de l'exploration. Par conséquent, les performances refléteront cette difficulté croissante. Les performances devraient donc être supérieures pour une cible en première position, que pour une cible en troisième position par rapport au modèle. Dans le jeu de 40 items que comprenaient les épreuves, 13 étaient en première position, 13 en troisième position et 14 en deuxième position. L'égalité n'est pas tout à fait respectée dans la répartition des positions puisque la position deux a un item supplémentaire. Cependant, nous avons choisi d'appliquer une analyse groupée pour observer l'évolution des performances sur le critère de la position. Nous tiendrons compte de ce biais lors des analyses, en modulant les résultats pour cette deuxième position.

#### 3-1 Les voyants

---

Si la position de la cible par rapport au modèle augmente la difficulté de résolution des items, alors nous devrions obtenir des performances inférieures pour la position trois par rapport à une cible en première position. De plus, l'entraînement devrait permettre une amélioration des performances supérieure pour les items les plus faciles et donc les cibles en position un. Si notre hypothèse concernant les temps d'exploration est valide, à savoir que le temps d'exploration traduit moins la difficulté des items que la mise en place d'un processus particulier de traitement de l'information, alors nous ne devrions pas observer de différences dans les temps d'exploration, et ce quelle que soit la position.

##### 3-1-1 Le nombre de bonnes réponses

Nous avons effectué une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x position de la cible [1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> position]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

	Position	Epreuve 1			Epreuve 2		
		1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>
groupe haptique	moyenne	6,625	7,75	6,125	9,125	10,13	8,875
	moyenne log	0,879	0,917	1,322	0,992	1,026	0,956
	écart-type	1,061	2,866	1,727	2,532	3,227	4,121
	écart-type log	0,061	0,165	0,123	0,119	0,151	0,204
groupe auditif	moyenne	5,875	8,25	5,875	6,875	7,5	5,875
	moyenne log	0,807	0,957	0,823	0,874	0,893	0,816
	écart-type	2,642	1,909	1,808	2,748	3,207	2,232
	écart-type log	0,178	0,095	0,124	0,147	0,207	0,145

Tableau XXXVI : Moyennes et écarts-types du nombre de bonnes réponses selon le groupe, l'épreuve et la position de la cible

L'analyse révèle un effet de la position ( $F(1,14)=3.93$ ,  $p=.031$ ) avec moins de bonnes réponses pour la position 3 ( $p=.010$ ), un effet de l'épreuve ( $F(1,14)=4.92$ ,  $p=.044$ ) avec un nombre de bonnes réponses supérieur à l'épreuve 2, mais pas d'effet principal du groupe ( $F(1,14)=2.18$ ,  $p=.162$ ).

L'interaction groupes x épreuves est significative ( $F(1,14)=5.11$ ,  $p=.040$ ). Le groupe haptique a amélioré ses performances à l'épreuve 2 par rapport à l'épreuve 1 ( $p=.007$ ), et par rapport au groupe auditif épreuve 1 ( $p=.003$ ) et épreuve 2 ( $p=.003$ ). Les groupes auditif et haptique sont comparables à l'épreuve 1 ( $p=.660$ ), de même que le groupe auditif aux épreuves 1 et 2 ( $p=.976$ ) et les groupes auditif épreuve 2 et haptique épreuve 1 ( $p=.639$ ). En revanche les interactions groupes x positions et groupes x épreuves x positions ne sont pas significatives.

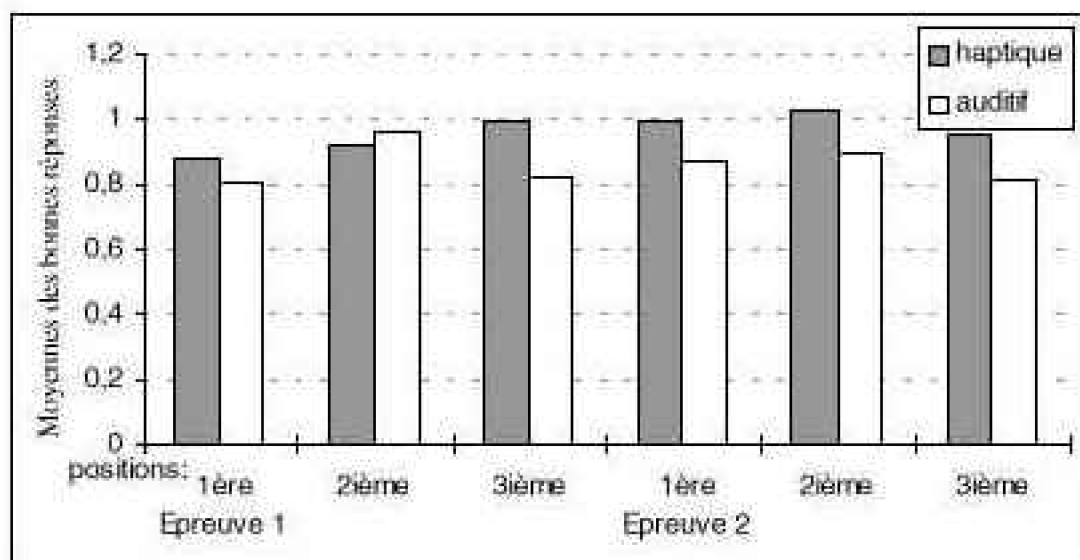


Figure 56 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction de la position de la cible, du groupe et de l'épreuve.

### 3-1-1-1 DISCUSSION SUR LE NOMBRE DE BONNES RÉPONSES SELON LA POSITION DE

## LA CIBLE

La position 3 est une position recueillant moins de bonnes réponses que la position 2. De plus, la position 2 tend à se distinguer de la position 1 avec plus de bonnes réponses. Toutefois, la position 2 contient un item de plus que les autres, il semble donc que cette différence doive être analysée avec précaution. D'autre part, l'entraînement ne modifie pas le rapport entre les positions. Le nombre de bonnes réponses n'évolue pas de façon significative avec le groupe et l'épreuve. Il augmente pour toutes les positions. L'entraînement a donc un effet sur les performances mais la position de la cible n'est pas un indicateur de ses effets, du moins pour le nombre de bonnes réponses. En revanche, nous pouvons nous demander ce qu'il en est pour les amplitudes d'erreurs. En effet, ce n'est pas parce que le nombre de bonnes réponses n'évolue pas pour les positions que les amplitudes d'erreurs suivent le même chemin. Il est tout à fait envisageable d'imaginer que les amplitudes d'erreurs sont liées à la position de la cible.

### 3-1-2 Les amplitudes d'erreurs

Nous avons effectué une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x position de la cible [1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> position]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

	Position	Epreuve 1			Epreuve 2		
		1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>
groupe haptique	moyenne	21,5	23,25	21,13	11,75	10,75	14,5
	moyenne log	1,338	1,34	1,322	1,004	0,878	0,959
	écart-type	5,632	11,06	7,511	9,468	9,408	12,73
	écart-type log	0,121	0,219	0,153	0,326	0,502	0,566
groupe auditif	moyenne	22,25	19,5	22,5	20,25	21,75	21,5
	moyenne log	1,306	1,28	1,34	1,257	1,261	1,322
	écart-type	11,93	8,194	9,842	11,59	16,37	8,799
	écart-type log	0,257	0,18	0,172	0,286	0,316	0,175

Tableau XXXVII : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs selon le groupe, l'épreuve et la position de la cible

L'effet principal de la position n'est pas significatif ( $F(1,14)=0.38$ ,  $p=.687$ ). Les amplitudes d'erreurs sont comparables pour les trois groupes. L'effet de l'épreuve, en revanche, est significatif ( $F(7.41)$ ,  $p=.017$ ) avec une amplitude d'erreurs moins élevée pour l'épreuve 2. Par ailleurs, un effet de l'interaction groupes x épreuves est obtenu. Les contrastes nous révèlent que le groupe haptique est le seul à voir ses amplitudes d'erreurs diminuer à l'épreuve 2 ( $p=.003$ ). Les groupes auditif épreuves 1 et 2 sont semblables ( $p=.793$ ), de même que le groupe haptique épreuve 1 et le groupe auditif épreuve 1 ( $p=.821$ ) et épreuve 2 ( $p=.626$ ). Le groupe haptique épreuve 2 diffère du groupe auditif épreuve 1 ( $p=.005$ ) et épreuve 2 ( $p=.008$ ). Cependant, l'effet principal du groupe n'est pas significatif. Les interactions groupes x positions ( $F(2,28)=0.27$ ,  $p=.767$ ), positions x épreuves ( $F(2,28)=0.2$ ,  $p=.82$ ) et groupes x positions x épreuves ( $F(2,28)=0.39$ ,  $p=.679$ ) ne sont pas significatives.

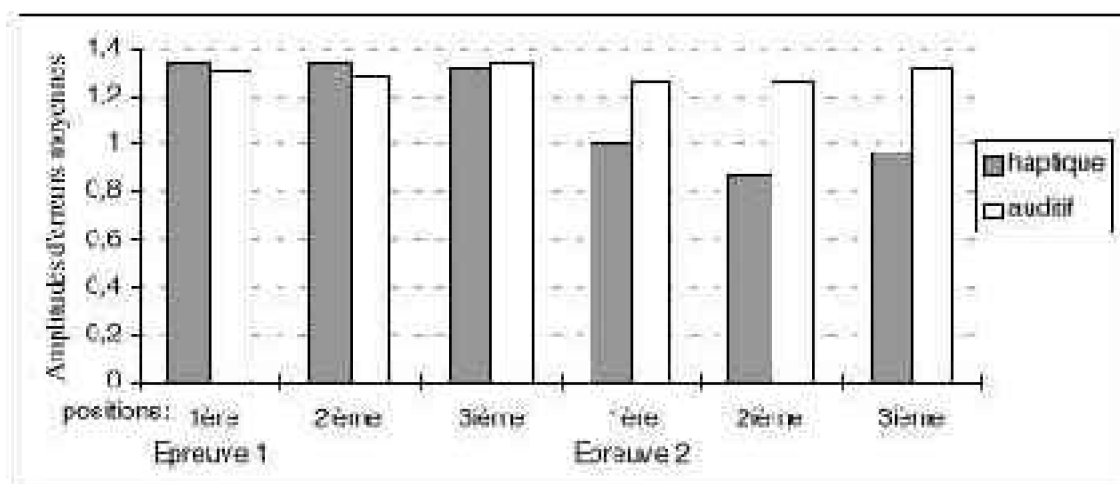


Figure 57 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  selon la position de la cible, le groupe et l'épreuve

### 3-1-2-1 DISCUSSION SUR LES AMPLITUDES D'ERREURS EN FONCTION DE LA POSITION DE LA CIBLE

Les résultats montrent un effet de l'épreuve sur les amplitudes d'erreurs avec une diminution des amplitudes d'erreurs pour le groupe haptique à l'épreuve 2, résultats que nous avons obtenus précédemment. En revanche, la position de la cible n'est pas discriminante. Les amplitudes d'erreurs ne diminuent pas plus pour une position que pour une autre. Les améliorations observées se répartissent sur l'ensemble des items quelle que soit la position de la cible.

### 3-1-3 Les temps d'exploration :

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x position de la cible [1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> position]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été réalisée.

		1 <sup>ère</sup> position		2 <sup>ème</sup> position		3 <sup>ème</sup> position	
		épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2
groupe haptique	moyenne	31,18	29,47	29,09	30,46	28,83	29,02
	écart-type	8,85	7,78	9,35	7,52	6,57	8,03
groupe auditif	moyenne	29,93	20,99	26,38	21,87	26,73	21,52
	écart-type	12,26	8,81	11,91	9,95	10,65	9,57

Tableau XXXVIII : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et de la position de la cible.

Les résultats montrent un effet significatif de l'épreuve ( $F(1,14)=4.83$ ,  $p=.045$ ) avec une diminution des temps d'exploration à l'épreuve 2. Une tendance à la significativité est également présente pour l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=3.84$ ,  $p=.07$ ). Les contrastes indiquent que le groupe auditif diminue significativement ses temps d'exploration ( $p=.011$ ) et diffère par conséquent du groupe haptique aussi bien à l'épreuve 1 ( $p=.001$ ) qu'à l'épreuve 2 ( $p=.002$ ). En revanche, à l'épreuve 1, les deux groupes sont

semblables ( $p=.291$ ). Les effets principaux du groupe ( $F(1,14)=1.51$ ,  $p=.24$ ) et de la position ( $F(2,28)=1.66$ ,  $p=.208$ ) ne sont pas significatifs. Les interactions groupes x positions ( $F(2,28)=0.47$ ,  $p=.628$ ) et groupes x positions x épreuves ( $F(2,28)=0.27$ ,  $p=.766$ ) ne sont pas non plus significatives. Une légère tendance se dessine en revanche, pour l'interaction positions x épreuves ( $F(2,28)=2.39$ ,  $p=.11$ ). Les contrastes indiquent que les items avec la cible en première position sont explorés plus longtemps que les autres à l'épreuve 1. Cette différence disparaît à l'épreuve 2 où toutes les figures sont explorées aussi longtemps les unes que les autres.

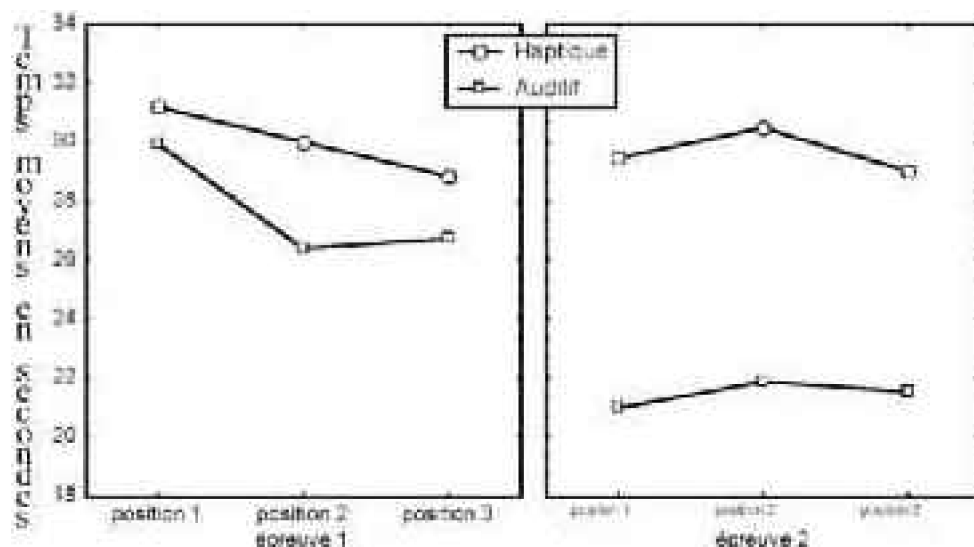


Figure 58 : Moyennes des temps d'exploration en fonction du groupe, de l'épreuve et de la position de la cible.

### 3-1-4 Discussion générale sur la position de la cible

Il y a un effet de la position pour le nombre de bonnes réponses mais pas pour les amplitudes d'erreurs. Cependant, l'effet de la position sur le nombre de bonnes réponses doit être tempéré par la présence d'un item supplémentaire pour la position 2. Si nous ne tenons pas compte de cette deuxième position le nombre de bonnes réponses est équivalent entre les positions 1 et 3. Ceci nous laisse supposer que la position de la cible n'est pas un facteur discriminant. Le nombre de bonnes réponses et l'amplitude des erreurs sont indépendants de la position de la cible. Autrement dit, la position de la cible n'augmente pas la difficulté des items. De plus, les effets de l'entraînement ne passent pas par la position de la cible. C'est-à-dire que les sujets n'améliorent pas leurs performances pour une position particulière. L'effet se voit sur la totalité des positions. Ce point indique une absence de lien entre difficulté des items et position de la cible.

Les analyses du temps d'exploration ne montrent pas d'effet de la position. Le temps est identique pour toutes les positions. Cependant, une tendance existe si nous prenons en compte l'épreuve. Ainsi, à l'épreuve 1, la position 1 est la position pour laquelle les items sont le plus longuement explorés. Toutefois, cette différence ne persiste pas à l'épreuve 2. Nous pouvons peut-être interpréter ce résultat comme une surprise des sujets à trouver la cible en première position. Cette position leur a peut-être fait croire à un piège et ils auraient compensé cette impression par une vérification plus longue. Nous

retrouvons également la différence entre les groupes auditif et haptique à l'épreuve 2 avec un groupe auditif plus rapide. La position de la cible n'étant pas un indicateur de difficulté, nous ne pouvons pas débattre notre hypothèse sur les temps d'exploration même si les temps ne sont pas différents quelle que soit la position. Les résultats ont en effet montré que les items étaient tout autant réussis que la cible soit en première, seconde ou troisième position.

### 3-2 Le statut visuel

Comme pour les analyses précédentes, nous devrions obtenir un effet du groupe avec des performances pour les aveugles précoces et tardifs supérieures à celles des voyants. De plus, nous avons vu que la position de la cible n'était pas un indicateur de difficulté des items, par conséquent, nous ne devrions pas obtenir d'effet de la position, ni de l'interaction positions x épreuves. De plus, l'amélioration des performances devrait être repérée pour tous les groupes et toutes les positions. De ce fait, nous ne devrions pas obtenir d'autres effets que ceux du groupe et de l'épreuve. Rappelons également que nous devons tenir compte dans l'analyse, de la présence d'un item supplémentaire pour la position deux par rapport aux autres. D'autre part, nous devrions retrouver une différence entre les voyants et les aveugles précoces mais pas entre les voyants et les aveugles tardifs au niveau du temps d'exploration. En effet, nous postulons que le temps d'exploration traduit un mode de traitement de l'information. De ce fait, quelles que soient les conditions, le temps d'exploration ne devrait pas beaucoup varier, d'autant plus que la difficulté ne semble pas différente quelle que soit la position.

#### 3-2-1 Le nombre de bonnes réponses

Nous avons réalisé une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x position de la cible [1<sup>ère</sup> vs 2<sup>ème</sup> vs 3<sup>ème</sup> position]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

	Position	Epreuve 1			Epreuve 2		
		1 <sup>re</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	1 <sup>re</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>
voyants aveuglés	moyenne	6,625	7,75	6,125	9,125	10,13	8,875
	moyenne log	0,879	0,917	1,322	0,992	1,026	0,956
	écart-type	1,061	2,866	1,727	2,532	3,227	4,121
	écart-type log	0,061	0,165	0,123	0,119	0,151	0,204
aveugles précoces	moyenne	9,5	10,25	9,875	11,38	8,5	10
	moyenne log	1,016	1,045	1,027	1,09	0,968	1,028
	écart-type	1,773	1,982	2,357	1,506	2,204	2,673
	écart-type log	0,075	0,079	0,093	0,055	0,1	0,121
aveugles tardifs	moyenne	8,75	9,375	9,25	10,88	9	10
	moyenne log	0,986	1,012	1,005	1,073	0,997	1,036
	écart-type	1,282	1,408	1,832	1,126	1,309	1,927
	écart-type log	0,056	0,061	0,074	0,043	0,058	0,076

Tableau XXXIX : Moyennes et écarts-types du nombre de bonnes réponses selon le groupe, l'épreuve et la position de la cible.

Aucune interaction n'est significative. En revanche, les effets principaux du groupe ( $F(2,21)=5.1$ ,  $p=.016$ ), de la position ( $F(2,42)=4.96$ ,  $p=.012$ ) et de l'épreuve ( $F(1,21)=15.64$ ,  $p=.0007$ ) sont significatifs. Les contrastes indiquent une augmentation du nombre de bonnes réponses entre les épreuves. Le groupe des voyants obtient moins de bonnes réponses que les aveugles tardifs ( $p=.017$ ) et les aveugles précoces ( $p=.008$ ). Au niveau de la position, une différence est relevée entre la position 2 et les positions 1 ( $p=.046$ ) et 3 ( $p=.004$ ) avec plus de bonnes réponses pour la position 2. Toutefois, le nombre d'items était supérieur pour cette deuxième position. Pour vérifier cette différence, nous avons ramené par un produit en croix le nombre moyen de bonnes réponses de la position 2 à 13 au lieu de 14. Le nombre de bonnes réponses devient 9,17. Les moyennes des bonnes réponses pour les positions un et trois sont respectivement de 8.94 et 9.73. La moyenne de la position deux s'inscrit entre les deux autres moyennes. La différence observée résulte donc bien de l'item supplémentaire et non d'une différence de performances selon la position.

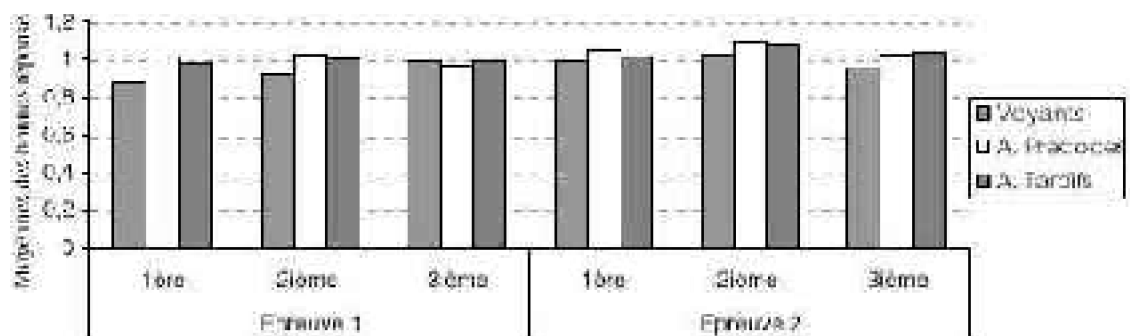


Figure 59 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction de la position de la cible, du groupe et de l'épreuve.

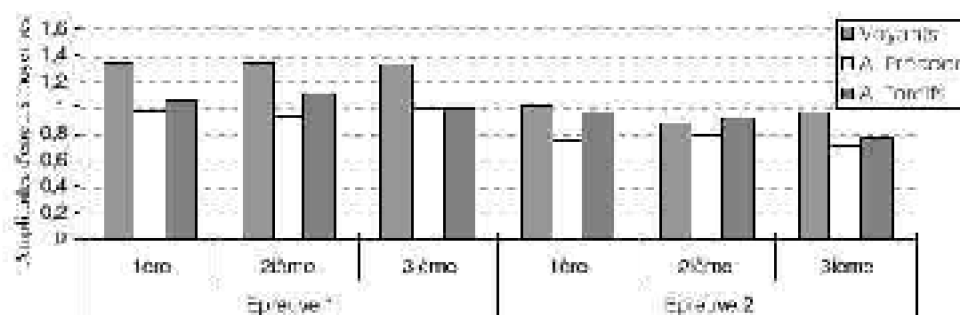
### 3-2-2 Les amplitudes d'erreurs

Nous avons effectué une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x position de la cible [1<sup>ère</sup> vs 2<sup>ème</sup> vs 3<sup>ème</sup> position]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

	Position	Épreuve 1			Épreuve 2		
		1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>
voyants aveuglés	moyenne	21,5	23,25	21,13	11,75	10,75	14,5
	moyenne log	1,338	1,34	1,322	1,004	0,578	0,959
	écart type	5,632	11,06	7,511	9,468	9,498	12,73
	écart-type log	0,121	0,219	0,153	0,326	0,502	0,566
aveugles précoces	moyenne	11,25	6,75	10,25	6,25	11,25	6,75
	moyenne log	0,98	0,754	0,936	0,792	0,993	0,766
	écart-type	9,13	5,548	6,453	4,59	5,12	6,585
	écart-type log	0,146	0,41	0,417	0,257	0,408	0,481
aveugles tardifs	moyenne	10,5	9	13,5	8,25	9,5	6,5
	moyenne log	1,048	0,958	1,098	0,921	0,996	0,767
	écart-type	2,976	5,127	6,655	4,464	3,505	4,504
	écart-type log	0,115	0,196	0,286	0,212	0,164	0,379

Tableau XL : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs selon le groupe, l'épreuve et la position de la cible.

Les résultats montrent un effet significatif de l'épreuve ( $F(1,21)=16.45$ ,  $p=.0006$ ) avec une diminution des amplitudes d'erreurs. Une tendance est également observable pour l'effet principal du groupe ( $F(2,21)=3.33$ ,  $p=.056$ ) avec une différence entre les voyants et les aveugles précoces ( $p=.019$ ) mais pas avec les aveugles tardifs ( $p=.125$ ). Les autres effets ne sont pas significatifs.



aveugles précoces ( $p=.019$ ) mais pas avec les aveugles tardifs ( $p=.125$ ). Les autres effets ne sont pas significatifs.

Figure 60 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  selon la position de la cible, le groupe et l'épreuve

### 3-2-3 Les temps d'exploration

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [voyants vs aveugles précoces vs aveugles tardifs] x épreuves [1 vs 2] x positions [1<sup>ère</sup> vs 2<sup>ème</sup> vs 3<sup>ème</sup> position]) a été réalisée.

		1 <sup>ère</sup> position		2 <sup>ème</sup> position		3 <sup>ème</sup> position	
		épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2	épreuve1	épreuve2
Voyants	moyenne	31,18	29,47	29,90	30,16	28,83	29,02
Aveugles	écart-type	8,85	7,78	9,35	7,52	6,67	8,03
Aveugles	moyenne	20,33	14,58	17,52	13,74	16,86	12,83
Précoces	écart-type	21,3	11,08	19,67	10,86	16,38	9,24
Aveugles	moyenne	27,04	32,79	27,18	28,58	25,44	28,23
Tardifs	écart-type	14,54	25,33	14,71	23,68	12,44	20,61

Tableau XLI : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et de l'écart entre les distracteurs.

Un effet significatif de la position est observé ( $F(2,42)=5.14$ ,  $p=.01$ ) avec des temps d'exploration supérieurs pour la première position par rapport à la position trois ( $p=.003$ ) et une tendance par rapport à la position deux ( $p=.08$ ). Une tendance à la significativité est également notée pour l'effet principal de l'épreuve ( $F(1,21)=2.54$ ,  $p=.103$ ) avec des temps d'exploration qui tendent à être plus courts pour les aveugles précoces par rapport aux voyants ( $p=.052$ ) et aux aveugles tardifs ( $p=.083$ ). Par ailleurs, les temps d'exploration des voyants et des aveugles tardifs ne diffèrent pas ( $p=.813$ ). Les autres



effets et interactions ne sont pas significatifs.

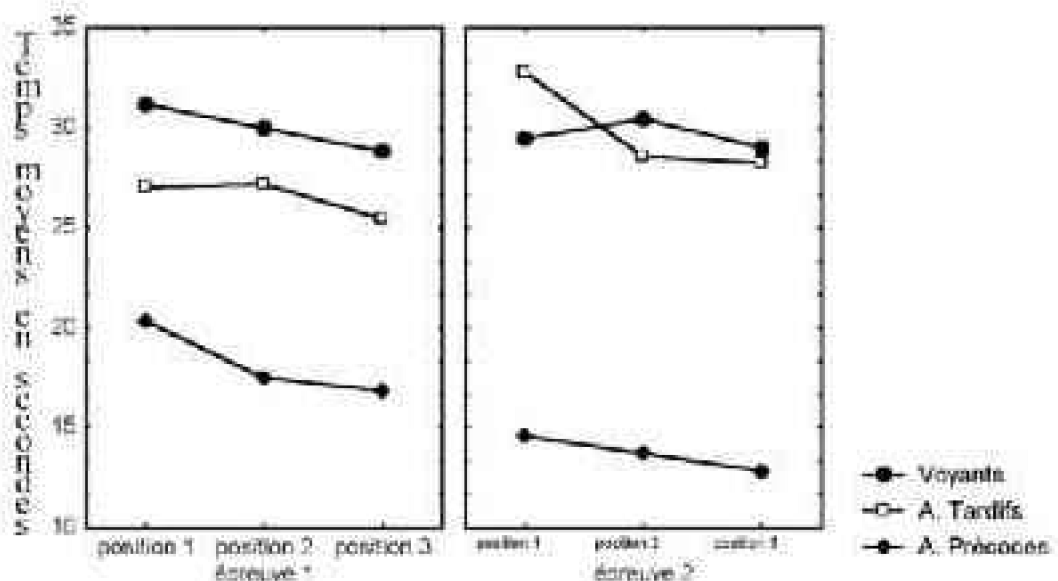


Figure 61 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et de la position de la cible.

### 3-2-4 Discussion générale

Les résultats nous indiquent que les performances des aveugles précoces sont supérieures à celles des voyants. En revanche, l'effet n'est significatif pour les aveugles tardifs et les voyants que pour le nombre de bonnes réponses. Les amplitudes d'erreurs ne permettent pas de distinguer les deux groupes. Or, les aveugles tardifs ont plus de bonnes réponses que les voyants, cela signifie qu'ils font des erreurs de plus grande amplitude. Par ailleurs, l'effet de la position n'est pas significatif. Les différences observées sont dues à l'item supplémentaire pour la position deux. Comme pour l'analyse avec les voyants, nous en concluons que la position de la cible n'est pas un facteur de difficulté. De plus, l'amélioration des performances se révèle pour toutes les positions.

Au niveau des temps d'exploration, nous trouvons une différence entre les aveugles précoces et les deux autres groupes. Les voyants et les aveugles tardifs explorent plus longtemps que les aveugles précoces. D'autre part, la position un induit des temps d'exploration plus longs que les autres positions. Alors que cette différence disparaissait chez les voyants, dans cette analyse, les temps d'exploration semblent rester plus longs que les autres à l'épreuve 2 (figure 61) chez les aveugles et notamment les aveugles tardifs. Nous avons interprété cette différence pour les voyants comme une vérification accrue pour ces items lors de la première épreuve, et la diminution observée à la deuxième épreuve, comme une prise d'assurance. Le fait que les aveugles aient des temps d'exploration plus longs est donc difficilement interprétable. D'autant plus que les performances ne sont pas meilleures pour cette position. Cette constatation est peut-être à mettre en lien avec le nombre d'aller-retour entre la cible et le modèle autorisé par cette proximité. En effet, un va et vient entre le modèle et la cible est plus aisé lorsque la cible est proche du modèle que lorsqu'elle est éloignée. Or, plus les sujets explorent, plus ils

risquent de douter et de ce fait de se tromper. Ceci explique peut-être pourquoi, ces items ne sont pas plus faciles alors même qu'ils sont physiquement plus près du modèle.

## 4- L'influence de la figure

Jusqu'à présent, nous avons envisagé la difficulté des items en lien avec l'écart entre les distracteurs et le modèle, avec la ressemblance des distracteurs. Mais nous n'avons encore parlé du rôle de la figure. En effet, les figures étaient plus ou moins allongées. Or, Heller, Calcaterra, Burson et Green (1997) ont montré que la perception des longueurs est surestimée de façon proportionnelle à la longueur réelle. Cet effet a été observé pour des figures d'au moins 2,5mm de longueur. Nous devrions donc retrouver l'incidence de ce facteur sur les performances. Les figures les plus allongées devraient être perçues plus grandes que les autres. L'amélioration des performances devrait donc passer par les figures les plus longues. Cependant, la longueur de nos figures est comprise entre 17 et 25mm. De ce fait, la surestimation de la longueur ne devrait apparaître que pour la figure la plus allongée. Les performances sur cette figure devraient être supérieures aux autres dès la première épreuve. Nous postulons que l'entraînement va accentuer cette supériorité des performances à la deuxième épreuve. Cependant, pendant les entraînements, les sujets vont avoir un espace pour affiner leur exploration et abaisser le seuil de leur perception, dans la limite des seuils physiologiques. Ce qui ne veut pas dire que les sujets vont développer leur perception mais qu'ils vont sélectionner les informations pertinentes et affiner leurs procédés exploratoires. Ils seront plus attentifs aux variations et plus précis dans leur analyse des différences. Le statut visuel ne devrait donc pas être un critère de différenciation, c'est-à-dire que les voyants comme les aveugles tardifs devraient obtenir des résultats comparables aux aveugles précoces. En revanche, le statut haptique devrait intervenir, c'est-à-dire que les voyants devraient être moins performants que les aveugles. Pour résumer, nous pensons que les sujets vont réussir pour les mêmes figures quel que soit leur groupe. En revanche, ils vont obtenir des performances différentes selon leur expérience haptique. L'entraînement va permettre aux sujets inexpérimentés (voyants) de combler en partie leurs lacunes en terme de modalité haptique et de réduire l'écart entre eux et les groupes plus expérimentés en la matière (aveugles tardifs et précoces).

D'autre part, nous avons postulé que le temps d'exploration traduit plus un mode de traitement que la difficulté des items. Nous pensons donc observer des temps d'exploration plus longs pour les voyants et les aveugles tardifs et ce, quelle que soit la figure. En revanche, des variations peuvent apparaître entre les figures. Lors de l'analyse des temps d'exploration pour les items avec 2 ou 4mm et plus d'écart entre la cible et le distracteur le plus ressemblant, nous avons obtenu des temps d'exploration inférieurs pour les écarts les plus difficiles à repérer (2mm). Cette différence s'expliquait par une limite physiologique de la perception des différences. Dans le cadre des figures, ce seuil n'intervient pas directement si ce n'est dans la comparaison entre les figures. Ainsi, un effet de la difficulté devrait apparaître sous la forme de variation des temps d'exploration.

Ainsi, la figure la plus allongée devrait être repérée plus rapidement que les autres.

## 4-1 Les voyants

### 4-1-1 Performances en terme de bonnes réponses

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes[haptique vs auditif] x épreuves[épreuve 1 vs épreuve 2] x figures[A, B, C, D, E]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été appliquée.

		Épreuve 1					Épreuve 2				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
groupe haptique	moyenne	3,75	3,5	4	4	5,25	7,25	4,5	5	5,125	5,25
	moyenne log	0,643	0,625	0,683	0,685	0,775	0,915	0,726	0,711	0,769	0,77
	écart type	1,909	1,601	1,411	1,309	1,832	0,707	1,411	2,619	1,885	2,188
	écart type log	0,191	0,174	0,128	0,12	0,159	0,038	0,122	0,31	0,136	0,163
groupe auditif	moyenne	3,875	3	4,125	4,25	5	3,5	2,75	4	5	5
	moyenne log	0,673	0,576	0,696	0,711	0,755	0,613	0,557	0,659	0,746	0,688
	écart type	1,246	1,512	1,458	1,165	2	2,07	1,036	2,138	2,07	3,071
	écart type log	0,126	0,162	0,114	0,095	0,155	0,2	0,133	0,206	0,199	0,351

Tableau XLII : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction de l'épreuve, de la figure et du groupe.

Les effets principaux du groupe ( $F(1,14)=1.84$ ,  $p < .20$ ) et de l'épreuve ( $F(1,14)=1.41$ ,  $p=.25$ ) ne sont pas significatifs. En revanche, l'interaction groupes x épreuves est significative ( $F(4,56)=4.97$ ,  $p<.043$ ). L'étude des contrastes nous révèle, comme pour les performances globales, que les groupes haptique épreuve 1 et auditif épreuves 1 et 2 ne sont pas différents. D'autre part, le groupe haptique a amélioré significativement ses performances ( $p < .03$ ) entre les deux épreuves et s'est différencié du groupe auditif (épreuve 1  $p<.03$  ; épreuve 2  $p<.007$ ). Ces données confirment que nos groupes sont bien issus de la même population. Les différences observées seront donc bien le résultat des effets de l'entraînement.

D'autre part, un effet principal de la figure ( $F(4,56)=2.87$ ,  $p<.03$ ) est observé (figure 62). L'étude des contrastes montre des différences entre la figure B et les figures A ( $p<.031$ ), D ( $p<.012$ ) et E ( $p=.003$ ). Les autres combinaisons ne sont pas significatives.

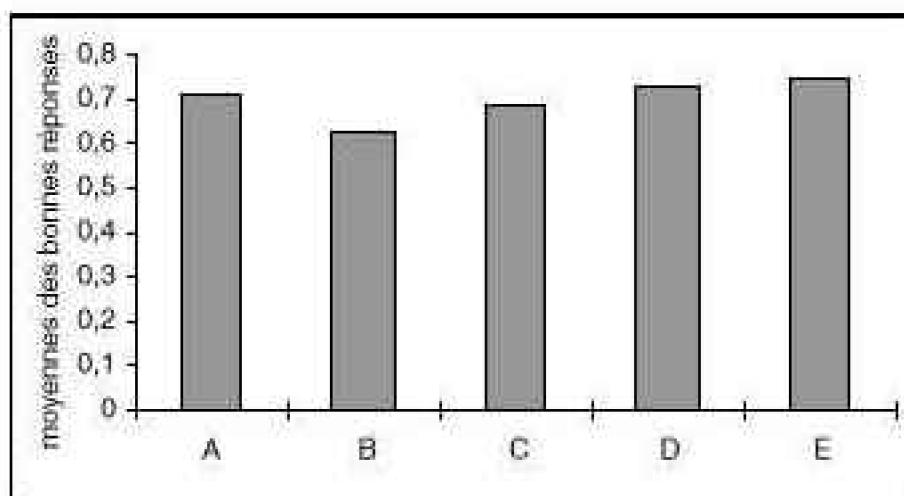


Figure 62 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction de la figure.

Les interactions épreuves x figures ( $F(4,56)=.023$ ,  $p<.387$ ), groupes x figures ( $F(4,56)=1.03$ ,  $p<.398$ ), groupes x épreuves x figures ( $F(4,56)=1.22$ ,  $p<.32$ ) ne sont pas significatives. Cependant, nos hypothèses portent sur le type de figures, or, le groupe auditif n'a pas amélioré ses performances, ce qui masque peut-être des variations ou des tendances pour le groupe haptique. Par conséquent, nous allons étudier les contrastes. Pour l'interaction épreuves x figures, seule une tendance à la significativité émerge pour la figure A ( $p=.053$ ) entre les épreuves 1 et 2. Les contrastes de l'interaction groupes x figures révèlent une différence significative entre groupes auditif et haptique pour la figure A ( $p=.022$ ) et une tendance pour la figure B ( $p=.062$ ). L'étude des contrastes de l'interaction groupe x figures x épreuves (tableau XLIII) nous confirme qu'aucune différence n'est présente entre les groupes haptique et auditif à l'épreuve 1, haptique épreuve 1 et auditif épreuve 2 ou entre les épreuves 1 et 2 pour le groupe auditif, et ce quelles que soient les figures.

	Haptique 1/2	Auditif 1/2	Haptique 1 / Auditif 1	Haptique 2 / Auditif 2	Haptique 1 / Auditif 2	Haptique 2 / Auditif 1
A	.0007*	.435	.689	.0002*	.702	.002*
B	.190	.811	.516	.030*	.376	.053*
C	.717	.633	.865	.504	.758	.085
D	.277	.645	.739	.765	.428	.419
E	.954	.383	.791	.282	.257	.836

Tableau XLIII : Principaux contrastes obtenus pour l'interaction épreuves x groupes x figures.

La notation 1/ 2 indique la comparaison des épreuves 1 et 2. Ainsi haptique 1 / auditif 2 désigne la comparaison du groupe haptique pour l'épreuve 1 au groupe auditif pour l'épreuve 2.

En revanche, une différence émerge pour le groupe haptique entre les épreuves 1 et 2 pour la figure A ( $p=.0007$ ). Les performances des autres figures n'ont pas évolué de manière significative. Rappelons que la figure A correspond au rectangle le plus allongé. La figure A montre également une différence très significative pour la comparaison des

groupes haptique épreuve 2 et auditif épreuve 1 ( $p=.002$ ) et pour la comparaison des groupes haptique et auditif à l'épreuve 2 ( $p=.0002$ ). Une différence apparaît également au niveau de la figure B, pour l'épreuve 2 entre les groupes haptique et auditif ( $p=.031$ ) et une tendance pour les groupes haptique épreuve 2 et auditif épreuve 1 ( $p=.053$ ). Cependant cette différence n'est pas significative pour le groupe haptique entre les épreuves 1 et 2.

#### 4-1-2 Discussion

Les résultats révèlent ainsi une amélioration globale des performances passant essentiellement par une amélioration du nombre de bonnes réponses pour la figure la plus allongée, la figure A. Cette amélioration, très ciblée, ne permet donc pas de rendre l'interaction entre l'épreuve et la figure significative.

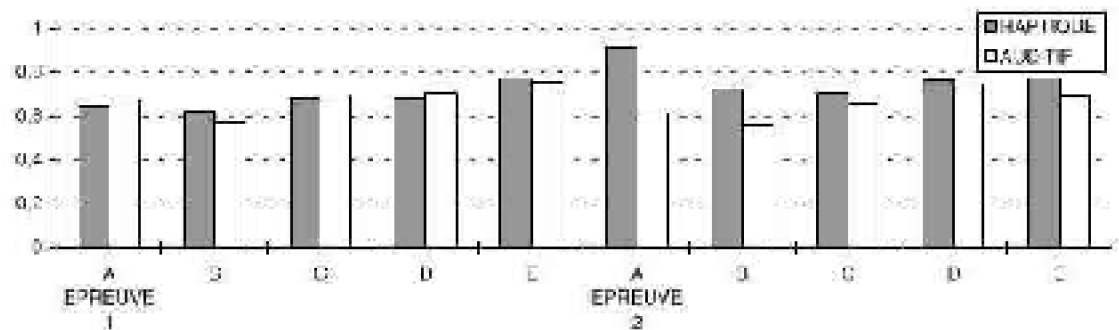


Figure 63 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe, de l'épreuve et de la figure.

#### 4-1-3 Performances en terme d'amplitude d'erreurs

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes[haptique vs auditif] x épreuves[épreuve 1 vs épreuve 2] x figures[A, B, C, D, E]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été effectuée.

		Épreuve 1					Épreuve 2				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
groupe haptique	moyenne	17.5	13	10.5	13.25	12.25	2.25	7.5	8.75	9.75	9.25
	moyenne log	1,188	1,109	1,027	1,127	0,939	0,4	0,895	0,818	0,848	0,797
	écart-type	9,426	5,451	5,099	5,445	10,78	2,252	2,915	7,704	9,347	9,057
	écart-type log	0,327	0,207	0,181	0,162	0,357	0,352	0,193	0,161	0,174	0,336
groupe auditif	moyenne	17.25	15.5	10.5	10.75	10.25	18	12.75	11.25	8.75	12.75
	moyenne log	1,245	1,198	1,005	1,025	0,878	1,193	1,134	1,014	0,868	0,785
	écart-type	5,548	5,099	5,318	5,548	8,972	10,09	2,121	7,086	6,135	16,7
	écart-type log	0,124	0,144	0,26	0,215	0,473	0,339	0,165	0,289	0,41	0,636

Tableau XLIV : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction de l'épreuve, de la figure et du groupe.

Les résultats montrent une absence d'effet principal au niveau du groupe ( $F(1,14)=1.352$ ,  $p=.264$ ). En revanche, l'interaction groupes x épreuves est significative ( $F(1,14)=4.65$ ,  $p=.049$ ). L'étude des contrastes indique une différence très significative

entre les épreuves 1 et 2 pour le groupe haptique ( $p < .002$ ), entre les groupes haptique épreuve 2 et auditif épreuves 1 ( $p < .003$ ) et 2 ( $p < .014$ ) et une absence de différences pour toutes les autres combinaisons. Le groupe auditif n'ayant pas amélioré ses performances, seul le groupe haptique à l'épreuve 2 est responsable de l'interaction. Ceci explique également que l'effet groupe n'est pas significatif : le groupe haptique n'ayant des performances différentes qu'à l'épreuve 2, la moyenne des amplitudes d'erreurs sur les deux épreuves ne permet pas l'émergence d'une différence. Un effet principal de l'épreuve est cependant relevé par l'analyse ( $F(1,14)=10.99$ ,  $p=.005$ ) révélant ainsi des amplitudes d'erreurs plus faibles à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1.

L'effet principal de la figure (figure 64) n'est pas significatif ( $F(4,56)=2.17$ ,  $p=.084$ ), l'interaction épreuves x figures non plus ( $F(4,56)=1.86$ ,  $p=.13$ ). Une tendance semble cependant se mettre en place.

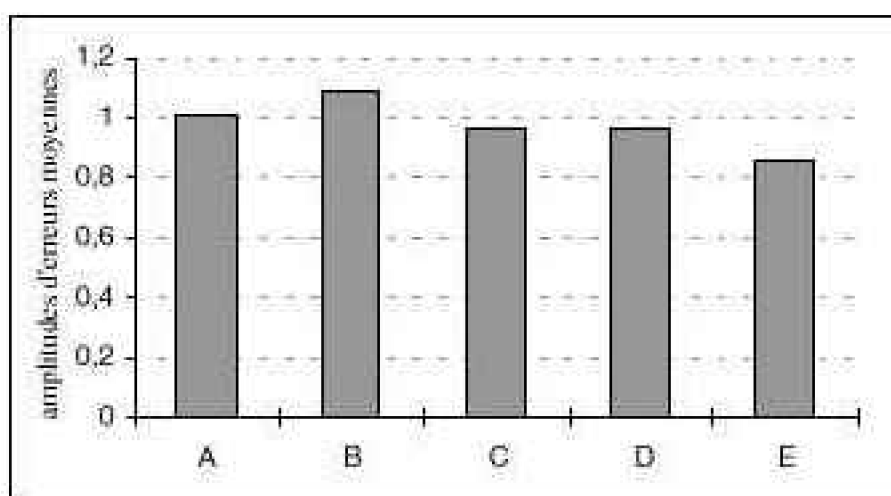


Figure 64 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en fonction des figures en  $\log(x+1)$ .

En revanche l'interaction groupes x figures est significative ( $F(4,56)=3.37$ ,  $p=.015$ ). L'étude des contrastes indique que les amplitudes d'erreurs effectuées par le groupe haptique tendent à être plus faibles pour les figures A que pour les figures D ( $p=.077$ ) et surtout B ( $p=.057$ ). Alors que pour le groupe auditif, les figures de type E et D sont les figures pour lesquelles les amplitudes d'erreurs sont les plus faibles notamment en comparaison des figures de type A ( $p=.0007$  pour E et  $p=.014$  pour D) et B ( $p=.003$  pour E et  $p=.047$  pour D). Les comparaisons entre les groupes auditif et haptique (tableau XLV) montrent des différences entre les figures de type A pour le groupe auditif et toutes les figures pour le groupe haptique.

Tableau XLV : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  selon le groupe et la figure.

	A	B	C	D	E
Haptique	0,794	1,003	0,922	0,988	0,898
Auditif	1,219	1,166	1,009	0,946	0,831

Les figures de type A pour le groupe auditif engendrent des amplitudes d'erreurs plus élevées que le groupe haptique quelle que soit la figure. De même, les figures de type B

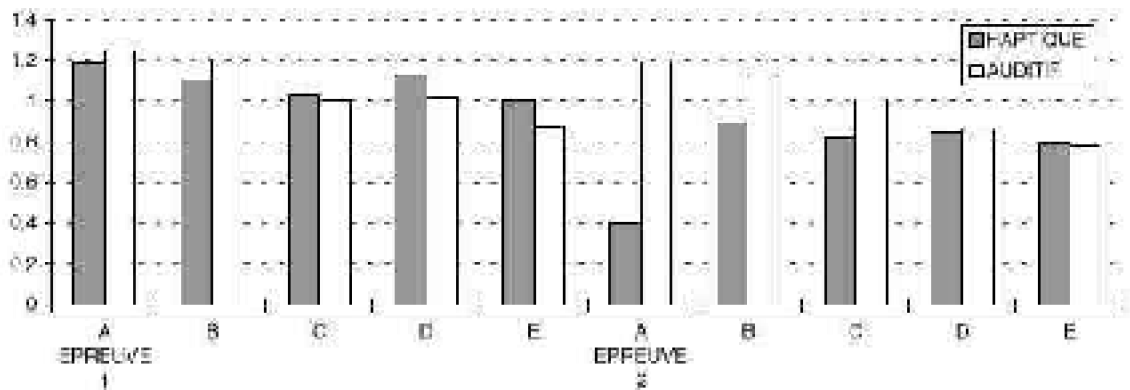
(groupe auditif) entraînent plus souvent des amplitudes d'erreurs fortes que les figures C, E et A pour le groupe haptique. Un changement a donc eu lieu au cours de l'entraînement.

Tableau XLVI : Comparaison des groupes pour l'interaction groupes x figures. Valeurs du p.

		Groupe haptique				
		A	B	C	D	E
Groupe auditif	A	.0002	.05	.008	.036	.004
	B	.001	.138	.028	.105	.016
	C	.05	.956	.423	.842	.307
	D	.162	.600	.824	.704	.655
	E	.727	.116	.402	.153	.539

Cependant, l'interaction groupes x épreuves x figures n'est pas significative. Elle révèle seulement une petite tendance ( $F(4,56)=2.01$ ,  $p=.106$ ). Pour répondre à nos hypothèses, nous allons nous autoriser à étudier les contrastes (figure 65). Les amplitudes d'erreurs du groupe auditif n'ont pas évolué entre les deux épreuves et ce quelle que soit la figure ( $p$  entre .241 et .943). Les amplitudes d'erreurs pour le groupe haptique ont diminué de manière très significative entre les épreuves 1 et 2 pour la figure A ( $p<.000001$ ) et significative pour D ( $p=.0397$ ). Les autres valeurs varient entre .118 et .132, et ne sont donc pas significatives mais sont tout de même moins élevées que celles du groupe auditif ( $p$  entre .241 et .943). Aucune différence n'apparaît entre les groupes haptique et auditif à l'épreuve 1, et haptique épreuve 1 et auditif épreuve 2, confirmant la similarité des groupes en début d'expérience. Par contre, des différences surgissent entre les groupes au niveau de l'épreuve 2 et entre les groupes haptique épreuve 2 et auditif épreuve 1. Dans les deux cas, des différences sont présentes pour les figures de type A avec des significativités inférieures ou égales à .000001. Une différence existe également pour les figures de type B entre haptique 2 et auditif 1 ( $p=.028$ ), mais cette comparaison, ne révèle qu'une tendance ( $p=.081$ ) pour les groupes haptique et auditif à l'épreuve 2. Les autres combinaisons ne sont pas significatives.

Figure 65 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  selon le groupe, l'épreuve et la figure.



#### 4-1-4 Discussion générale pour les amplitudes d'erreurs selon les figures.

Dans le cadre de l'interaction groupes x figures, le groupe auditif, qui est le groupe contrôle, présente des différences entre les figures de types A et les figures de type C, D et E. Or, ces différences se retrouvent également dans la comparaison des groupes auditif et haptique. Est-ce donc que les figures de type C, D et E obtiennent les mêmes amplitudes d'erreurs aux deux épreuves ? Nous savons qu'il y a une différence entre les épreuves ( $p=.005$ ) et un effet de l'interaction groupes x figures ( $p=.015$ ), pourtant, il n'y a pas d'effet de l'interaction épreuves x figures ( $p=.131$ ). Comment pouvons nous expliquer ce phénomène ? Les contrastes de l'interaction épreuves x figures, bien que non significative, nous donne des éléments de réponses. Au cours de l'épreuve 1, les figures de type A se distinguent dans l'amplitude des erreurs, des figures de type C ( $p=.037$ ) et E ( $p=.005$ ) et les figures de type B, de celles de type E ( $p=.025$ ). En observant les moyennes des amplitudes d'erreurs (tableau XLIV), nous pouvons constater que les figures de type A et B, induisent une amplitude d'erreurs plus élevée que les figures E ou C. Or, pour l'épreuve 2, nous n'obtenons plus de différences pour les figures de type A avec les figures C ( $p=.206$ ) et E ( $p=.952$ ). En revanche, une différence apparaît entre A et B ( $p=.023$ ). De plus, la différence est maintenue entre B et E ( $p=.020$ ). Nous pouvons également observer que les figures de type A ont des amplitudes d'erreurs très différentes entre les épreuves 1 et 2 ( $p=.00004$ ). Le seul autre type de figure qui bénéficie de cette amélioration entre les épreuves est la figure D ( $p=.024$ ). Aucune autre figure ne voit ses amplitudes d'erreurs diminuer entre les épreuves. Pourtant, un effet de l'épreuve a été constaté ( $p=.005$ ) : cette différence serait donc essentiellement due aux figures de type A. Le groupe auditif (groupe contrôle) interférant peut-être avec les données du groupe haptique, nous devons les isoler. Pour cela, nous allons étudier les contrastes de l'interaction groupes x épreuves x figures, même si l'effet n'est pas réellement significatif ( $p=.106$ ). Pour le groupe haptique, les amplitudes d'erreurs des figures de type A ont fortement diminué entre les épreuves 1 et 2 ( $p<.000001$ ). Ces figures bénéficient non seulement de la plus forte diminution de l'amplitude des erreurs mais deviennent également les figures avec la plus faible amplitude d'erreurs. A l'épreuve 2, les figures de type A sont différentes de toutes les autres figures ( $p$  entre  $.0004$  et  $.004$ ). Or, à la première épreuve, aucune différence n'est enregistrée entre les figures. L'amélioration est donc globale pour l'ensemble des figures mais pas suffisante pour être significative pour chaque figure prise individuellement, exceptée pour les figures de type A ( $p<.000001$ ) et D ( $p=.04$ ). Les données ne permettent donc pas la mise en évidence d'un effet de la figure lors de l'analyse, d'autant plus que le groupe auditif n'a eu aucune amélioration et pondère donc les différences. De ce fait, les résultats mettent seulement en évidence que les figures A et B recueillent des amplitudes d'erreurs plus fortes que les figures de type C, D ou E. Le fait que les figures de type A engendrent moins d'amplitudes d'erreurs que les autres figures à l'épreuve 2 pour le groupe haptique est masqué au premier abord.

#### 4-1-5 Les temps d'exploration

Une analyse de la variance à trois facteurs a été réalisée (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x [figures [A, B, C, D vs E]) avec mesures répétées sur les deux



derniers facteurs.

		Epreuve 1					Epreuve 2				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
groupe	moyenne	27,06	40,73	31,40	28,25	31,31	28,40	33,30	33,28	28,81	24,41
haptique	écart-type	6,724	7,60	8,664	8,034	10,20	9,024	10,95	10,06	7,319	7,433
groupe	moyenne	26,33	29,74	26,85	28,62	26,56	22,66	23,85	22,38	20,27	17,90
auditif	écart-type	10,38	14,74	10,66	12,16	12,67	9,147	12,14	10,19	9,425	9,246

Tableau XLVII : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction de l'épreuve, de la figure et du groupe.

L'effet principal du groupe ( $F(1,14)=1.44$ ,  $p=.25$ ) n'est pas significatif. En revanche, les effets de la figure ( $F(4,56)=3.57$ ,  $p=.012$ ) et de l'épreuve ( $F(1,14)=4.59$ ,  $p=.0503$ ) le sont. Les temps d'exploration sont moins longs lors de l'épreuve 2. De plus, les figures A, D et E sont les figures ayant les temps d'exploration les plus courts. L'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=4.27$ ,  $p=.058$ ) tend également vers la significativité et exprime une diminution des temps d'exploration uniquement pour le groupe auditif ( $p=.010$ ). Les durées d'exploration du groupe haptique n'évoluent pas ( $p=.959$ ). L'interaction figures x épreuves est également significative ( $F(4,56)=3.82$ ,  $p=.008$ ). Les contrastes indiquent que les temps d'exploration des figures A ( $p=.424$ ), B ( $p=.255$ ) et C ( $p=.371$ ) ne varient pas entre les épreuves. En revanche, une diminution des durées d'exploration est observée pour les figures D ( $p=.009$ ) et E ( $p=.000001$ ).

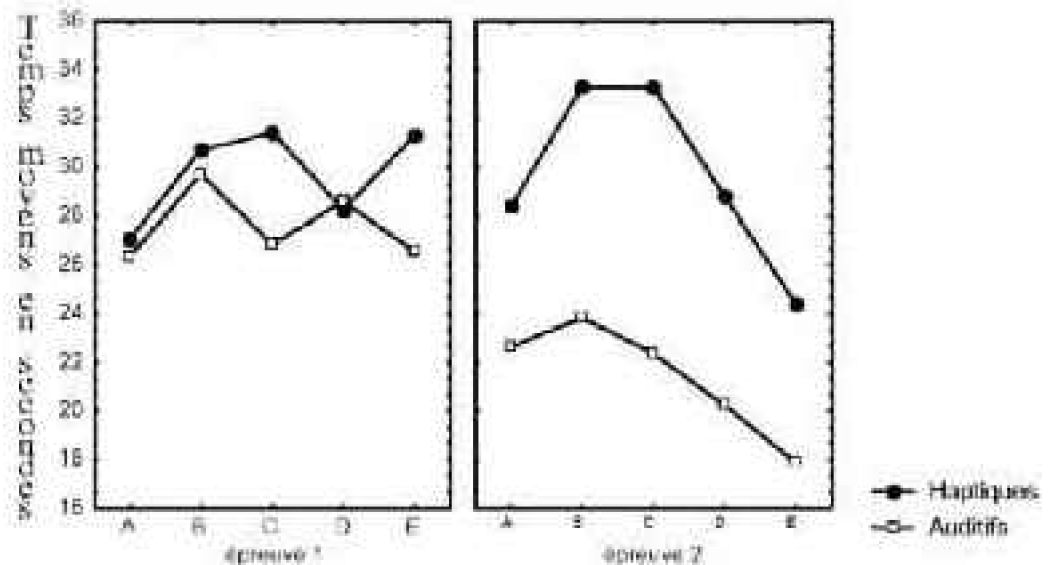


Figure 66 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et de la figure.

#### 4-1-6 Discussion générale pour les figures

Un effet principal du groupe n'est observé ni pour les amplitudes d'erreurs ni pour le nombre de bonnes réponses. Cependant, un effet de l'interaction groupes x épreuves émerge pour les deux analyses. L'étude des contrastes indique que le groupe haptique améliore significativement ses performances, contrairement au groupe contrôle qui

n'évolue pas. L'absence d'effet de groupe s'explique par le fait que les deux groupes haptique et auditif sont semblables au départ. Ils se distinguent uniquement au niveau de l'épreuve 2. De ce fait, trois des quatre comparaisons sont identiques et masquent les changements survenus dans le quatrième cas.

D'autre part, un effet principal de l'épreuve est observé pour les amplitudes d'erreurs mais pas pour le nombre de bonnes réponses. Ceci signifie que les sujets, même s'ils ne parviennent pas à trouver la bonne réponse, améliorent tout de même leurs performances en diminuant leurs amplitudes d'erreurs. Cela laisse supposer qu'ils font moins de grosses erreurs, c'est-à-dire qu'ils confondent des figures plus proches après l'entraînement qu'avant. L'analyse des types d'erreurs a d'ailleurs montré que le nombre des erreurs de 6mm et plus baissait significativement lors de la seconde épreuve.

Nous obtenons un effet principal de la figure pour le nombre de bonnes réponses ( $p=.031$ ) mais pas pour les amplitudes d'erreurs ( $p=.084$ ) même si une tendance se dessine. La figure B est la figure obtenant le moins de bonnes réponses, ce qui ne signifie pas que les sujets font des erreurs de plus grandes amplitudes. L'interaction épreuves x figures n'est significative ni pour le nombre de bonnes réponses ( $p=.387$ ) ni pour les amplitudes d'erreurs ( $p=.131$ ). Pour expliquer ce résultat, nous avancerons la même explication que précédemment, à savoir que les changements observés ne pouvant résulter que du groupe haptique à l'épreuve 2, les différences sont pondérées par le groupe auditif. De la même manière, les effets de l'interaction groupes x figures sont atténués par l'épreuve 1. L'interaction n'est pas significative pour le nombre de bonnes réponses ( $p=.398$ ), en revanche, l'effet est présent pour les amplitudes d'erreurs ( $p=.015$ ). Les amplitudes d'erreurs mettent en évidence de meilleures performances pour le groupe haptique que pour le groupe auditif, notamment au niveau des figures de type A.

L'étude de l'interaction groupes x épreuves x figures nous apporte de nouvelles précisions. L'interaction n'est significative ni pour le nombre de bonnes réponses ( $p=.314$ ) ni pour les amplitudes d'erreurs ( $p=.106$ ). Cependant, l'étude des contrastes nous permet de comprendre comment les performances ont évolué à l'issue de l'entraînement en contournant l'influence du groupe auditif sur les performances, d'autant plus qu'une tendance se révèle au niveau des amplitudes d'erreurs. La différence majeure résulte d'une amélioration très significative des performances pour le groupe haptique entre les épreuves 1 et 2 et pour la figure A ( $p=.0007$  pour le nombre de bonnes réponses et  $p<.000001$  pour les amplitudes d'erreurs). L'amélioration des performances passe par la figure la plus allongée alors qu'au départ, elle fait partie des figures ayant les amplitudes d'erreurs les plus fortes. Or, nous avons vu que la perception des longueurs était surestimée pour des longueurs d'au moins 2,5mm (Heller, Calcaterra, Burson et Green, 1997). Nos résultats sont en accord avec ces observations.

De plus, la figure la plus allongée permet peut-être une recherche plus aisée du but de la tâche. En effet, du fait de la surestimation de la longueur, les sujets perçoivent mieux le critère de différenciation des figures et ils vont orienter la recherche dans le sens d'une perception de la longueur. Ils vont ainsi pouvoir résoudre la tâche avec plus d'assurance. C'est peut-être également une figure pour laquelle la mise en place des procédés métriques est plus aisée. Nous reprendrons cette question dans le chapitre consacré à l'étude des procédés d'exploration.

Au niveau des temps d'exploration, nous pouvons remarquer que les figures les mieux réussies en terme de bonnes réponses sont aussi celles pour lesquelles les temps d'exploration sont les plus brefs. Ainsi, les temps d'exploration relatent le niveau de difficulté des items. Les sujets passent moins de temps sur les items les plus faciles.

## 4-2 Le statut visuel

### 4 2-1 Le nombre de bonnes réponses

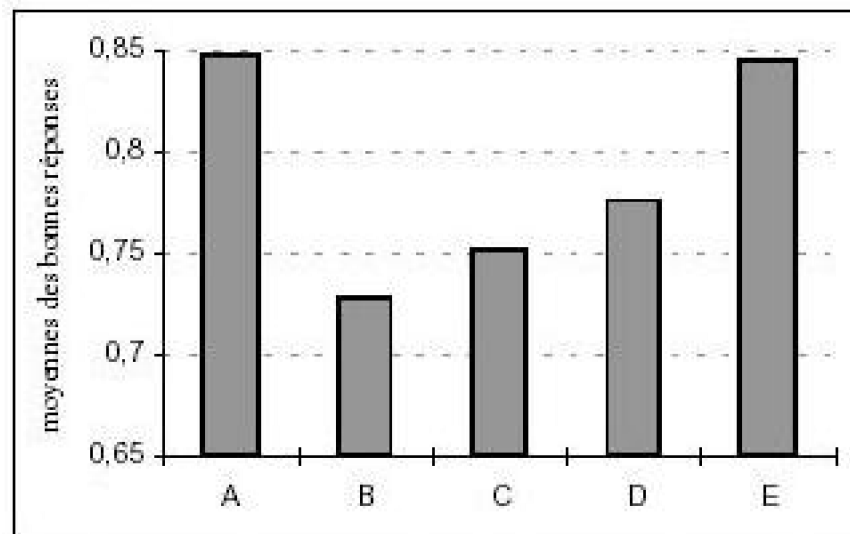


Figure 67 : Moyennes des bonnes réponses selon la figure en  $\log(x+1)$ , groupes confondus.

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [voyants vs aveugles précoces vs aveugles tardifs] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2] x figures [A, B, C, D, E]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été effectuée.

		Épreuve 1					Épreuve 2				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
voyants aveuglés	moyenne	3,75	3,5	4	4	5,25	7,25	4,5	5	5,125	5,25
	moyenne log	0,643	0,625	0,683	0,685	0,775	0,915	0,726	0,711	0,769	0,77
	écart type	1,900	1,604	1,414	1,309	1,832	0,707	1,414	2,619	1,885	2,188
	écart type log	0,191	0,174	0,128	0,12	0,154	0,038	0,122	0,31	0,136	0,163
aveugles précoces	moyenne	7	4,625	5,125	5	6,125	6,625	5,75	6,25	5,875	7,25
	moyenne log	0,891	0,676	0,774	0,767	0,845	0,868	0,818	0,853	0,82	0,915
	écart type	1,69	2,722	1,553	1,512	1,458	1,847	1,581	1,389	1,939	0,707
	écart type log	0,119	0,316	0,118	0,106	0,091	0,126	0,11	0,089	0,155	0,038
aveugle tardifs	moyenne	6,375	4,625	4,375	5,125	6,5	7,125	5,25	4,875	5,875	7,125
	moyenne log	0,864	0,737	0,717	0,782	0,862	0,903	0,787	0,758	0,834	0,906
	écart type	1,061	1,302	1,598	0,991	1,773	1,355	1,282	0,354	0,835	1,126
	écart type log	0,063	0,119	0,112	0,068	0,122	0,085	0,097	0,028	0,052	0,063

Tableau XLVIII : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses en nombre de bonnes réponses et en  $\log(x+1)$  selon le groupe, l'épreuve et la figure(A,B,C,D,E).

Les résultats mettent en évidence un effet du groupe ( $F(2,21)=5.26$ ,  $p=.014$ ), de l'épreuve ( $F(1,21)=14.41$ ,  $p=.001$ ) avec une amélioration du nombre de bonnes réponses entre les épreuves 1 et 2, et de la figure ( $F(4,84)=8.22$ ,  $p=.000012$ ). Le groupe des voyants diffère significativement des aveugles précoces ( $p=.008$ ) et tardifs ( $p=.013$ ). En revanche les deux groupes d'aveugles sont semblables ( $p=.84$ ). Au niveau des figures, les figures de type B, C, et D ne sont pas différentes les unes des autres. Par contre, toutes trois diffèrent significativement des figures A et E qui sont semblables entre elles. Le nombre de bonnes réponses est plus élevé pour ces figures A et E que pour les autres. La figure A est la figure la plus allongée et la figure E la figure carrée.

Les interactions ne sont pas significatives. Seule une tendance se dessine pour l'interaction groupes x épreuves x figures ( $F(8,84)=1.85$ ,  $p=.078$ ). Nos hypothèses portant sur les différences entre les groupes en fonction des figures, nous allons tout de même nous pencher sur les contrastes (figure 68).

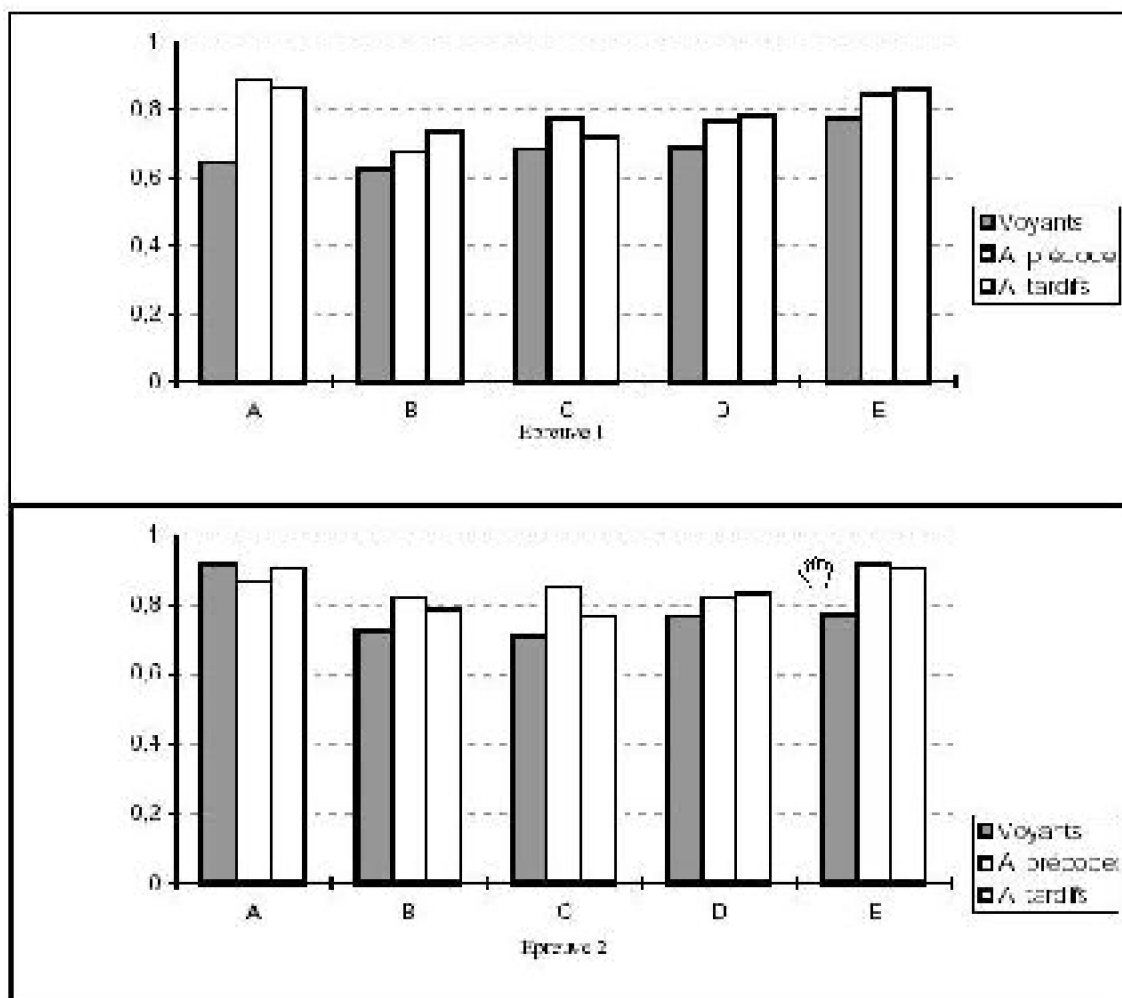


Figure 68 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de la

*figure pour l'épreuve 1 et pour l'épreuve 2.*

L'étude des contrastes de l'interaction groupes x épreuves x figures nous révèle que les aveugles tardifs et précoces n'ont pas amélioré de façon significative leurs performances entre les épreuves 1 et 2 et ce quel que soit le type de figures. En revanche, les voyants ont plus de bonnes réponses à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1 pour les figures A ( $p=.000013$ ) avec une légère tendance pour les figures B ( $p=.09$ ). Dans l'ensemble, le nombre de bonnes réponses, bien que supérieur à l'épreuve 2 ne varie pas de façon significative pour les figures. Pour l'épreuve 1, la comparaison entre les groupes d'aveugles ne fait pas émerger de différences et ce quelle que soit la figure, il en est de même à l'épreuve 2. La comparaison entre voyants et aveugles tardifs, pour l'épreuve 1, révèle une différence au niveau des figures de type A ( $p=.0003$ ) et une tendance pour les figures B ( $p=.061$ ) et D ( $p=.103$ ) avec plus de bonnes réponses pour les aveugles. Entre les voyants et les aveugles précoces la même différence est notée pour les figures de type A ( $p=.00006$ ). Pour l'épreuve 2, les voyants et les aveugles tardifs diffèrent seulement pour les figures de type E ( $p=.024$ ) et les voyants et les aveugles précoces pour les figures de type C ( $p=.018$ ) et E ( $p=.016$ ). Par ailleurs, les performances des voyants à l'épreuve 2 sont identiques à celles des aveugles à l'épreuve 1.

#### 4-2-2 Discussion

Il semble que seuls les voyants bénéficient d'une amélioration des performances entre les épreuves. Le nombre de bonnes réponses en fonction des figures n'évolue pas de façon significative entre les épreuves pour les deux groupes de voyants. Toutefois, l'amélioration des voyants est très ciblée, notamment avec une forte progression du nombre de bonnes réponses pour les figures de type A mais pas du tout pour les figures de type E. Cette amélioration pour les figures A est telle que le nombre de bonnes réponses des voyants égale celui des aveugles à l'épreuve 2, alors qu'il en différait fortement à l'épreuve 1. Nous pouvons donc dire qu'à l'épreuve 2, les voyants accèdent aux mêmes performances que les aveugles à l'épreuve 1, et tendent à rejoindre celles des aveugles à l'épreuve 2. L'entraînement haptique a eu une incidence positive sur ce groupe, notamment pour les figures les plus difficiles à reconnaître à l'épreuve 1 (A et B). Pour les figures les plus simples comme la figure E qui rassemble le plus de bonnes réponses à l'épreuve 1, les performances ne se sont pas améliorées, creusant ainsi l'écart entre les voyants et les aveugles d'où des différences significatives entre les groupes à l'épreuve 2. En effet, si les aveugles n'ont pas amélioré leurs performances de façon significative entre les épreuves, leur amélioration a suffi à les différencier du groupe des voyants à l'épreuve 2.

Retrouvons-nous cette tendance au niveau des amplitudes d'erreurs ? Nous pouvons également nous demander si les amplitudes d'erreurs ont baissé même pour des figures qui n'ont pas été mieux reconnues à l'épreuve 2 ? Autrement dit, est-ce que l'amélioration est passée par le nombre d'erreurs ou par une diminution des amplitudes d'erreurs ?

#### 4-2-3 Les amplitudes d'erreurs

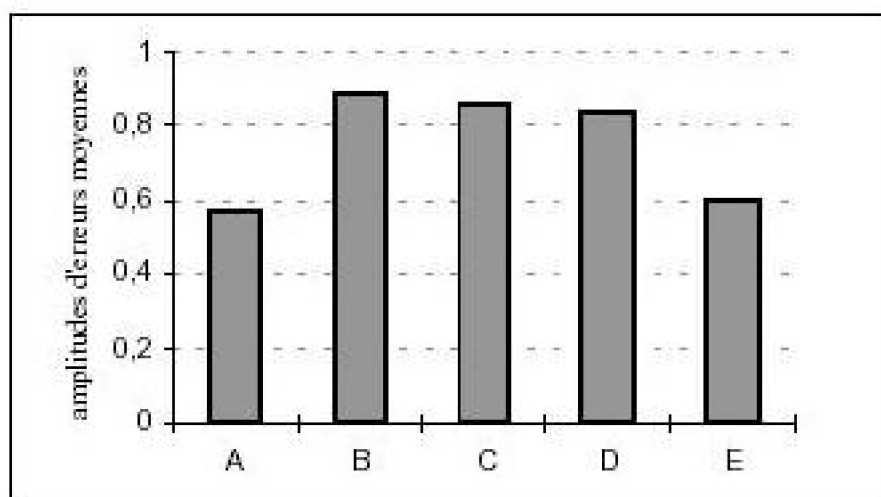


Figure 69 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en fonction de la figure en  $\log(x+1)$ , tous groupes confondus.

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [voyants vs aveugles précoces vs aveugles tardifs] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2] x figures [A, B, C, D, E]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été réalisée.

		Épreuve 1					Épreuve 2				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
voyants aveuglés	moyenne	17,5	13	10,5	13,25	12,25	2,25	7,5	8,75	9,75	9,25
	moyenne log	1,188	1,109	1,027	1,127	0,999	0,4	0,898	0,818	0,848	0,797
	écart-type	9,426	5,451	5,099	5,445	10,28	2,252	2,976	7,704	9,347	9,067
	écart-type log	0,327	0,207	0,181	0,162	0,357	0,352	0,153	0,464	0,474	0,536
aveugles précoces	moyenne	4,5	8	8	7,75	4,5	3,75	5	4	5,25	1,75
	moyenne log	0,413	0,808	0,215	0,843	0,599	0,42	0,686	0,589	0,612	0,354
	écart-type	8,861	6,59	3,703	4,713	4,106	5,701	3,381	3,854	5,445	1,660
	écart-type log	0,519	0,43	0,212	0,378	0,415	0,497	0,345	0,349	0,46	0,307
aveugles tardifs	moyenne	5	9	8,25	6,5	4,75	2,25	6,5	7,25	5	2,75
	moyenne log	0,676	0,972	0,585	0,544	0,496	0,318	0,834	0,911	0,744	0,364
	écart-type	3,854	3,703	3,77	2,777	7,479	4,062	3,338	1,488	2,39	4,268
	écart-type log	0,351	0,169	0,366	0,187	0,498	0,399	0,207	0,076	0,191	0,439

Tableau XLIX : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs en mm et en  $\log(x+1)$  en fonction de l'épreuve, de la figure (A,B,C,D,E) et du groupe.

Un effet significatif du groupe ( $F(2,21)=5.78$ ,  $p=.01$ ), de l'épreuve ( $F(1,21)=16.95$ ,  $p=.0005$ ) et de la figure ( $F(4,84)=9.89$ ,  $p=.000001$ ) est observé. Les amplitudes d'erreurs sont significativement moins élevées à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. Par ailleurs, les voyants diffèrent significativement des deux groupes d'aveugles ( $p<.026$ ), les groupes d'aveugles étant comparables ( $p=.383$ ). Au niveau des figures, nous observons des différences difficilement interprétables en l'état, étant donné que toutes les figures n'ont pas la même probabilité d'amplitude d'erreurs. Nous pouvons seulement remarquer que les figures de types A et E sont les figures avec les amplitudes d'erreurs les moins élevées.

Les interactions deux à deux ne sont pas significatives. Une tendance se dessine

cependant au niveau de l'interaction groupes x épreuves x figures ( $F(8,84)=1.82$ ,  $p=.085$ ). Pour étudier l'évolution des amplitudes d'erreurs en fonction des groupes et des figures, nous nous proposons de regarder les contrastes. Les amplitudes d'erreurs des voyants ont fortement diminué à l'épreuve 2 pour la figure A ( $p<.000001$ ), une tendance est également observée pour la figure D ( $p=.056$ ). Les autres différences ne sont pas significatives (pour B  $p=.147$  ; pour C  $p=.152$  et pour E  $p=.163$ ). Pour les aveugles précoces, une diminution des amplitudes d'erreurs est observée pour les figures de type C ( $p=.026$ ) avec une tendance pour E ( $p=.093$ ). Pour les aveugles tardifs, les amplitudes d'erreurs sont moins nombreuses à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1 pour les figures A ( $p=.015$ ). La comparaison entre les groupes nous informe de différences entre les voyants et les aveugles précoces pour les figures A ( $p=.000001$ ), B ( $p=.04$ ), E ( $p=.007$ ) et une tendance pour D ( $p=.052$ ) à l'épreuve 1 et une absence de différences à l'épreuve 2. Avec les aveugles tardifs, les voyants se distinguent au niveau des figures A ( $p=.0006$ ), E ( $p=.000007$ ), D ( $p=.019$ ) et C ( $p=.039$ ) à l'épreuve 1. A l'épreuve 2, seule persiste une différence au niveau des figures E ( $p=.0035$ ). Entre les aveugles, aucune différence n'est relevée au niveau de l'épreuve 1, exceptée une tendance pour les figures A ( $p=.07$ ). Pour l'épreuve 2, l'amplitude d'erreurs des aveugles tardifs est supérieure à celle des aveugles précoces pour la figure C ( $p=.028$ ).

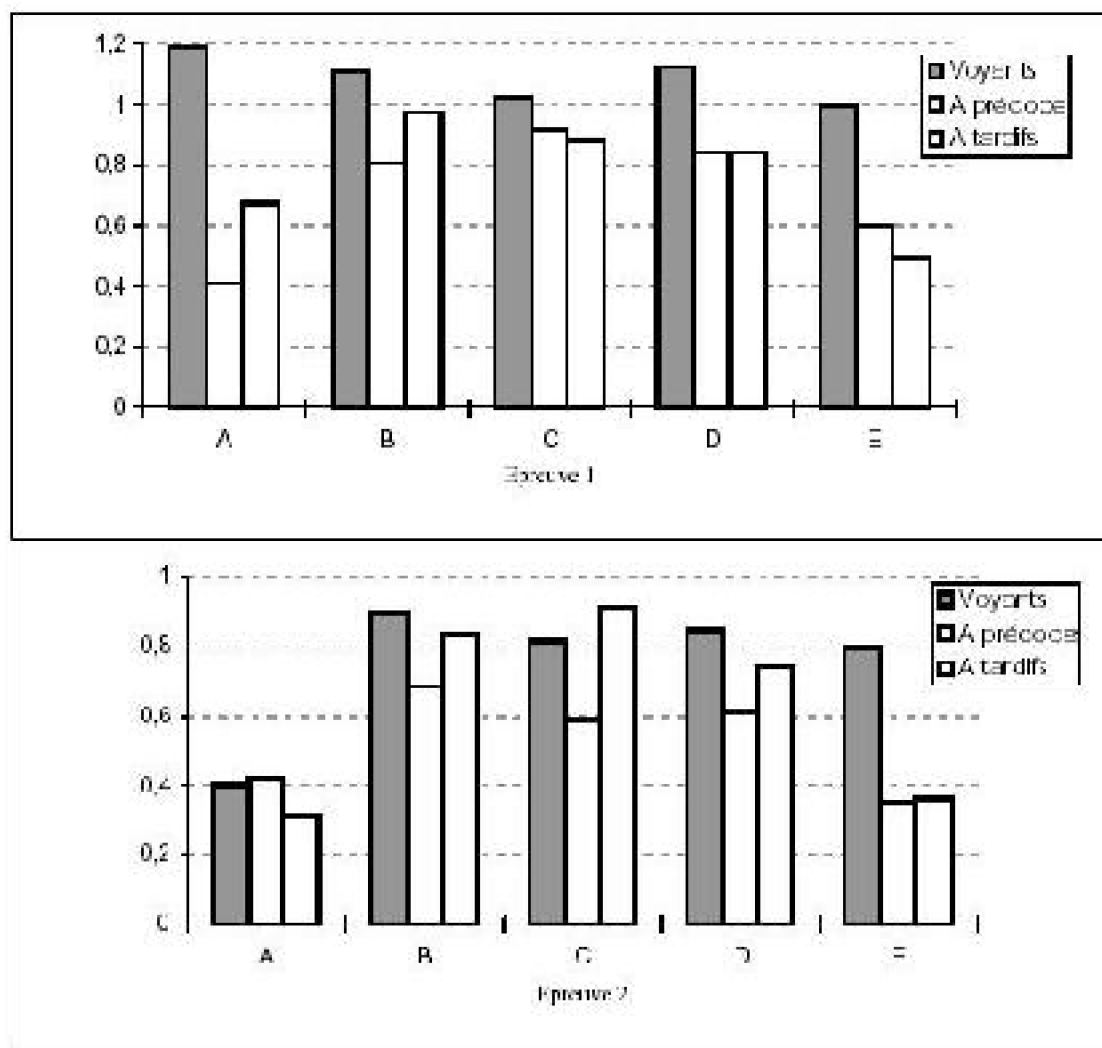


Figure 70 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de la figure pour l'épreuve 1 et pour l'épreuve 2.

#### 4-2-4 Les temps d'exploration

Une analyse de la variance à trois facteurs a été réalisée (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x [figures [A, B, C, D vs E]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

		Epreuve 1					Epreuve 2				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Voyants	moyenne	27,06	30,73	31,40	28,25	31,31	28,40	33,30	33,28	28,81	24,41
	écart-type	6,724	7,60	8,664	8,034	10,20	9,024	10,95	10,06	7,319	7,433
A. Précoces	moyenne	18	21,17	19,72	17,85	14,07	12,02	16,73	5,62	14	10,55
	écart-type	23,33	25,86	19,89	16,71	10,16	12,42	15,71	3,391	9,887	4,475
A. Tardifs	moyenne	23,87	31,93	28,38	25,46	23,21	25,60	32,79	33,48	33,72	22,69
	écart-type	14,7	17,55	13,5	13,39	11,36	25,3	24,14	23,01	26,03	21,12

en vertu de la loi du droit d'auteur.



Tableau L : Moyennes et écarts-types des temps d'exploration en secondes en fonction de l'épreuve, de la figure( A,B,C,D,E) et du groupe.

L'effet principal du groupe ( $F(2,21)=2.995$ ,  $p=.072$ ) tend à être significatif. Les temps d'exploration sont plus longs pour les voyants ( $p=.037$ ) et pour les aveugles tardifs ( $p=.06$ ) que pour les aveugles précoces. Les temps d'exploration des voyants et des aveugles tardifs sont semblables ( $p=.812$ ). L'effet de la figure est également significatif ( $F(4,84)=6.48$ ,  $p=.00014$ ). Les figures A et E sont les figures recueillant les temps d'exploration les plus courts, les figures B et C étant les plus longtemps explorées. L'interaction figures x épreuves est significative. Une diminution de la durée d'exploration pour les figures C ( $p=.048$ ) et D ( $p=.003$ ) entre les épreuves et une stabilité pour les figures A ( $p=.416$ ), B ( $p=.713$ ) et D ( $p=.166$ ) sont relevées. A l'épreuve 1, Les durées d'exploration sont significativement plus courtes pour la figure A que pour les figures B ( $p=.00005$ ) et C ( $p=.004$ ). A l'épreuve 2, la différence est maintenue pour B ( $p=.000009$ ) et apparaît pour D ( $p=.0007$ ). Une différence émerge également pour E qui est résolue plus rapidement que A ( $p=.021$ ). En résumé, les figures de type B et C sont celles qui requièrent les temps d'exploration les plus longs aussi bien à l'épreuve 1 qu'à l'épreuve 2 et celles de type A sont les plus rapidement exécutées à l'épreuve 1, alors que ce sont celles de type E qui le sont à l'épreuve 2.

L'interaction groupes x figures x épreuves est significative ( $F(8,84)=4.12$ ,  $p<.0004$ ). L'analyse des contrastes révèle que les temps d'exploration des voyants et des aveugles tardifs diffèrent de ceux des aveugles précoces pour toutes les figures et ce quelle que soit l'épreuve ( $p<.0004$ ). Les aveugles tardifs ne se distinguent des voyants que pour deux combinaisons : à l'épreuve 2 pour la figure D ( $p=.019$ ) et à l'épreuve 1 pour la figure E ( $p=.0002$ ).

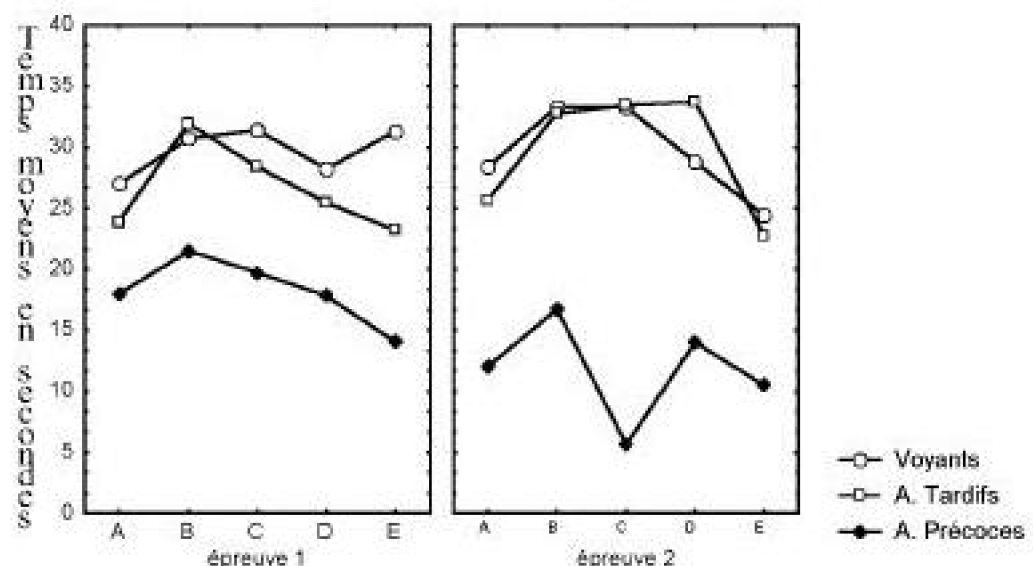


Figure 71 : Temps d'exploration moyens en secondes en fonction du groupe, de l'épreuve et de la figure.

#### 4-2-5 Discussion générale sur les performances en fonction des figures

Les résultats des analyses sur le nombre de bonnes réponses et sur les amplitudes d'erreurs montrent de meilleures performances pour les figures de type A et E. Cependant, alors que l'amélioration des voyants passe essentiellement par une diminution des erreurs sur les figures A, la progression des aveugles n'est pas suffisante pour être significative. Toutefois, cette amélioration apparaît dans la comparaison avec les voyants. L'écart entre les performances des voyants à l'épreuve 1 est plus important pour la comparaison des performances des aveugles tardifs et précoces à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. Un autre point est à noter. Les figures A et E sont les figures les mieux réussies, quel que soit le groupe d'appartenance des sujets. Ces résultats traduisent donc quelque chose de la difficulté des items en fonction du modèle. Ainsi, les voyants et les aveugles tardifs et précoces ne diffèrent pas sur ce critère. Ils sont sensibles aux mêmes difficultés. Reste à savoir pourquoi ces figures sont plus faciles. Nous avons vu précédemment le rôle de la surestimation des longueurs pour des distances d'au moins 2.5mm. Ce point participe à la plus grande réussite des figures A par rapport aux autres. Par contre, cela ne résout pas le problème pour les figures E. Or, les figures A et E sont aux extrémités l'une de l'autre. De ce fait, seule une figure diffère par 2mm d'écart contre deux figures pour les figures centrales. De plus, ce sont les seules pour lesquelles l'amplitude d'erreur la plus élevée est de 8mm. Ainsi, si nous comptabilisons le risque d'erreur maximal sur l'ensemble des items nous obtenons des risques d'amplitudes d'erreurs plus importants pour les figures A (54mm), et E (56mm) que pour les figures B (36mm), C (30mm) et D (38mm). Or, plus le risque d'amplitude d'erreur est élevé, plus il est facile d'éviter ces erreurs. Ceci explique pourquoi les figures A et E sont les mieux réussies. Par conséquent, les temps d'exploration devraient suivre la même courbe pour tous les groupes. C'est également ce qui apparaît à la lecture des résultats. Les figures les moins bien résolues sont celles pour lesquelles les temps d'exploration sont les plus longs. En revanche, d'une façon générale, les temps d'exploration sont beaucoup plus courts pour les aveugles précoces que pour les aveugles tardifs et les voyants. Or, les aveugles précoces et tardifs obtiennent le même niveau de performances. Ce constat ne peut donc pas être expliqué par le niveau d'expérience haptique ni d'ailleurs par une perception différente de la difficulté des items. L'hypothèse d'un mode de raisonnement différent en fonction du statut visuel semble donc validée.

En résumé :

- Les résultats montrent qu'une amélioration des performances des voyants, et dans une moindre mesure, l'amélioration des aveugles s'observe, lorsque l'écart entre la cible et le distracteur le plus ressemblant, est de plus de 2mm. A 2mm, le seuil perceptif est atteint et les performances sont stables. Les temps d'exploration semblent indiquer un désengagement des sujets, lors de l'exploration des items, pour lesquels le seuil perceptif est atteint.
- L'amélioration passe par les items qui induisent les amplitudes d'erreurs les plus aisées à éviter. En revanche, les temps d'exploration ne traduisent pas la difficulté. Les temps d'exploration sont identiques, quel que soit l'écart entre les distracteurs. Par ailleurs, des différences apparaissent entre les groupes, avec des temps d'exploration plus longs pour les voyants et les aveugles tardifs que pour les aveugles

---

précoces.

- La position de la cible n'est pas un critère de difficulté. Les performances et les temps d'exploration sont équivalents, que la cible soit en première, deuxième ou troisième position. Le rapport entre les groupes est maintenu. Les temps d'exploration ne révèlent pas d'effet significatif, excepté pour la position un chez les aveugles et notamment chez les aveugles tardifs, avec des temps d'exploration plus longs. Ce phénomène peut être expliqué par la proximité de la cible et du modèle qui permet des comparaisons plus aisées.
- L'amélioration des performances s'observe essentiellement pour la figure la plus allongée, répliquant ainsi les observations antérieures sur la surestimation des longueurs.



## Chapitre 8 : les procedes d'exploration haptique.

Nous allons à présent, étudier les procédés d'exploration haptique. Nous avons vu jusqu'à maintenant, l'influence de l'entraînement sur les performances (amplitudes d'erreurs, nombre de bonnes réponses et les types d'erreurs). Nous avons également observé les effets de la position de la cible et de l'écart entre les distracteurs, mais nous ne nous sommes pas encore penchés sur le mode d'exploration des sujets. C'est ce que nous nous proposons d'étudier maintenant. Pour cela, nous nous référons aux procédés d'exploration haptiques définis par Klatzky et Lederman (1987) mais aussi par Appelle, Gravetter et Davidson (1980). Cependant, avant de nous pencher sur ces procédés d'exploration, nous allons observer le nombre de fois où les figures d'un même item ont été touchées et également le nombre de fois où le modèle a été exploré toujours au cours d'un même item. Ces analyses nous permettront de comprendre comment les sujets comparent les figures les unes aux autres. Nous étudierons également le nombre de doigts utilisés par les sujets lors des explorations.

Parmi tous les procédés décrits par Klatzky et Lederman (1987), nous avons retenu l'enveloppement et le suivi de contour. Le soulèvement, la pression et le mouvement latéral qui permettent l'extraction des propriétés de poids, de texture et de dureté, ne sont pas des procédés pertinents pour l'exploration de figures en relief. En effet, les sujets ne pouvaient pas soulever les planches et de toute manière cela ne leur aurait pas apporté d'informations. De même, toutes les figures étaient constituées de la même matière et la

dureté n'était donc pas un critère discriminant. Il en est de même pour la texture. D'autre part, nos figures étaient relativement petites et l'épaisseur du relief ne permettait pas une prise en main. De ce fait nous avons associé au procédé d'exploration d'enveloppement une valeur de paramètre de mouvement dynamique, ce qui n'est pas le cas dans la description de Klatzky et Lederman. Cependant, il faut rappeler que ces procédés ont été décrits pour des objets en trois dimensions. Par conséquent, les sujets pouvaient modeler leur main sur l'objet pour en extraire la forme globale, ce qui n'est pas possible avec un dessin. Pour en évaluer la forme globale, il faut effectuer un balayage de la figure. Toutefois, ce balayage n'a pas pour objectif de tester la matière et il diffère donc du mouvement latéral. C'est pourquoi, nous avons gardé l'appellation d'enveloppement même si cela induit un mouvement. Le suivi de contour qui permet l'extraction de la forme précise est bien évidemment le second procédé que nous avons retenu. Toutefois, ces deux procédés ne nous permettaient pas de coder l'ensemble des mouvements exploratoires. Notre tâche nécessitait une perception de la distance puisque les longueurs et les largeurs variaient entre les figures. Nous avons donc eu recours au procédé métrique décrit par Appelle et al. (1980). Ce procédé se décline sous deux formes. Dans le premier cas, le sujet déplace un doigt sur la longueur qu'il veut mesurer tout en comptant mentalement la distance qui sépare le point de départ du point d'arrivée. Dans le second cas, le mouvement est statique. Soit le sujet pose son doigt à plat sur la figure et recherche les limites de la figure sur sa peau, soit il pose un doigt sur chaque extrémité et évalue la distance qui sépare ses doigts. Ces deux déclinaisons sont particulièrement intéressantes pour notre tâche. Toutefois, il nous est vite apparu qu'une troisième déclinaison devait être associée aux deux premières. En effet, nos figures variaient simultanément sur la longueur et sur la largeur pour maintenir une aire constante. Or, certains sujets ont cherché à associer la perception de la longueur à la perception de la largeur. Ainsi, ils ont combiné les deux premières déclinaisons du procédé métrique en étant statique sur un axe et dynamique sur l'autre. Nous avons distingué cette association simultanée, d'une association alternée des deux déclinaisons. En effet, nous considérons que l'association simultanée de deux procédés est une démarche dynamique résultant d'un apprentissage, alors que l'alternance de deux procédés est une application des outils à leur disposition. Nous envisageons la première solution comme une évolution de la seconde.

## 1- Le codage des procédés

### 1-1 L'enveloppement (E)

---

Ce procédé est le plus flou. Nous avons considéré comme enveloppement tout mouvement impliquant plusieurs doigts et ne correspondant pas aux caractéristiques des autres procédés. Les doigts pouvaient être posés à plat ou non sur la figure.

## 1-2 Le suivi de contour (SC)

---

L'exploration devait être réalisée avec un seul doigt et suivre le contour de la figure pour être considéré en tant que suivi de contour. Nous acceptons également la participation d'un second doigt à condition que celui-ci soit fixe sur un point précis de la figure (ce doigt servait seulement de repère et ne participait pas à l'exploration) ou accolé au doigt explorateur.

## 1-3 La métrique 1 (M1)

---

Le procédé métrique 1 est identifié lorsque le sujet déplace son doigt en ligne droite sur un axe en allant d'une extrémité à l'autre.

## 1-4 La métrique 2 (M2)

---

Deux cas sont acceptés dans ce procédé. Soit, le sujet pose son doigt à plat sur la figure et essaye de repérer le début et la fin de la figure, en imprimant les limites sur sa peau, avant de passer à la figure suivante et de comparer les limites. Soit, il utilise ses doigts comme une pince pour évaluer la distance séparant les extrémités de la figure, l'écart entre ses doigts lui servant de repère.

## 1-5 La métrique 3 (M3)

---

Ce procédé correspond à l'association des deux procédés précédents. Le sujet va prendre la distance de manière passive sur un axe et dynamique sur l'autre. Par exemple, le sujet va poser un doigt à chaque extrémité de la largeur (statique M2) et faire glisser simultanément ses deux doigts sur la longueur (dynamique M1).

# 2-Les procédés d'exploration haptique

Nous avons relevé le nombre de fois où les procédés ont été utilisés au cours des 40 items. Nous n'avons pris en compte qu'une seule apparition par item. Par contre, plusieurs procédés pouvaient être utilisés pour un même item.

## 2-1 Résultats attendus

---

Jusqu'à présent dans ce travail, nous avons postulé que les voyants et les aveugles tardifs partageaient un mode de raisonnement issu de leur expérience visuelle. Nous avons eu des éléments de réponse en faveur de cette hypothèse notamment au niveau des temps d'exploration. Nous avons interprété la durée d'exploration plus longue des

voyants et des aveugles tardifs comme la résultante d'une tentative de traduction des informations haptiques en informations visuelles. Pour créer une représentation visuelle, le sujet doit reconstruire une unité perceptive à partir des différentes informations extraites par la modalité haptique. Les sujets vont donc essayer d'obtenir le maximum d'informations sur la figure. Ils vont notamment rechercher la forme globale et la forme précise de la figure.

Or, la tâche que nous proposons relève essentiellement d'une perception des distances et n'implique donc pas la formation d'une représentation détaillée et complète de la figure. En effet, lorsque les sujets ont compris, au fil des séances d'entraînement que seules les dimensions variaient, ils peuvent alors s'abstenir d'explorer la figure sous toutes ses dimensions, pour s'attacher exclusivement à la perception des longueurs. La construction d'une représentation détaillée de la forme, voire même de la forme globale, ne leur permettra pas de percevoir les différences de manière suffisamment précise pour réussir la tâche avec une probabilité élevée. De plus, la surcharge mnésique due à une recherche sur toutes les dimensions de la figure, risque de perturber le traitement des informations et de gêner la construction de la représentation de la figure. En revanche, si le sujet se centre sur une seule dimension, la représentation de cette dimension sera plus facile à construire et la décision plus sûre. Ce point a d'ailleurs été intégré dans la boucle d'extraction-sélection des procédures exploratoires de Klatzky et Lederman (1993) dans sa forme révisée par Russier (2000) avec la prise en compte d'une ou plusieurs procédures exploratoires selon leur spécialisation et leur compatibilité.

Par conséquent, l'application des procédés métriques est non seulement amplement suffisante pour résoudre la tâche, mais en plus elle devrait être la plus efficace. Si, les sujets veulent se représenter la figure, ils devront recourir à d'autres procédés et en particulier aux procédés d'enveloppement et de suivi de contour. Ainsi, nous devrions retrouver ces procédés chez les voyants et les aveugles tardifs de façon massive par rapport aux sujets aveugles précoces. Toutefois, les séances d'entraînement doivent permettre aux sujets de trouver le critère de différenciation des items et par conséquent de restreindre leur exploration à la recherche d'informations pertinentes. Une diminution de ce type de procédés devrait donc être observée lors de la deuxième épreuve. Le groupe auditif, quant à lui devrait conserver les mêmes procédés d'exploration d'une épreuve à l'autre. Toutefois, si la traduction des informations haptiques en informations visuelles dénote un mode de raisonnement spécifique, nous devrions garder une trace de l'emploi de ces procédés malgré l'entraînement.

D'autre part, si les voyants et les aveugles tardifs recourent majoritairement au suivi de contour, nous devrions observer des différences au niveau de l'utilisation des doigts. Ces deux groupes devraient explorer plus souvent avec un seul doigt qu'avec plusieurs.

Le dernier point est celui du nombre de figures explorées. Nous avons vu que les sujets pouvaient rechercher de l'information de deux manières. Soit les sujets ont des informations précises sur ce qu'ils cherchent soit ils n'en ont pas. Dans le premier cas, les sujets vont rechercher des détails et dans le second, ils vont rechercher des informations globales. Ces modes de traitement auront des implications sur le nombre d'aller-retour entre les figures. Plus les sujets vont rechercher un critère précis de différenciation, plus ils vont comparer les figures les unes avec les autres. En revanche, si les sujets n'ont pas



d'informations préalables, ils vont essayer de construire une représentation pour toutes les figures. De ce fait, ils vont explorer les figures les unes après les autres. Le nombre de changement de figures sera donc moindre. Par conséquent, nous devrions observer une augmentation du nombre d'explorations successives des figures pour le groupe des voyants haptiques entre les épreuves. Nous devrions observer la même évolution pour les aveugles tardifs et précoces. De la même manière, nous devrions relever une augmentation du nombre de fois où le modèle a été touché au cours d'un item chez les voyants du groupe haptique.

## 2-2 Nombre d'exploration des figures

Nous avons relevé pour chaque item le nombre de fois où les sujets ont touché une figure différente de la précédente. Lors d'une exploration, les sujets pouvaient revenir autant de fois qu'ils le souhaitent sur chaque figure proposée que ce soit le modèle, la cible ou les distracteurs. Ceci leur permettait de comparer les figures entre elles.

		Moyenne	Ecart-type	Moyenne en log	Ecart-type en log
Voyants	Epreuve 1	165	110,87	2,545	0,14
Auditifs	Epreuve 2	323,125	102,68	2,49	0,15
Voyants	Epreuve 1	336,125	97,27	2,51	0,14
Haptiques	Epreuve 2	427,75	160,16	2,6	0,18
Aveugles	Epreuve 1	510	240,21	2,67	0,2
Tardifs	Epreuve 2	593,125	321,38	2,72	0,22
Aveugles	Epreuve 1	403,875	105,63	2,6	0,11
précoces	Epreuve 2	420,75	145,92	2,67	0,12

Tableau LI : Nombre moyen de figures explorées au cours des 40 items selon le groupe et l'épreuve.

### 2-2-1 Les voyants

Nous avons effectué une analyse de la variance à deux facteurs avec mesures répétées sur le dernier facteur (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2]).

Les résultats mettent en évidence un effet de l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=9.55$ ,  $p=.008$ ). Le groupe haptique effectue plus de comparaisons lors de la seconde épreuve ( $p=.017$ ) que lors de la première. Le groupe auditif n'évolue pas de façon significative même si une tendance se dessine ( $p=.121$ ) dans le sens d'une diminution du nombre de figures touchées. Les groupes auditifs et haptiques sont identiques à l'épreuve 1 ( $p=.306$ ).

### 2-2-2 Le statut visuel

Nous avons réalisé une analyse de la variance à deux facteurs avec mesures répétées sur le dernier facteur (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [1 vs 2]).

Seul l'effet principal de l'épreuve est significatif ( $F(1,21)=5.36$ ,  $p=.031$ ) avec plus de figures touchées à l'épreuve 2. L'interaction groupes x épreuves n'est pas significative.

( $F(2,21)=0.95$ ,  $p=.40$ ).

## 2-3 Nombre d'exploration du modèle

		Moyenne	Ecart-type	Moyenne en log	Ecart-type en log
Voyants	Epreuve 1	99,375	35,54	1,975	0,17
Auditifs	Epreuve 2	90,25	31,67	1,93	0,16
Voyants	Epreuve 1	67	35,82	1,98	0,18
Haptiques	Epreuve 2	70	49,64	2,07	0,19
Aveugles	Epreuve 1	140,125	86,73	2,09	0,24
Tardifs	Epreuve 2	183,25	122,02	2,19	0,27
Aveugles	Epreuve 1	115,25	39,31	2,05	0,14
précoces	Epreuve 2	114,25	40,97	2,04	0,13

Tableau LII : Nombre moyen de fois où le modèle a été exploré au cours des 40 items selon le groupe et l'épreuve.

### 2-3-1 Les voyants

Une analyse de la variance à deux facteurs avec mesures répétées sur le dernier facteur a été réalisée (groupes [voyants vs auditif] x épreuves [1 vs 2]).

L'interaction groupes x épreuves est significative ( $F(1,14)=4.59$ ,  $p=.05$ ). Le groupe haptique à l'épreuve 2 tend à explorer plus souvent le modèle que lors de la première épreuve ( $p=.054$ ) et plus que le groupe auditif à l'épreuve 1 ( $p=.049$ ) comme à l'épreuve 2 ( $p=.008$ ). Le modèle est touché aussi souvent par le groupe auditif que par le groupe haptique à l'épreuve 1 ( $p=.953$ ).

### 2-3 2 Le statut visuel

Une analyse de la variance à deux facteurs avec mesures répétées sur le dernier facteur a été effectuée (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [1 vs 2]).

Les résultats indiquent seulement un effet de l'épreuve ( $F(2,21)=5.85$ ,  $p=.025$ ) avec une augmentation de l'exploration du modèle au cours de la seconde épreuve. Les groupes ne se distinguent pas sur ce critère.

### 2-3-3 Discussion

Le nombre d'exploration des figures et du modèle augmente significativement pour tous les groupes excepté pour le groupe auditif chez les voyants. Ainsi, l'entraînement a augmenté la fréquence de déplacement sur les items alors même que le temps d'exploration n'a pas évolué. Ceci signifie que les sujets restent beaucoup moins longtemps sur chaque figure. Ils explorent au contraire brièvement chacune d'elle et la compare aux autres. Les sujets reviennent également beaucoup plus sur le modèle. Ces résultats sont en accord avec nos hypothèses. Nous observons bien l'application d'une recherche descendante de l'information avec la recherche de points de détails qui pourraient permettre la décision finale. Les sujets n'entrent pas dans la construction d'une

représentation globale des figures mais dans la comparaison sur un critère des figures. Voyons à présent comment les sujets explorent.

## 2-4 Le nombre de doigts d'exploration

Nous avons relevé pour chaque item, la présence d'une exploration avec un doigt et/ou plusieurs doigts. Ainsi, pour un même item, un sujet pouvait utiliser un doigt, plusieurs doigts ou à la fois un doigt et plusieurs doigts. Dans le dernier cas, nous avons relevé la présence de ces modes exploratoires une seule fois et non le nombre changement de stratégies.

		Nombre d'utilisation				En log (x+1)			
		Epreuve 1		Epreuve 2		Epreuve 1		Epreuve 2	
		1 doigt	2 ou +	1 doigt	2 ou +	1 doigt	2 ou +	1 doigt	2 ou +
Voyants	Moyenne	1,27	1,315	1,069	1,386	27,875	27,75	24	27,5
Auditifs	Ecart-type	0,59	0,452	0,725	0,291	17,125	18,289	19,6	13,88
Voyants	Moyenne	1,52	1,106	1,216	0,866	34,25	22,875	25,9	20,25
Haptiques	Ecart-type	0,17	0,616	0,525	0,813	9,3465	18,601	18,1	21,12
Aveugles	Moyenne	0,44	1,574	0,299	1,471	5,75	45,875	5,63	42,13
Tardifs	Ecart-type	0,51	0,405	0,597	0,601	13,09	21,257	14	20,4
Aveugles	Moyenne	0,35	1,63	0,227	1,644	2,75	41,75	2	43,88
précoces	Ecart-type	0,45	0,056	0,434	0,084	1,132	3,858	1,28	10,55

Tableau LIII : Moyennes et écarts-types du nombre d'utilisation des stratégies d'exploration avec un ou plusieurs doigts au cours des 40 items selon le groupe et l'épreuve.

### 2-4-1 Les voyants

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs auditif] x épreuves [1 vs 2] x nombre de doigts [1 vs plusieurs]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été appliquée.

Les résultats mettent seulement en évidence un effet de l'épreuve ( $F(1,13)=7.08$ ,  $p=.019$ ) avec une baisse d'utilisation des doigts à l'épreuve 2. Une tendance pour l'interaction groupes x épreuves est également observée. Les contrastes indiquent que le groupe haptique utilise moins les deux types de doigts ensembles ( $p=.009$ ) à l'épreuve 2 contrairement au groupe auditif ( $p=.49$ ) qui n'évolue pas.

### 2-4-2 Le statut visuel

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [haptique vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves [1 vs 2] x nombre de doigts [1 vs plusieurs]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs a été réalisée.

Un effet de l'épreuve ( $F(1,21)=16.49$ ,  $p=.0006$ ) et du type de doigts ( $F(1,21)=16.64$ ,  $p=.0005$ ) est observé avec une utilisation plus fréquente de plusieurs doigts que d'un doigt et moins d'utilisations à l'épreuve 2. L'effet du groupe tend également vers la significativité ( $F(2,21)=2.89$ ,  $p=.078$ ) avec plus d'utilisations pour les voyants que pour les aveugles tardifs ( $p=.043$ ) et précoces ( $p=.059$ ).

L'interaction groupes x nombre de doigts est significative ( $F(2,21)=10.02$ ,  $p=.0009$ ). Une tendance est également observable pour l'interaction groupes x épreuves ( $F(2,21)=3.13$ ,  $p=.064$ ). Les contrastes indiquent que les voyants changent moins de stratégies à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1 ( $p=.0003$ ) sans pour autant rejoindre les aveugles tardifs ( $p=.024$ ). Le nombre d'utilisations des voyants à l'épreuve 2 tend également à différer de celui des aveugles précoces mais dans une moindre mesure ( $p=.113$ ). D'autre part, alors que les voyants utilisent autant un doigt que plusieurs ( $p=.214$ ), les aveugles tardifs ( $p=.0009$ ) et précoces ( $p=.0002$ ) utilisent majoritairement plusieurs doigts.

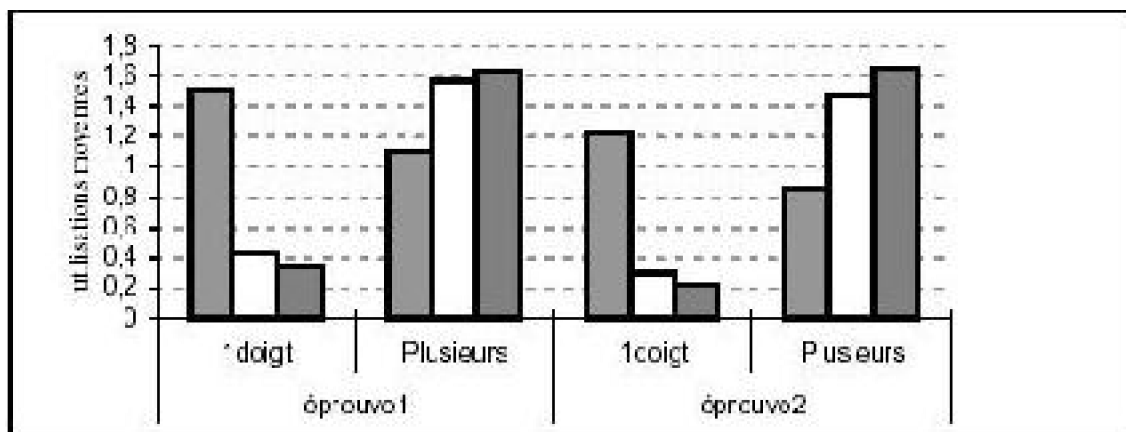


Figure 72 : Utilisations moyennes des doigts selon leur nombre, le groupe et l'épreuve.

## 2-5 Les procédés d'exploration haptique

### 2-5-1 Les voyants

Nous avons réalisé une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [auditif vs haptique] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2] x procédés [SC, E, M1, M2, M3]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

		épreuve 1					épreuve 2				
		SC	E	M1	M2	M3	SC	E	M1	M2	M3
groupe haptique	moyenne	26.75	17.88	5.25	19	12.38	15.25	10.63	8.875	11.5	14.75
	moyenne log	1.420	1.072	0.683	1.147	0.747	0.680	0.574	0.593	0.708	0.699
	écart-type	14.48	14.96	4.16	12.69	15.32	20.5	17.86	14.29	16.09	18.86
	écart-type log	0.45	0.609	0.430	0.505	0.664	0.782	0.677	0.633	0.665	0.786
groupe auditif	moyenne	15.5	12.5	9.625	24	18.38	14.5	11.25	7.75	19.38	16.63
	moyenne log	0.597	0.941	0.76	1.205	1.065	0.724	0.872	0.627	1.045	1.034
	écart-type	14.75	10.43	12.75	16.12	15.55	17.13	9.867	13.38	16.41	14.51
	écart-type log	0.583	0.510	0.551	0.571	0.571	0.785	0.564	0.533	0.629	0.544

Tableau LIV : Moyennes et écarts-types des procédés d'exploration utilisés selon le groupe et l'épreuve.

L'effet principal du groupe ( $F(1,14)=0.51$ ,  $p=.488$ ) n'est pas significatif. L'effet principal des procédés ne l'est pas non plus ( $F(4,56)=0.97$ ,  $p=.431$ ). Par contre, il y a un

effet de l'épreuve ( $F(1,14)=12.72$ ,  $p=.003$ ). Aucune interaction n'est significative. Seule une petite tendance se dessine pour l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=3$ ,  $p=.105$ ). Le groupe haptique épreuve 2 tend à se différencier des autres groupes. L'évolution des procédés nous intéressant particulièrement pour le groupe haptique, nous nous proposons d'étudier les contrastes de l'interaction groupes x épreuves x procédés ( $F(4,56)=0.94$ ,  $p=.45$ ) (figure 73). En effet, la présence du groupe contrôle masque peut-être des tendances pour le groupe haptique.

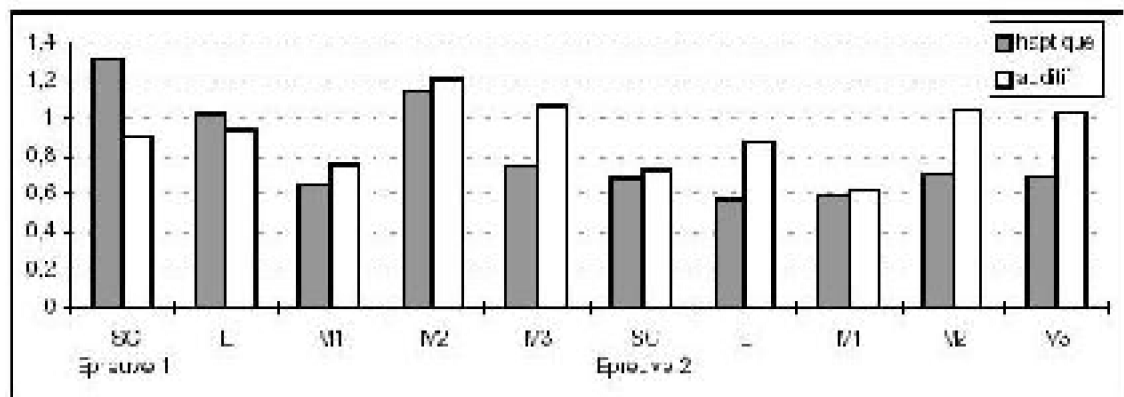


Figure 73 : Moyennes en  $\log(x+1)$  des procédés d'exploration utilisés selon le groupe et l'épreuve.

Aucune différence n'est relevée entre les épreuves 1 et 2 pour le groupe auditif et ce quels que soient les procédés (figure 74). La légère diminution des procédés que nous apercevons sur la figure 74, s'explique par la diminution des temps d'exploration à l'épreuve 2.

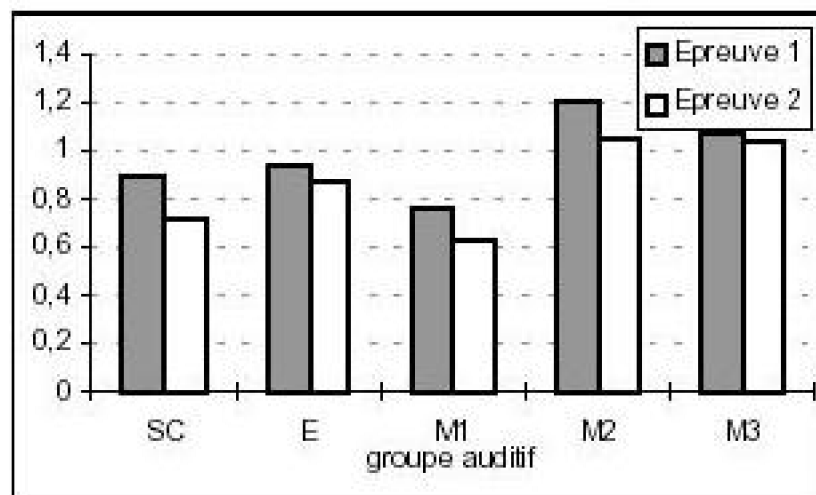


Figure 74 : Moyennes d'utilisation des procédés en  $\log(x+1)$  selon l'épreuve pour le groupe auditif.

En revanche, pour le groupe haptique, le nombre d'utilisation des procédés de suivi de contour ( $p=.0004$ ); d'enveloppement ( $p=.011$ ) et de métrique 2 ( $p=.013$ ) varie entre l'épreuve 1 et l'épreuve 2 (figure 75). De plus, il est à noter que tous les procédés ont la même moyenne d'utilisation à l'épreuve 2. A l'épreuve 1, le suivi de contour était pourtant

plus utilisé que les procédés métriques 1 ( $p < .002$ ) et 3 ( $p < .0003$ ) avec une tendance pour l'enveloppement ( $p = .086$ ). Par ailleurs, la métrique 2 est plus utilisée que les métriques 1 ( $p = .005$ ) et 3 ( $p = .022$ ), et l'enveloppement plus utilisé que la métrique 1 ( $p = .034$ ). A l'épreuve 1, les groupes auditif et haptique à l'épreuve 1 sont semblables, excepté pour le suivi de contour ( $p = .016$ ) avec une utilisation de ce procédé plus élevée pour le groupe haptique. Les résultats sont similaires pour les groupes auditif épreuve 2 et haptique épreuve 1. La comparaison entre le groupe auditif épreuve 1 et haptique épreuve 2 montre une différence d'utilisation pour les procédés d'enveloppement ( $p = .036$ ) et de métrique 1 ( $p = .005$ ) et 2 ( $p = .036$ ) ; les procédés de suivi de contour et de métrique 1 sont semblables.

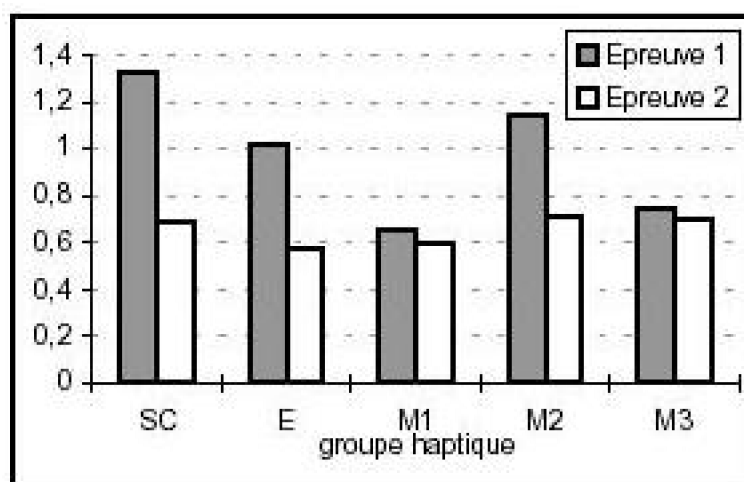


Figure 75 : Moyennes d'utilisation des procédés en  $\log(x+1)$  selon l'épreuve pour le groupe haptique.

### 2-5-1-1 DISCUSSION SUR L'UTILISATION DES PROCÉDÉS

Il semblerait que les procédés d'exploration haptique n'aient pas évolué à l'issue de l'entraînement. Cependant, l'étude des contrastes nous révèle de petites variations surtout pour le groupe haptique entre les épreuves 1 et 2. En fait, à l'épreuve 2, les procédés sont aussi utilisés les uns que les autres alors que des différences existaient à l'épreuve 1. Les procédés de suivi de contour, d'enveloppement et de métrique 2 en sont les principaux responsables avec une diminution significative de leur utilisation par les sujets, les rendant ainsi comparables aux autres procédés. Les sujets n'ont donc pas abandonné un ou plusieurs procédés d'exploration à l'issue de l'entraînement, mais ont réduit la fréquence d'utilisation de certains d'entre eux. Autrement dit, à l'épreuve 2, les sujets du groupe haptique utilisent tous les procédés d'exploration mais moins souvent. Ils ont notamment réduit leur recours au procédé de suivi de contour qui informe sur la forme précise, d'enveloppement plus spécifique à l'extraction de la forme globale et de métrique 2 qui est une mesure passive de la distance. Ces résultats vont dans le sens d'une recherche d'informations précises et générales sur la forme et par conséquent dans le sens d'une recherche de représentations visuelles. Les sujets voyants semblent donc bien tenter une traduction des informations haptiques en informations visuelles.

## 2-5-2 Le statut visuel

Une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [voyants, aveugles tardifs, aveugles précoces] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2] x procédés [SC, E, M1, M2, M3]) a été réalisée.

		Epreuve 1					Epreuve 2				
		SC	E	M1	M2	M3	SC	E	M1	M2	M3
Voyants Aveuglés	moyenne	26,75	17,88	5,25	19	12,88	15,75	10,63	8,875	11,5	14,75
	moyenne log	1,320	1,022	0,533	1,147	0,717	0,680	0,571	0,593	0,703	0,699
	écart-type	14,48	14,96	4,46	12,69	15,32	20,5	17,86	14,29	16,09	18,86
	écart-type log	0,45	0,609	0,430	0,505	0,654	0,782	0,677	0,633	0,665	0,785
Aveugles Précoces	moyenne	0	8,75	17,63	2	26,75	0	5,875	13,5	2,5	28,75
	moyenne log	0	0,663	0,969	0,274	1,221	0	0,364	0,585	0,219	1,194
	écart-type	0	13,73	16,97	4,106	17,31	0	13,88	19	6,302	18,08
	écart-type log	0	0,554	0,664	0,387	0,628	0	0,584	0,810	0,459	0,738
Aveugles Tardifs	moyenne	5	14,13	17,38	5,875	18,88	5,125	5,125	24,83	2,875	21,75
	moyenne log	0,238	0,838	0,905	0,554	1,042	0,239	0,479	1,177	0,257	0,962
	écart-type	13,74	17,23	17,45	11,06	18,13	14,1	7,791	16,67	6,357	19,22
	écart-type log	0,561	0,631	0,714	0,463	0,572	0,565	0,54	0,646	0,495	0,803

Tableau LV : Moyennes et écarts-types des procédés d'exploration utilisés selon le groupe et l'épreuve.

Les effets principaux de l'épreuve ( $F(1,21)=14.87$ ,  $p=.0009$ ) et du procédé ( $F(4,84)=3.84$ ,  $p=.0064$ ) sont significatifs. Une tendance est également observable pour le groupe ( $F(2,21)=2.78$ ,  $p=.085$ ). Les contrastes indiquent l'utilisation d'un nombre de procédé d'exploration inférieur pour l'épreuve 2. Les aveugles tardifs ne se distinguent ni des voyants ( $p=.212$ ), ni des aveugles précoces ( $p=.299$ ). En revanche, les voyants et les aveugles précoces diffèrent ( $p=.029$ ). D'autre part, les procédés métriques M1 et M3 sont autant utilisés l'un que l'autre ( $p=.315$ ) et beaucoup plus que le suivi de contour ( $p=.015$  pour M1 et  $.0008$  pour M2).

L'interaction groupes x procédés ( $F(8,84)=2.77$ ,  $p=.009$ ) est significative. Les voyants utilisent tous les procédés à égalité, alors que les aveugles tardifs privilégient les procédés métriques M1 et M3 à égalité ( $p=.891$ ) notamment par rapport à M2 ( $p<.037$ ) et au suivi de contour ( $p<.008$ ). Les aveugles précoces, quant à eux, se tournent majoritairement vers le procédé M3 en comparaison du suivi de contour ( $p=.000045$ ), de l'enveloppement ( $p=.015$ ) et de M2 ( $p=.001$ ). M1 est également très utilisé puisqu'il ne diffère pas fortement de M3 ( $p=.129$ ) mais dans une moindre mesure. Son utilisation est aussi fréquente que l'enveloppement ( $p=.349$ ).

Les voyants se distinguent significativement des aveugles précoces ( $p=.0006$ ) et des aveugles tardifs ( $p=.008$ ) sur le nombre d'utilisation du suivi de contour. En revanche, les aveugles sont semblables sur ce procédé ( $p=.398$ ). Les voyants recourent autant à l'enveloppement, à M1 et M3 que les aveugles tardifs. Le même constat peut être remarqué avec les aveugles précoces excepté pour M3 qui tend à être plus utilisé par les aveugles précoces ( $p=.088$ ). Les aveugles tardifs et précoces ne diffèrent significativement sur aucun procédé.

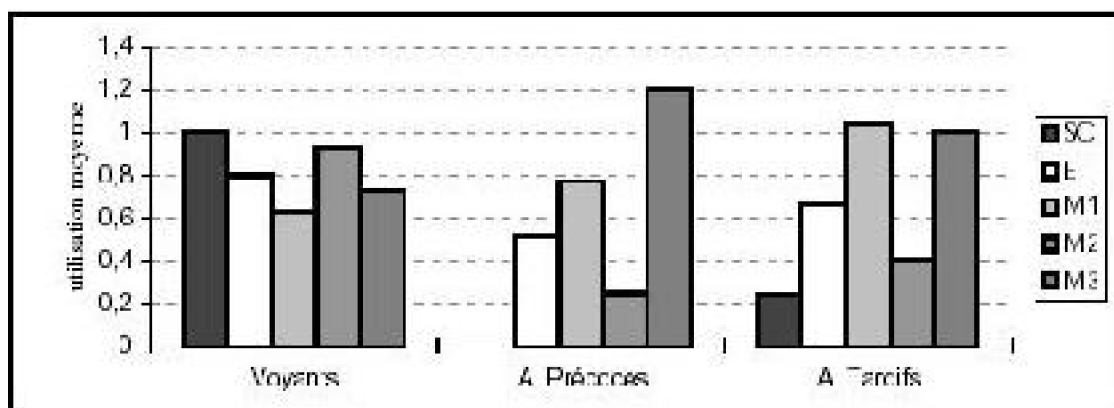


Figure 76 : Utilisation moyenne des procédés d'exploration haptique en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe toutes épreuves confondues.

Par ailleurs, si l'interaction groupes x épreuves n'est pas significative ( $F(2,21)=2.02$ ,  $p=.16$ ), l'interaction groupes x épreuves x procédés l'est ( $F(8,84)=2.15$ ,  $p<.04$ ). Les voyants à l'épreuve 1 privilégient le SC par rapport aux procédés métriques M1 ( $p=.00006$ ), M3 ( $p=.0005$ ) et presque à l'enveloppement ( $p=.062$ ). A l'épreuve 2, les procédés sont tous également utilisés ( $p>.397$ ).

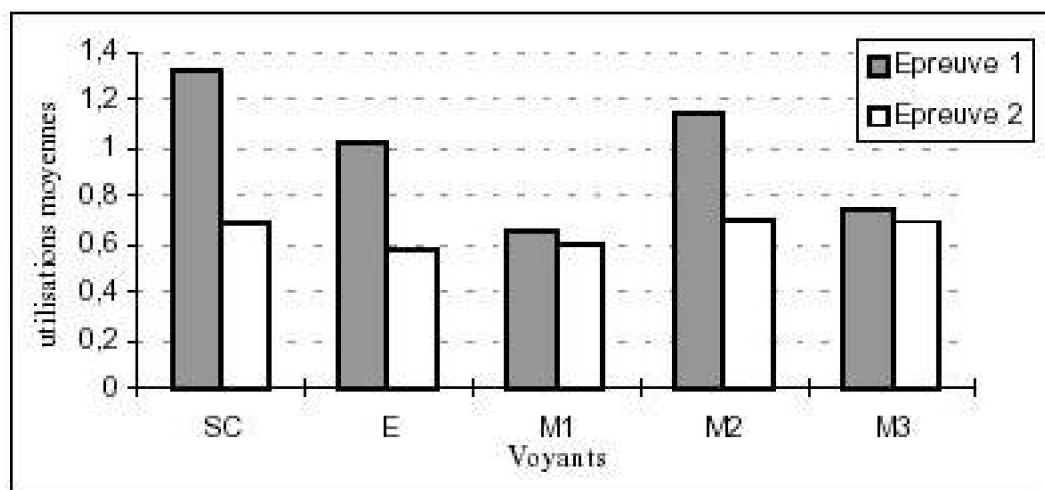


Figure 77 : Moyennes des utilisations en  $\log(x+1)$  pour chaque procédé selon l'épreuve.

Pour les aveugles tardifs à l'épreuve 1, l'enveloppement est autant utilisé que M1 ( $p=.674$ ) et M3 ( $p=.201$ ). Par ailleurs, M1 et M3 sont aussi fréquents ( $p=.389$ ). A l'épreuve 2, le recours à l'enveloppement diminue significativement ( $p=.025$ ). Le procédé M2 ( $p=.063$ ) tend également à être moins utilisé et M1 ( $p=.089$ ) plus utilisé à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. En revanche, aucun changement n'est enregistré pour le suivi de contour ( $p=.993$ ) et M3 ( $p=.616$ ).



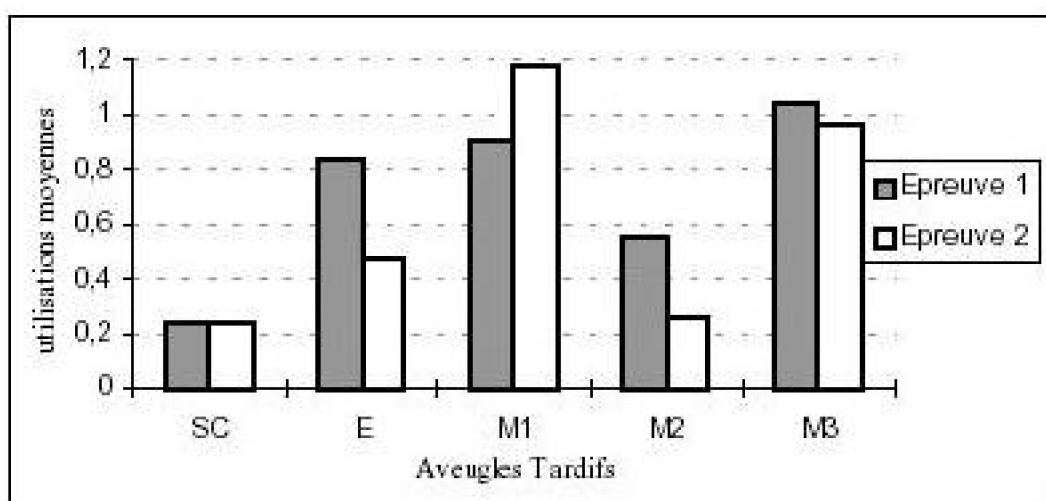


Figure 78 : Moyennes des utilisations en  $\log(x+1)$  pour chaque procédé selon l'épreuve.

Pour les aveugles précoces, le procédé métrique M1 ( $p=.017$ ) et dans une moindre mesure l'enveloppement ( $p=.062$ ) sont moins utilisés à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. Aucune différence n'est à noter pour M3 ( $p=.868$ ) et M2 ( $p=.730$ ).

A l'épreuve 1 ( $p=.115$ ) comme à l'épreuve 2, le procédé M3 tend à être plus utilisé que M1. M3 diffère de tous les autres procédés quelle que soit l'épreuve ( $p<.0012$ ).

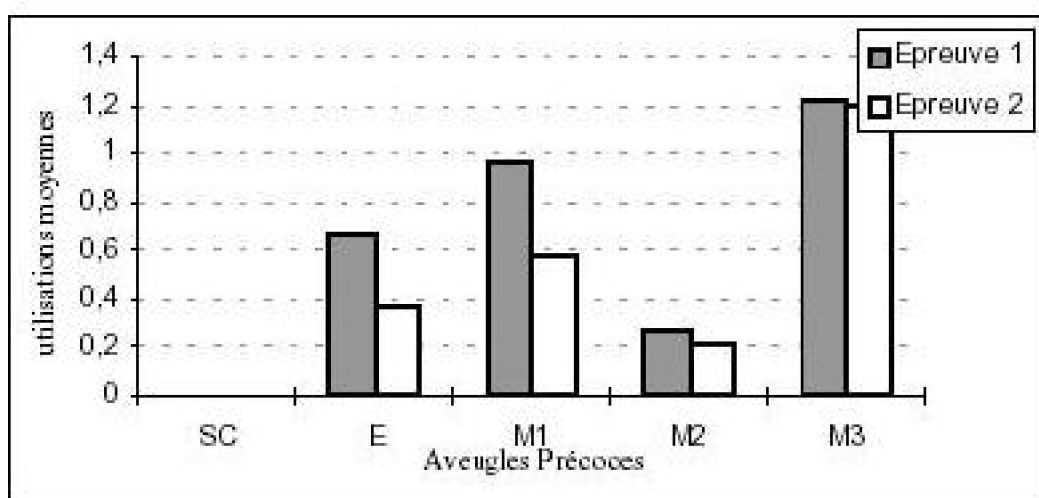


Figure 79 : Moyennes des utilisations en  $\log(x+1)$  pour chaque procédé selon l'épreuve.

### 2-5-2-1 DISCUSSION

Au niveau des doigts d'exploration, nous avons constaté une diminution des utilisations des doigts entre les épreuves. Cette diminution relate l'utilisation sélective d'un doigt ou de plusieurs au dépend d'une utilisation alternée des deux, au cours d'un même item. En ce qui concerne les différences intergroupes, nous pouvons dire que les voyants utilisent indifféremment les deux stratégies lors de leur exploration, alors que les aveugles tardifs et précoces privilégient une exploration à plusieurs doigts. D'autre part, les voyants changent plus souvent de stratégies que les aveugles. De même, la diminution du nombre

d'utilisation des doigts s'observe essentiellement chez les voyants. Cette importante diminution, à la fois du nombre d'emploi de la stratégie d'exploration avec un doigt et de la stratégie plusieurs doigts, s'explique par la diminution d'utilisation des procédés de suivi de contour impliquant obligatoirement un doigt et de la métrique M2 nécessitant un doigt ou plus. En résumé, le rapport entre un doigt et plusieurs n'a pas évolué, en revanche, il y a moins de changements de stratégies au cours des items.

Au niveau des procédés d'exploration haptiques, les résultats indiquent que des différences existent entre les voyants et les aveugles précoces. En revanche, les aveugles tardifs prennent une place intermédiaire entre ces deux groupes. Ils sont comparables aux voyants et aux aveugles précoces sur les procédés Enveloppement, M1 et M3. Toutefois, les voyants et les aveugles précoces ne tendent à différer sur ces procédés que pour M3. En revanche, les aveugles tardifs diffèrent des voyants et sont semblables aux aveugles précoces au niveau du suivi de contour. Ainsi, contrairement à ce que nous pensions, le suivi de contour n'est pas un procédé très utilisé par les aveugles tardifs. Cependant, si les voyants l'utilisent intensément lors de l'épreuve 1, la diminution est très significative à l'épreuve 2, ce qui n'est pas le cas pour le groupe de voyants auditifs. De ce fait, il semblerait que les voyants haptiques aient compris lors des séances d'entraînements que le suivi de contour ne leur permettait pas de résoudre la tâche. Les aveugles tardifs, plus expérimentés en matière d'exploration haptique l'auraient compris beaucoup plus tôt. Ceci explique notamment les différences de performances observées entre les voyants et les aveugles tardifs à l'épreuve 1.

D'autre part, l'amélioration des performances des voyants entre les épreuves ne peut pas être expliquée par l'emploi d'un procédé en particulier, puisqu'ils sont tous autant utilisés les uns que les autres à l'épreuve 2. Pourtant, à l'épreuve 1, le suivi de contour, l'enveloppement et M2 étaient plus fréquents que les autres procédés. Par conséquent, l'amélioration des performances peut être expliquée par la moins grande utilisation de ces procédés. Sur ces trois procédés, nous pouvons constater que les aveugles tardifs et les aveugles précoces sont comparables aux voyants au niveau de l'enveloppement. Or les aveugles ont de meilleures performances que les voyants. L'enveloppement n'explique donc pas les différences observées. Reste donc M2 et le suivi de contour. Ces deux procédés sont moins utilisés par les aveugles tardifs et précoces. Nous avons vu que le suivi de contour n'est pas un procédé très pertinent dans le cadre de notre tâche. En effet, nous avons vu avec Klatzky et Lederman (1987) que le suivi de contour informe sur de nombreuses propriétés. Par conséquent, ce procédé risque de noyer les sujets sous un flot d'informations. Un effort de tri des informations et de reconstruction d'une unité perceptive sera donc nécessaire avant la prise de décision. Le risque d'erreur est donc plus important et la diminution du nombre d'utilisation du suivi de contour observée chez les voyants, peut donc expliquer la diminution des erreurs, lors de la seconde épreuve. Le dernier procédé susceptible d'avoir participé à cette amélioration des performances est M2. Ce procédé est plutôt un procédé statique. Soit le sujet pose son doigt à plat sur la figure et repère les limites de la figure sur sa peau, soit il utilise ses doigts comme une pince pour évaluer la distance entre ses doigts en gardant le même écart pour le comparer à la figure suivante. Dans le premier cas, seule la modalité tactile cutanée est mise à contribution. De plus, si les récepteurs sont nombreux sur la pulpe des doigts, la

seconde phalange est beaucoup moins garnie en récepteurs (Johansson et Valbo, 1983). Or, la taille de nos figures pouvait atteindre 2,5cm. De ce fait, la pulpe du doigt ne permettait pas de couvrir la figure entièrement. La précision était donc moindre et le risque d'erreurs plus important. Dans le second cas, le sujet ne devait pas bouger du tout l'écart entre ses doigts, s'il voulait comparer la longueur de la première figure à la longueur de la seconde. Or, la longueur des figures ne permettait pas aux sujets de coller leurs doigts l'un contre l'autre pour maintenir l'écart constant. De ce fait, au cours du passage d'une figure à l'autre, les sujets pouvaient bouger l'écart de leurs doigts sans s'en rendre compte d'où des problèmes de précision. Ce procédé n'est donc pas le plus fiable et le plus approprié pour résoudre la tâche. Ainsi, la diminution des erreurs observée chez les voyants peut s'expliquer non par la sélection d'un procédé spécifique, mais par la réduction de l'utilisation des procédés les moins précis.

Au niveau des temps d'exploration, nous avons vu que les aveugles tardifs avaient des temps comparables aux voyants. Or, l'utilisation différentielle des procédés d'exploration ne permet pas d'expliquer ces différences, d'autant plus que leurs temps d'exploration sont significativement plus longs que ceux des aveugles précoces, alors que leurs procédés d'exploration et l'utilisation de leurs doigts sont comparables. Nous pensions que l'emploi des procédés d'enveloppement et de suivi de contour allait expliquer les différences de temps d'exploration. Or, les trois groupes ne diffèrent pas quant à l'utilisation de l'enveloppement et le suivi de contour est significativement plus utilisé par les voyants que par les aveugles tardifs et précoces. Le temps d'exploration n'étant pas justifié par le procédé d'exploration, la seule explication est le processus de traitement de l'information. Les aveugles tardifs et les voyants ont un mode de traitement spécifique, issu de leur expérience visuelle. L'expérience haptique a un rôle dans la sélection des procédés les plus pertinents pour résoudre la tâche et l'expérience visuelle, dans le traitement des informations issues de la mise en application de ces procédés. Ainsi, notre hypothèse d'une traduction des informations haptiques en informations visuelles est validée. En revanche, le débat sur la réussite de cette traduction reste ouvert. En effet, ce n'est pas parce que les sujets essaient de se représenter visuellement les figures que cette traduction est effective et réussie. Les voyants auditifs et les voyants haptiques à l'épreuve 1 ont la même recherche de traduction que les aveugles tardifs et les voyants haptiques à l'épreuve 2. Or, leurs performances sont très différentes. Cette recherche de visualisation des données haptiques n'explique pas les performances. En revanche, l'expérience haptique est un facteur décisif. Les aveugles tardifs sont aussi longs que les voyants mais ils utilisent des procédés d'exploration différents et obtiennent de ce fait, de meilleures performances. La réussite passe donc par le choix des procédés d'exploration haptique et non par la recherche d'une image visuelle. Par contre, la durée de l'exploration est la conséquence de la recherche de traduction visuelle. En accord avec Lederman, Klatzky et al. (1990), nous ne pensons pas que la traduction puisse être correctement réalisée et donc que le modèle d'un traitement des informations haptiques par médiation d'images soit valide. Par contre, nous pensons que cette traduction est tentée et c'est cette tentative qui explique la durée de l'exploration. Parallèlement à cette tentative, les informations haptiques seraient traitées par appréhension directe. Cependant, si les sujets n'ont pas d'expérience haptique le traitement de ces informations est plus délicat et conduit à des erreurs d'appréciation, d'où les mauvaises performances

des voyants. Une objection à ce propos peut être avancée en raison de la diminution des temps d'exploration des voyants auditifs. En effet, si le temps d'exploration est plus court, c'est qu'il n'y a pas de traduction des informations haptiques en informations visuelles. Or, ces sujets ont été entraînés à une tâche auditive qui ne nécessite pas de médiation visuelle. De ce fait, les sujets ont appris à répondre rapidement aux stimuli. Le retour à une tâche haptique les a mis face à un conflit. Soit une traduction en image devait être réactivée, soit la rapidité de réponse devait être privilégiée. Or, les personnes constituant ce groupe n'avaient pas d'informations sur le critère de différenciation des items. Par conséquent, il leur était plus facile de répondre rapidement sans recourir à une tentative de médiation d'images. Le temps d'exploration a donc été réduit considérablement. Pour autant, leurs performances n'ont pas évolué. Or, leurs procédés d'exploration haptique non plus. Que la médiation d'images soit tentée ou non, les performances ne sont pas modifiées, seul le temps d'exploration varie. En revanche, le choix des procédés d'exploration a une incidence sur les résultats. Les procédés de suivi de contour et M2 ne sont pas pertinents pour la résolution de la tâche. Par contre, il ne semble pas qu'il y ait de différence d'efficacité entre les procédés M1 et M3. Toutefois, nous avons considéré que le procédé M3 était une évolution des procédés M1 et M2. De ce fait, l'efficacité devrait être plus grande pour M3 que pour M1. Ce point n'a pas pu être mis en évidence. Pour aller plus loin dans le débat, nous observerons l'utilisation des procédés d'exploration haptique pour les figures. En effet, nous avons vu que certaines figures étaient mieux réussies que d'autres. Nous verrons si cela correspond également à un choix de procédés différents.

## 2-6 Les procédés d'exploration en fonction des figures

---

En effet, si certains procédés sont plus performants, nous devrions les retrouver lors des explorations des items les plus réussis et donc pour les explorations des figures A.

### 2-6-1 Les voyants

Une analyse de la variance à trois facteurs a été effectuée (groupes [haptique vs auditif] x épreuves (1 vs 2) x procédés [E, SC, M1, M2 vs M3]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs pour chaque type de figure.

#### **FIGURE A**

Les résultats montrent seulement un effet de l'épreuve ( $F(1,14)=10.37$ ,  $p=.006$ ). Les procédés sont moins utilisés à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1.

#### **FIGURE B**

L'effet de l'épreuve est toujours significatif ( $F(1,14)=8.23$ ,  $p=.013$ ). L'interaction groupes x procédés x épreuves est également significative ( $F(4,56)=3.07$ ,  $p=.023$ ). Les contrastes indiquent que les procédés d'exploration haptique du groupe auditif n'ont pas évolué et ce, quel que soit le procédé étudié ( $p>.125$ ). Pour le groupe haptique, des différences sont observables pour le SC ( $p=.0002$ ) avec une utilisation moindre à l'épreuve 2. Une

tendance est aussi esquissée pour M1 cette fois dans le sens d'une augmentation. Par ailleurs, les groupes auditif et haptique sont comparables à l'épreuve 1 excepté pour le SC, plus fréquent pour le groupe haptique.

### **FIGURE C**

Comme pour la figure A, seule l'effet de l'épreuve est significatif ( $F(1,14)=13.15$ ,  $p=.003$ ).

### **FIGURE D**

L'effet de l'épreuve tend seulement vers la significativité ( $F(1,14)=3.15$ ,  $p=.098$ ). Une tendance est également observée pour l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=3.99$ ,  $p=.066$ ). Les contrastes indiquent que le groupe auditif n'a pas évolué entre les épreuves ( $p=.877$ ), contrairement au groupe haptique ( $p=.018$ ) alors que les deux groupes sont semblables à l'épreuve 1 ( $p=.747$ ).

### **FIGURE E**

Les analyses ne révèlent qu'un effet de l'épreuve ( $F(1,14)=7.32$ ,  $p=.017$ ).

## **2-6-1-1 DISCUSSION**

Les analyses effectuées auprès des voyants ne laissent pas apparaître de différences entre les procédés quel que soit le procédé considéré excepté pour les figures de type B. Pour ces items une diminution significative du suivi de contour est observée ainsi qu'une tendance à l'augmentation pour M1 entre les épreuves 1 et 2. Les procédés n'évoluent pas différemment en fonction de la difficulté des items. Cependant, d'une façon générale voyants utilisent tous les procédés d'exploration à leur disposition ce qui ne permet peut-être pas d'observer l'évolution des procédés au cours des épreuves. Voyons donc ce qu'il en est pour les aveugles et en comparaison des voyants.

## **2-6-2 Le statut visuel**

Comme pour les voyants, nous avons effectué une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [voyants vs aveugles tardifs vs aveugles précoces] x épreuves (1 vs 2) x procédés [E, SC, M1,M2 vs M3]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs pour chaque type de figure.

### **FIGURE A**

L'effet de l'épreuve est significatif ( $F(1,21)=7.02$ ,  $p=.015$ ) avec une diminution du nombre de procédés employés à l'épreuve 2. L'effet principal du procédé est également significatif ( $F(4,84)=4.30$ ,  $p=.003$ ). Les contrastes indiquent que les procédés M1 et surtout M3 sont préférés aux autres. L'effet du groupe tend aussi vers la significativité ( $F(2,21)=3.21$ ,  $p=.061$ ). Les voyants se différencient des aveugles précoces ( $p=.022$ ) par une utilisation plus importante des procédés d'exploration. L'interaction groupes x procédés est elle aussi significative ( $F(8,84)=2.1$ ,  $p=.045$ ). Les aveugles tardifs et les aveugles précoces

sont comparables pour tous les procédés. En revanche, les voyants utilisent plus le suivi de contour ( $p=.012$ ) et M2 ( $p=.023$ ) que les aveugles précoces. Une tendance à la différence est observable entre les voyants et les aveugles tardifs au niveau des procédés SC ( $p=.079$ ), M1 ( $p=.065$ ) et M2 ( $p=.074$ ). Les procédés SC et M2 sont plus présents chez les voyants et M1 chez les aveugles tardifs.

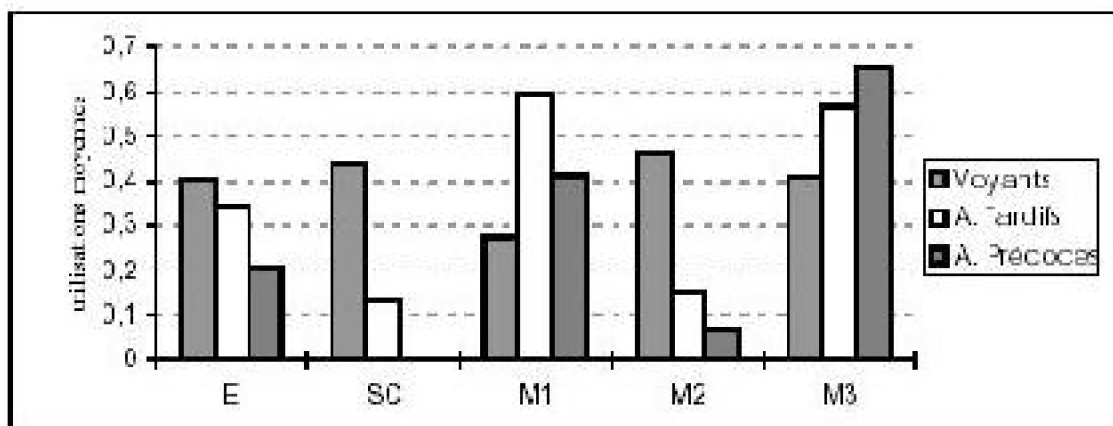


Figure 80 : Utilisations moyennes des procédés d'exploration en  $\log(x+1)$  selon le groupe et le procédé.

## FIGURE B

L'effet principal du procédé est significatif ( $F(4,84)=3.05$ ,  $p=.021$ ). Les procédés M1 et surtout M3 sont plus utilisés que les autres procédés. L'interaction groupes x épreuves tend vers la significativité ( $F(2,21)=3.21$ ,  $p=.060$ ). Le groupe des voyants est le seul à évoluer significativement entre les épreuves en réduisant le nombre de procédés employés à l'épreuve 2 ( $p=.025$ ). Les interactions groupes x procédés ( $F(8,84)=2.44$ ,  $p=.020$ ), épreuves x procédés ( $F(4,84)=4.21$ ,  $p=.004$ ) et groupes x épreuves x procédés ( $F(8,84)=4.10$ ,  $p=.0004$ ) sont également significatifs.

Les contrastes indiquent que les aveugles précoces et tardifs diffèrent uniquement sur l'utilisation de M2 ( $p=.041$ ), plus fréquent chez les aveugles précoces. Par ailleurs, les voyants se distinguent des aveugles tardifs sur le SC ( $p=.048$ ) et M2 ( $p=.041$ ) et des aveugles précoces sur le SC ( $p=.007$ ) et M3 ( $p=.038$ ). Les voyants recourent plus au suivi de contour que les aveugles et moins à M2 et M3. D'autre part, l'utilisation des procédés d'exploration E ( $p=.012$ ), SC ( $p=.032$ ) et dans une moindre mesure M2 ( $p=.058$ ) est moins fréquente à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1.

En ce qui concerne l'interaction groupes x épreuves x procédés, les contrastes nous indiquent que les aveugles tardifs utilisent moins l'enveloppement ( $p=.045$ ) lors de la seconde épreuve et un peu moins M1 ( $p=.069$ ). Les aveugles précoces, au contraire, recourent davantage à M2 ( $p=.00005$ ) à l'épreuve 2. Les voyants explorent moins avec SC ( $p=.0003$ ) et plus avec M1 ( $p=.059$ ) lors de la deuxième épreuve que lors de la première.

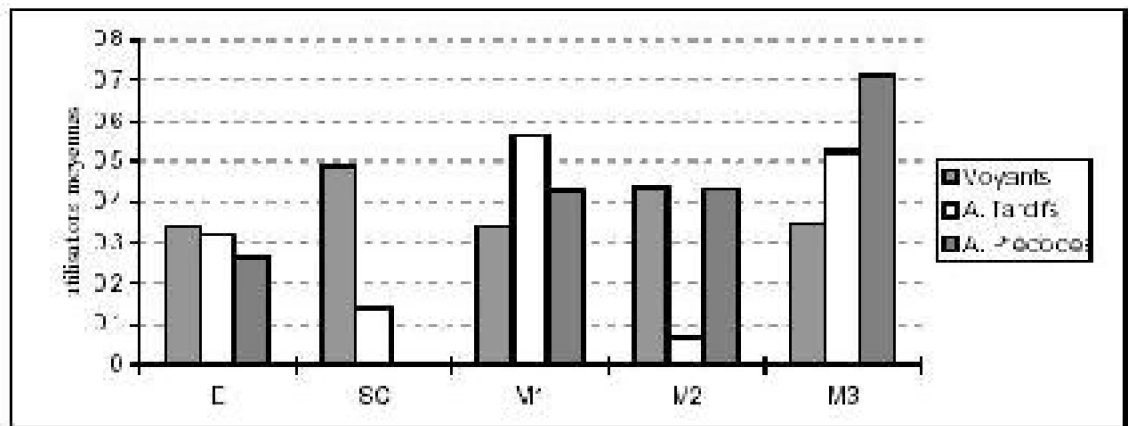


Figure 81 : Utilisations moyennes des procédés d'exploration en log(x+1) selon le groupe et le procédé.

### FIGURE C

L'effet de la figure ( $F(4,84)=4.95$ ,  $p=.001$ ) indique une utilisation privilégiée de M3 suivi de M1. L'effet de l'épreuve ( $F(1,21)=11.26$ ,  $p=.003$ ) est toujours présent et l'effet du groupe tend vers la significativité ( $F(2,21)=3.35$ ,  $p=.055$ ). Les voyants utilisent plus de procédés que les aveugles précoces. Les interactions groupes x épreuves ( $F(2,21)=3.55$ ,  $p=.047$ ) et groupes x procédés ( $F(8,84)=3.05$ ,  $p=.005$ ) sont significatives. Les contrastes indiquent, comme précédemment, une évolution spécifique des voyants, dans le sens d'une diminution du nombre de procédés utilisés. D'autre part, les aveugles sont comparables pour tous les procédés étudiés. En revanche, les voyants diffèrent des aveugles tardifs sur le SC ( $p=.034$ ), M1 ( $p=.045$ ) et M2 ( $p=.031$ ) et des aveugles précoces sur le SC ( $p=.004$ ) et M2 ( $p=.007$ ) avec une tendance pour M3 ( $p=.08$ ). Les voyants utilisent plus les procédés SC et M2 que les aveugles et moins M1 et M3.

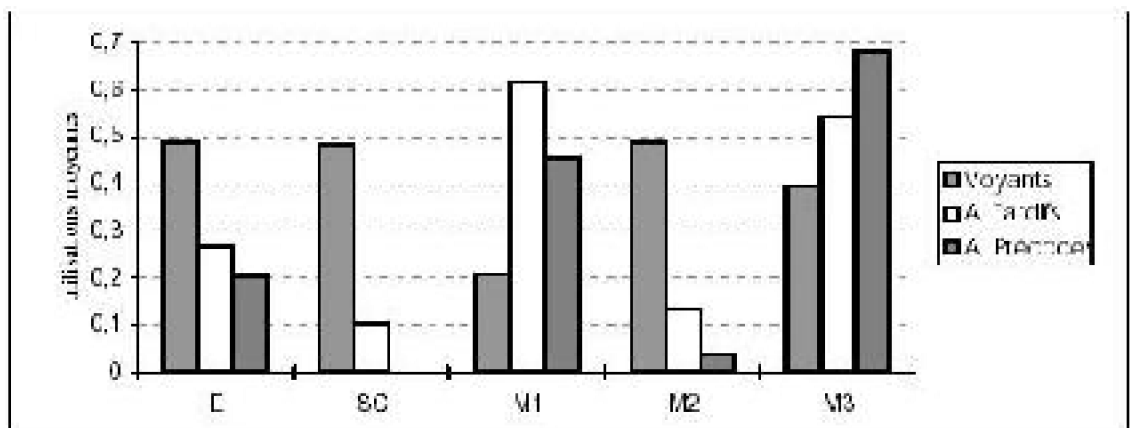


Figure 82 : Utilisations moyennes des procédés d'exploration en log(x+1) selon le groupe et le procédé.

### FIGURE D

Les analyses montrent un effet du procédé ( $F(4,84)=4.49$ ,  $p=.003$ ) avec une préférence

pour M1 et surtout M3, et une tendance pour le groupe ( $F(2,21)=2.84$ ,  $p=.081$ ) et pour l'épreuve ( $F(1,21)=4.17$ ,  $p=.054$ ). Le nombre de procédés diminue entre les épreuves et les voyants utilisent plus de procédés que les aveugles précoces ( $p=.027$ ). L'interaction groupes x procédés est également significative ( $F(8,84)=3.10$ ,  $p=.004$ ). Les aveugles précoces et tardifs sont comparables sur tous les procédés. En revanche, les voyants diffèrent des aveugles tardifs sur le SC ( $p=.033$ ) et M2 ( $p=.011$ ) avec une tendance pour M1 ( $p=.099$ ) et des aveugles précoces sur le SC ( $p=.005$ ), M2 ( $p=.01$ ) et M3 ( $p=.027$ ), toujours avec une préférence des voyants pour le SC et M2 et une préférence des aveugles pour M1 et M3.

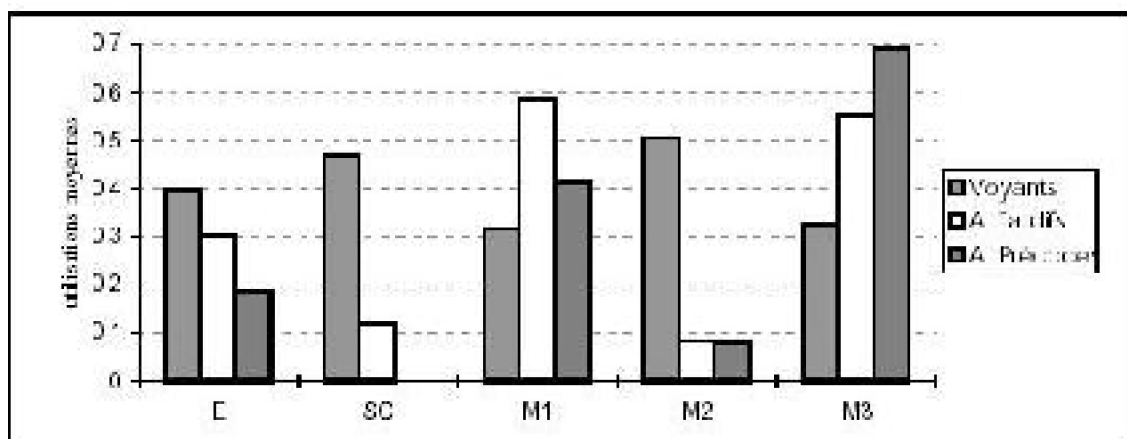


Figure 83 : Utilisations moyennes des procédés d'exploration en  $\log(x+1)$  selon le groupe et le procédé.

## FIGURE E

Les effets principaux de l'épreuve ( $F(1,21)=7.75$ ,  $p=.011$ ) et du procédé ( $F(4, 84)=3.65$ ,  $p=.009$ ) sont significatifs. Les procédés M1 et surtout M3 sont privilégiés par les sujets. La tendance de l'effet de groupe ( $F(2,21)=2.91$ ,  $p=.077$ ) indique seulement une différence entre les voyants et les aveugles précoces ( $p=.028$ ). L'interaction groupes x procédés est également significative ( $F(8,84)=2.67$ ,  $p=.012$ ). Les aveugles ne diffèrent sur aucun procédé. Les voyants se distinguent des aveugles tardifs sur le SC ( $p=.022$ ) et très légèrement sur M2 ( $p=.09$ ) et des aveugles précoces sur le SC ( $p=.003$ ), M2 ( $p=.016$ ) et M3 ( $p=.039$ ).



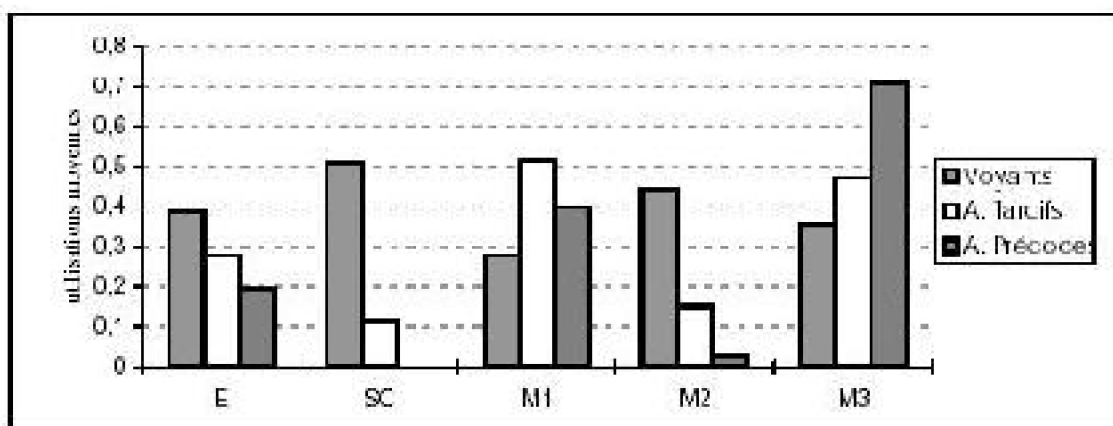


Figure 84 : Utilisations moyennes des procédés d'exploration en  $\log(x+1)$  selon le groupe et le procédé.

### 2-6-2-1 DISCUSSION

Les résultats mettent en évidence plusieurs points. Tout d'abord, les voyants sont les seuls à utiliser moins de procédés à l'épreuve 2 qu'à l'épreuve 1. De plus, ils se différencient des aveugles précoces comme des aveugles tardifs sur plusieurs procédés, alors que les aveugles ne divergent pas. Les voyants restent fidèles aux procédés SC et M2, malgré la nette diminution de ces procédés à l'épreuve 2. Les aveugles précoces se tournent plus vers le procédé M3 et les aveugles tardifs vers le procédé M1 que les voyants. Ces différences ne sont pas contradictoires avec les observations précédentes. Globalement, nous retrouvons le même type de rapport entre les aveugles et les voyants et leur choix de procédés selon les figures que celui constaté pour l'ensemble de l'épreuve.

D'autre part, nous pouvons remarquer que le procédé M3 est le procédé le plus fréquemment utilisé. Nous le retrouvons en tête pour toutes les figures. Or, les figures A et E étant les figures les mieux réussies, nous nous attendions à relever les procédés les plus pertinents pour ce type de figures, ce qui n'est pas le cas. Quel que soit le type de figures, les sujets ont utilisé les mêmes procédés. De ce fait, ce n'est pas le procédé qui a permis une meilleure résolution de ces items, mais bien la facilité induite par les figures elles-mêmes. En revanche, nous avons vu que les voyants ont modifié leurs procédés d'exploration non pas en sélectionnant un procédé mais en réduisant leur emploi des procédés les moins pertinents pour la tâche. De plus, les aveugles ont peu évolué dans le choix de leurs procédés d'exploration. Ces considérations expliquent la non significativité des interactions groupes x épreuves x procédés.

Cependant, nous avons avancé l'hypothèse que le procédé M3 serait une évolution des procédés M1 et M2. Or, les aveugles tardifs et précoces obtiennent les mêmes performances et ne diffèrent pas significativement au niveau des procédés. Ceci laisserait entrevoir que la combinaison qu'ils utilisent est performante. Toutefois, tout en optant pour des procédés différents, les voyants parviennent lors de la seconde épreuve à égaler les performances des aveugles à la première épreuve. Ceci semble confirmer le faible impact des procédés sur les performances. Pourtant, les voyants ont dû effectuer quelques

changements de procédés entre les épreuves, pour obtenir de telles performances.

Ce point relance donc le débat sur l'efficacité des procédés. Les aveugles utilisent majoritairement les procédés métriques M3 et M1 mais très peu M2. Or M2 est un procédé statique qui implique essentiellement une activité cutanée passive. Ce procédé est par ailleurs fortement employé par les voyants. Contrairement aux procédés dynamiques, ce mode d'exploration ne nécessite qu'un traitement cutané. Les autres procédés requièrent à la fois un traitement cutané et un traitement de la position des doigts, de la main, des articulations et de la vitesse de déplacement.

Nous avons vu que les voyants ne sont pas experts en modalité haptique. De ce fait, pour des sujets en difficulté face à la tâche, le traitement de ces informations nombreuses et variées est une barrière à la perception. L'utilisation du procédé M2 permet peut-être aux sujets de se créer un espace où l'information est traitée de manière certes, plus séquentielle mais également avec moins de risque d'erreurs. Pour les personnes plus expérimentées et par conséquent, plus habituées aux traitements des informations haptiques, la décomposition des informations est une perte de temps.

Le procédé M1 permet d'obtenir des informations de manière rapide mais le procédé M3 permet d'obtenir à la fois les informations issues de M1 et de M2 et ce, dans un même temps. Or, Klatzky et Lederman (1993) ont montré que la compatibilité des procédés diminuait le risque d'erreur en restreignant la séquentialité des informations dues à une exploration successive. Cependant, pour que ce traitement en parallèle puisse être appliqué, il faut que le sujet accepte de recevoir dans le même temps des informations différentes. Ce point ne peut se réaliser que si le sujet se sent capable de gérer ces informations. L'utilisation conjointe de deux procédés est une évolution du mode exploratoire. Pour nous risquer à une comparaison plus concrète, nous pouvons nous référer à un apprenti conducteur. Lors des premières séances de conduite, le futur automobiliste ne peut pas gérer l'ensemble des outils nécessaires à la conduite. Il ne parvient pas à centrer son attention à la fois sur le volant, les pédales, la circulation et les rétroviseurs. Il va devoir s'habituer à chaque élément progressivement avant de réaliser simultanément différentes actions.

Ainsi, il ne suffit pas que les procédés exploratoires soient compatibles pour que les sujets soient capables de les utiliser conjointement. Cependant, nos résultats ne permettent pas à l'heure actuelle de montrer que le procédé M3 est un procédé plus performant que les autres pour notre tâche. De nouvelles études seront nécessaires pour tester ce postulat. Nous devons par exemple, imposer un procédé d'exploration à nos sujets et observer leurs performances. Bien évidemment, cela suppose de former les sujets à ce mode exploratoire au préalable. Nous n'avons pas réalisé ce type d'expérience au cours de notre thèse car nous voulions nous centrer sur les capacités adaptatives spontanées des sujets et non leur imposer un mode d'exploration qu'ils n'auraient pas trouvé eux-mêmes. En revanche, ce type de recherche pourra se réaliser dans le prolongement de notre thèse.

En résumé :

Les aveugles privilégient les procédés métriques pour leur exploration, tandis que les voyants utilisent tous les procédés d'exploration à leur disposition.

L'entraînement n'a pas fait apparaître de gros changements entre les épreuves. Toutefois, les voyants ont utilisé de manière moins massive le suivi de contour.

Les sujets, voyants et aveugles, ne changent pas de procédés en fonction du type de figure.

L'utilisation de procédés pertinents au regard de la tâche, ne suffit pas pour obtenir de bons résultats. Il faut que le sujet soit capable de traiter les informations que la mise en place de ces procédés lui procure. Le rôle de l'expérience prend ici toute son ampleur.



## Chapitre 9 : l'incidence de la main d'exploration.

Au cours de cette thèse, nous nous sommes intéressés au statut visuel et haptique des sujets mais nous n'avons pas pris en compte le facteur de la main d'exploration. Tous nos sujets étaient droitiers et nous leur avons proposé une exploration avec la main droite. Les travaux testant l'influence de la main d'exploration sur les performances ne sont pas tous concordants. Il semble tout de même que l'exploration manuelle gauche, impliquant l'hémisphère droit, soit plus performante dans le traitement des informations spatiales et l'exploration droite recourant à l'hémisphère gauche dans le traitement des tâches verbales. Cependant, l'exploration haptique requiert un traitement séquentiel des informations. Or, cette séquentialité induit l'intervention privilégiée de l'hémisphère gauche, l'hémisphère droit, traitant plutôt les informations globales (Stréri, 2000). De plus, de multiples facteurs interviennent et pondèrent ces tendances. Ainsi, la tâche (reconnaissance ou discrimination) influe sur les performances. Paoletti (1990) a montré auprès d'enfants aveugles précoces que les tâches de reconnaissance étaient mieux réussies par une exploration droite, alors qu'aucune dominance n'a été relevée pour la tâche de discrimination. Au niveau de la lecture du Braille, aucune dominance manuelle réelle n'a pu être établie (Bertelson et Mousty, 1985, 1991). Franco et Sperry (1977) ont également montré que plus les figures géométriques sont complexes, plus l'hémisphère gauche intervient dans le traitement et donc plus l'exploration avec la main droite est pertinente. Notre expérience se subdivise en deux parties. La première partie fait intervenir la reconnaissance de figures géométriques simples et la seconde une tâche de

reconnaissance de figures géométriques complexes. Par conséquent, la main gauche devrait être plus performante pour les figures géométriques simples et moins performantes que les figures géométriques complexes. Cependant, la tâche étant une tâche de reconnaissance, les différences devraient être faibles. Nous postulons donc que les différences observées entre nos deux groupes de voyants droitiers, l'un travaillant avec la main droite et l'autre avec la main gauche ne devraient pas être significatives.

## 1- Sujets

Pour le groupe haptique main gauche, nous avons rencontré huit voyants droitiers. L'âge moyen de ces sujets était de 25 ans 7 mois avec un écart-type de 6 ans 9 mois. Le quotient de latéralité moyen de 82,57 au test abrégé d'Oldfield (1971) obtenu par nos sujets avec un écart-type de 17,01 indique leur dominance manuelle droite. Le groupe haptique travaillant avec la main droite est le groupe décrit et étudié au cours des analyses précédentes.

## 2- Le nombre de bonnes réponses

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [main droite vs main gauche] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le deuxième facteur a été effectuée.

			Moyenne	Ecart-type
Epreuve 1	Main Droite	nbre	20,5	4,629
		log	1,323	0,098
	Main Gauche	nbre	23	5,4
		log	1,368	0,116
Epreuve 2	Main Droite	nbre	27,125	7,039
		log	1,437	0,112
	Main Gauche	nbre	29,38	4,033
		log	1,479	0,063

Tableau LVI : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses en nombre de bonnes réponses et en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

Les résultats indiquent seulement un effet de l'épreuve ( $F(1,14)=21.86$ ,  $p=.0004$ ). Le nombre de bonnes réponses augmente à l'épreuve 2. L'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)=.004$ ,  $p=.949$ ) n'est pas significative. Il en est de même pour l'effet du groupe ( $F(1,14)=.99$ ,  $p=.336$ ).

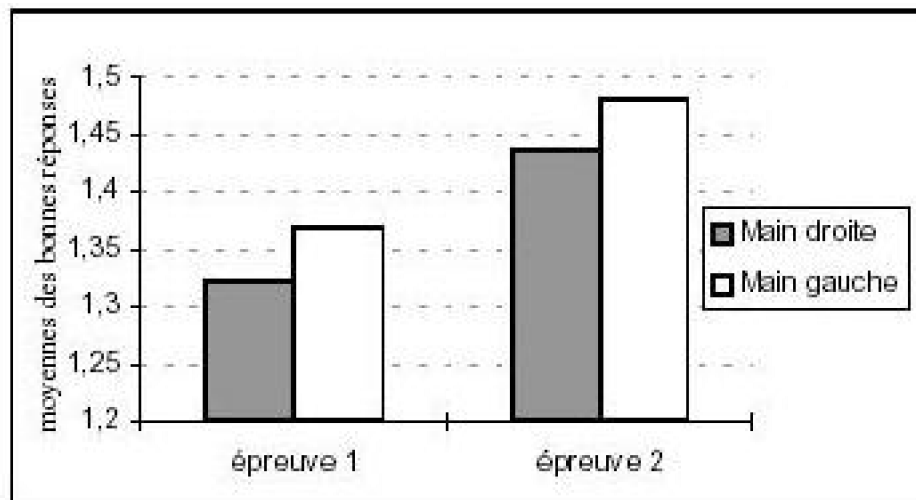


Figure 85 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

### 3- Les amplitudes d'erreurs

Une analyse de la variance à deux facteurs (groupes [main droite vs main gauche] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2]) avec mesures répétées sur le deuxième facteur a été réalisée.

			Moyenne	Ecart-type
Epreuve 1	Main Droite	mm	67,75	22,61
		log	1,813	0,16
	Main Gauche	mm	50,75	26,94
		log	1,67	0,19
Epreuve 2	Main Droite	mm	37,5	26,05
		log	1,469	0,383
	Main Gauche	mm	25,75	13,41
		log	1,385	0,2

Tableau LVII : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs en millimètres et en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

L'effet principal de l'épreuve ( $F(1,14)=18.24$ ,  $p=.0008$ ) est significatif. Les amplitudes d'erreurs sont moins importantes à l'épreuve 2. L'effet de l'interaction groupes x épreuves ( $F(1,14)= 0.11$ ,  $p=.743$ ) et du groupe ( $F(1,14)=1.18$ ,  $p=.295$ ) ne sont pas significatifs.

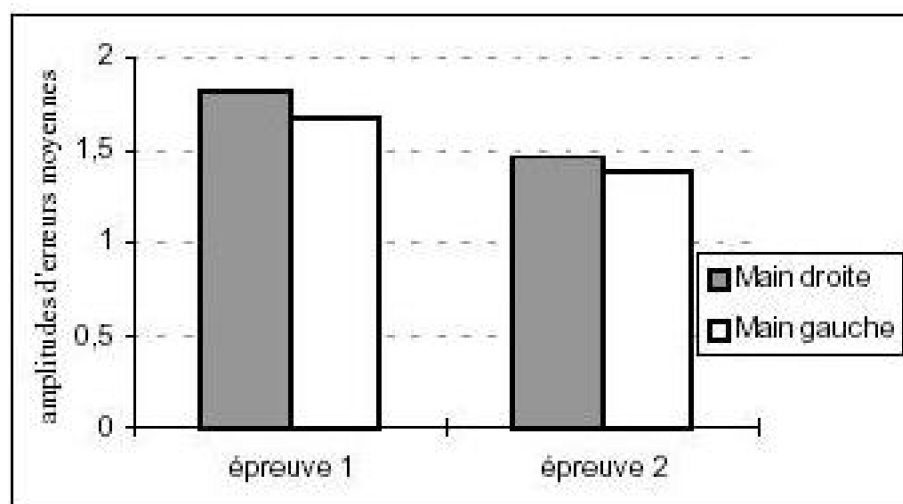


Figure 86 : Moyennes des bonnes réponses en  $\log(x+1)$  en fonction du groupe et de l'épreuve.

## 4- Les hexagones

### 4-1 Le nombre de bonnes réponses

Une comparaison de moyennes pour deux petits échantillons indépendants a été effectuée.

	Moyenne	Ecart-type	Moyenne en log	Ecart-type en log
Main Droite	1,25	1,908	0,712	0,127
Main Gauche	3,625	1,188	0,653	0,112

Tableau LVIII : Moyennes et écarts-types des bonnes réponses selon le groupe.

Le t de Student nous informe que la différence n'est pas significative ( $t(1,14)=1.49$ ,  $p=.158$ ) même si une légère tendance semble se profiler en faveur du groupe travaillant avec la main droite.



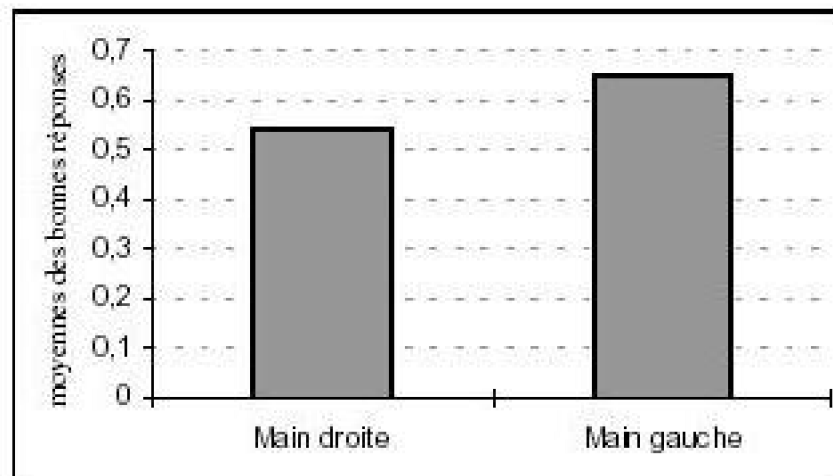


Figure 87 : Moyennes des bonnes réponses en fonction du groupe.

## 4-2 Les amplitudes d'erreurs

Nous avons réalisé une comparaison de moyennes pour deux petits échantillons indépendants.

	Moyenne	Ecart type	Moyenne en log	Ecart type en log
Main Droite	13.5	5,837	1,107	0,272
Main Gauche	17	4,408	1,242	0,117

Tableau LIX : Moyennes et écarts-types des amplitudes d'erreurs selon le groupe.

Le t de Student nous informe que la différence n'est pas significative ( $t(1,14) = -1.29$ ,  $p = .219$ ).

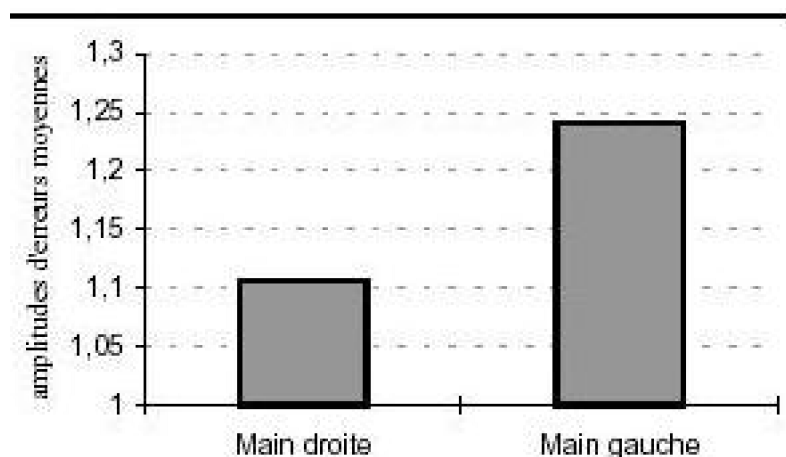


Figure 88 : Moyennes des amplitudes d'erreurs en fonction du groupe.

## 4-3 Discussion

Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les deux groupes. La main d'exploration n'a pas eu d'incidence particulière sur la résolution de nos tâches.

Contrairement aux travaux sur les tâches de reconnaissance où la main droite est plus performante que la main gauche, nous n'observons pas de différence. Notre tâche relève à la fois des capacités de l'hémisphère gauche et de l'hémisphère droit, avec une tâche de reconnaissance plutôt dévolue à l'hémisphère gauche et une analyse séquentielle des informations haptiques impliquant l'hémisphère droit. La complexité des formes géométriques dans la seconde phase ne parvient pas à contrebalancer les performances en fonction de la main d'exploration. Nous pouvons alors nous demander si cette absence de différence significative entre les mains d'exploration se relève également au niveau des procédés d'exploration haptique.

## 5- Les procédés d'exploration haptique

Nous avons réalisé une analyse de la variance à trois facteurs (groupes [auditif vs haptique] x épreuves [épreuve 1 vs épreuve 2] x procédés [SC, E, M1, M2, M3]) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

		Epreuve 1					Epreuve 2				
		SC	E	M1	M2	M3	SC	E	M1	M2	M3
main droite	moyenne	16,75	17,88	5,25	19	12,38	15,25	10,63	8,875	11,5	14,75
	moyenne log	1,370	1,022	0,653	1,147	0,747	0,680	0,574	0,593	0,708	0,699
	écart-type	14,48	14,06	4,46	12,69	15,32	20,5	17,86	14,20	16,09	18,86
	écart-type log	0,45	0,609	0,430	0,505	0,664	0,782	0,677	0,633	0,565	0,786
main gauche	moyenne	8,375	12,5	13,38	15,88	31,5	2,875	3,75	6,625	11,5	20,5
	moyenne log	0,697	18,13	1	1,103	1,369	0,25	0,316	0,345	0,673	1,275
	écart-type	11,75	10,55	13,74	12,84	14,59	6,664	8,049	14,23	17,73	17,47
	écart-type log	0,515	0,394	0,387	0,365	0,556	0,49	0,523	0,651	0,518	0,623

Tableau LX : Moyennes et écarts-types des procédés d'exploration utilisés selon le groupe et l'épreuve.

Les résultats montrent un effet du groupe ( $F(1,14)=5.20$ ,  $p=.039$ ) et un effet de l'épreuve ( $F(1,14)=54.68$ ,  $p=.000003$ ). Le nombre de procédés utilisés est moins important à l'épreuve 2. Il en est de même pour le groupe travaillant avec la main gauche. Les autres effets principaux, ainsi que les interactions ne sont pas significatifs.

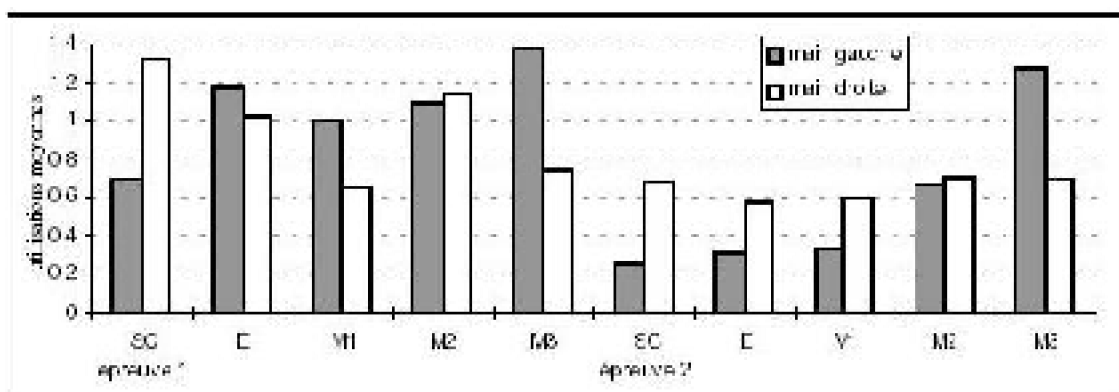


Figure 89 : Moyennes en  $\log(x+1)$  des procédés d'exploration utilisés selon le groupe et

*l'épreuve.*

Ainsi, les groupes de voyants travaillant avec la main droite ou la main gauche ne se distinguent ni sur les performances ni sur l'utilisation des procédés d'exploration haptique. La seule différence que nous pouvons observer se situe au niveau du nombre de changement de procédés au cours de la passation. Les voyants explorant avec la main droite, utilisent plus de procédés que ceux utilisant la main gauche. Cependant, ce nombre de changement n'a pas d'incidence sur le type de procédé. Les interactions ne sont pas significatives. La main d'exploration ne permet pas de relever des différences entre les voyants dans le cadre spécifique de notre tâche. Nous pouvons nous interroger sur cette incidence auprès des sujets aveugles. Pour poursuivre cette analyse, il faudrait que nous rencontrions de nouvelles personnes aveugles et que nous propositions la même tâche avec une exploration manuelle gauche. Nous pourrions alors comparer les groupes non seulement au niveau de leur statut visuel et haptique mais aussi l'incidence de leur main d'exploration. Cette question pourra être l'objet de recherches ultérieures portant plus spécifiquement sur l'impact de la main d'exploration et peut-être également sur la dominance manuelle des sujets. En effet, nous avons sélectionné des personnes droitières pour travailler avec la main droite. La question légitime que nous pouvons nous poser est, que se serait-il passé, si nous avions choisi des personnes gauchères travaillant avec la main gauche ? Certes les données neurophysiologiques peuvent nous apporter quelques éléments de réponses, mais cette question serait à étudier plus précisément au cours de recherches ultérieures.



## Conclusion et perspectives de recherche.

Au cours de ce travail, nous avons abordé l'étude des différences individuelles au travers du statut visuel de sujets explorant des figures géométriques planes représentées en relief. Nous avons tout d'abord traité ces différences sous l'angle des performances, puis nous nous sommes intéressés aux facteurs qui ont pu influencer ces performances, avec notamment des difficultés induites par le matériel expérimental.

Dans un autre temps, nous nous sommes interrogés sur les stratégies d'exploration mises en place par les sujets pour résoudre le problème auquel ils sont confrontés.

Enfin, nous avons effleuré l'incidence de la main d'exploration sur les performances et les procédés d'exploration haptique. Nous rappellerons au cours de cette partie les principaux résultats de cette phase expérimentale. Puis, dans une seconde phase, nous ouvrirons notre travail sur de nouvelles perspectives de recherches.

Notre position théorique face à cette étude différentielle du statut visuel, repose sur le modèle de la vicariance proposé par Reuchlin (1978) et sur le débat entre un mode de traitement des informations haptiques par médiation d'images ou par appréhension directe (Klatzky, Lederman, 1987).

Les travaux sur la plasticité cérébrale montrent que le cortex visuel est investi différemment selon le statut visuel des sujets. Les aveugles, tardifs et précoces, sont capables d'utiliser cette zone cérébrale pour réaliser des tâches non visuelles, alors que

les voyants ne le peuvent pas (De Volder, 1997 ; de Volder et al, 1997 ; Elbert et al, 1995). En ce sens, les aveugles se distinguent des voyants. Toutefois, la présence d'une expérience visuelle, même suivie d'une réorganisation corticale, ne transforme pas les aveugles tardifs en aveugles précoces. L'expérience visuelle laisse des traces dans la structuration cognitive des sujets. Les aveugles tardifs conservent des représentations visuelles ou des représentations se référant à des indices visuels, contrairement aux aveugles précoces qui n'ont pas pu construire de représentations visuelles (Portaier, 1996). De ce fait, la structuration cognitive des aveugles tardifs ressemble plus à celle des voyants qu'à celle des aveugles précoces. Les aveugles tardifs et les voyants partagent des références communes. Par conséquent, nous pensons que ces deux populations développent des modes de raisonnement comparables, tandis que les aveugles précoces se réfèrent à des modes de raisonnement totalement originaux.

Outre la cécité, une différence sépare les aveugles tardifs des voyants, il s'agit de l'expérience des aveugles dans la recherche de solutions vicariantes. Ainsi, les aveugles tardifs ont développé des stratégies adaptées à leur nouvel état et leurs permettant de résoudre les problèmes, malgré leur cécité. C'est le principe des processus vicariants (Reuchlin, 1978). Ceci ne signifie pas que les aveugles ont surdéveloppé les autres modalités sensorielles, mais qu'ils ont appris à prêter attention aux diverses informations sensorielles et à en tirer profit, alors que les voyants, forts de leur perception visuelle, les tiennent parfois pour quantité négligeable. Cela ne signifie pas non plus que les aveugles tardifs sont sur-adaptés et qu'ils peuvent se sortir de toutes les situations. Cela signifie seulement, que la cécité les a confrontés à différents problèmes, qu'ils ont dû résoudre, sans le recours de la vue. De ce fait, ils ont déjà testé des stratégies face à certaines situations et ils ont donc plus d'expérience que les voyants dans certains domaines. Ainsi, dans le cadre de la modalité haptique, les aveugles ont plus d'expériences que les voyants.

Toutefois, cela ne veut pas dire que tous les aveugles sont experts en modalité haptique et sont aussi performants les uns que les autres. Les différences interindividuelles se révèlent dans tout groupe. Malgré ces différences, nous avons vu que les voyants et les aveugles tardifs sont assez comparables, si ce n'est au niveau de l'expérience. Ainsi, si les aveugles sont handicapés au regard de la modalité visuelle, nous pourrions également dire que les voyants sont handicapés par rapport aux aveugles dans certains domaines. Non pas parce qu'une modalité leur fait défaut, mais parce qu'ils y prêtent moins attention. De ce fait, nous pensons que les voyants, dans le cadre de la modalité haptique, sont capables d'égaler les aveugles, à condition qu'un espace de test et de réflexion leur soit offert. Si les voyants sont placés dans une situation où ils peuvent construire des inférences et étudier leurs conséquences, ils vont développer des stratégies semblables à celles des aveugles tardifs. En revanche, ces deux groupes vont se distinguer des aveugles précoces par leur mode de raisonnement. Nous pensons que les voyants et les aveugles tardifs vont être marqués par leurs expériences visuelles à tel point qu'ils vont essayer de traduire les informations haptiques en informations visuelles. Les aveugles précoces, quant à eux, ne peuvent bien évidemment pas accéder à ce processus, en raison d'un déficit précoce les privant d'expérience visuelle. De ce fait, les aveugles précoces résoudraient la tâche par appréhension directe. Les voyants et les

aveugles tardifs tenteraient une médiation par l'image. Cependant, les travaux expérimentaux ne permettent pas de valider cette hypothèse d'une traduction visuelle des informations haptiques. Toutefois, ce n'est parce qu'une voie conduit à une impasse que les sujets ne vont pas s'y engager. Par conséquent, nous pensons que les sujets avec expérience visuelle vont malgré tout chercher à se représenter visuellement les figures explorées haptiquement. Néanmoins, le processus d'appréhension directe va se mettre en place parallèlement à la tentative de traduction. Ce traitement direct des informations haptiques sera effectivement ralenti par la tentative de traduction mais ne sera pas écarté, ce qui permettra aux sujets d'obtenir des performances comparables aux aveugles précoces.

Pour tester ce postulat, nous avons construit un matériel expérimental composé de figures géométriques. La tâche des sujets était de retrouver la figure identique au modèle parmi trois propositions. Les sujets ont été entraînés à la tâche, de telle sorte qu'ils puissent disposer d'un espace de réflexion et d'essais pour tester leur inférences et leurs procédés d'exploration. Le but recherché était que les sujets soient capables de s'adapter spontanément à la situation, sans autre aide extérieure qu'un retour en terme de juste ou faux sur leur décision.

Nous avons rencontré seize personnes voyantes, dont la moitié a suivi un entraînement auditif en lieu et place de l'entraînement haptique suivi par les autres sujets. Les épreuves haptiques, en revanche, étaient communes à tous les participants. Seize autres personnes souffrant d'une cécité précoce ou tardive ont également été rencontrées.

## Principaux résultats

### Les performances

---

Le premier résultat que nous avons pu mettre en évidence, concerne l'incidence de l'entraînement à la tâche que nous avons proposé. Le groupe de voyants auditif n'a pas amélioré ses performances d'une épreuve à l'autre, contrairement au groupe de voyants avec entraînement. En revanche, une variation notable s'est révélée pour le groupe auditif au niveau du temps d'exploration. Ces sujets ont en effet exploré moins longtemps les figures à la seconde épreuve, sans incidence toutefois sur leurs performances. Nous avons interprété cette observation comme un effet de l'entraînement auditif. La tâche auditive étant plus rapide que la tâche haptique, les sujets auraient conservé l'habitude de répondre rapidement.

D'autre part, les voyants obtiennent des performances inférieures à celles des aveugles tardifs et précoces à l'épreuve 1. Toutefois, nous pouvons constater que cet écart est très amoindri à l'épreuve 2, en raison de la forte progression des voyants. Les aveugles précoces et tardifs n'ont pas amélioré significativement leurs performances. Cependant, les résultats étaient déjà élevés à l'épreuve 1, laissant supposer une sorte de

plafonnement des performances. Au niveau des temps d'explorations, les voyants et les aveugles tardifs se distinguent de ceux des aveugles précoces par des temps d'exploration plus longs.

Ainsi, l'espace de réflexion qui a été offert aux sujets lors des séances d'entraînement a permis aux voyants de construire et de tester des inférences, et d'améliorer ainsi leurs performances, jusqu'à rejoindre celles des aveugles. Notre hypothèse selon laquelle les voyants sont capables d'égaler les aveugles, à condition qu'ils aient la possibilité de se confronter à des situations dans lesquelles la vision n'est pas directement utilisable, est donc validée. Les voyants sont tout autant capables d'adaptation que les aveugles. Simplement, dans la vie quotidienne, ils ne font pas l'effort de s'intéresser réellement aux informations autres que visuelles, sauf si ces dernières ne sont pas suffisantes, bien évidemment. D'autre part, le fait que les aveugles obtiennent des temps d'exploration comparables à ceux des voyants, mais distincts de ceux des aveugles précoces, apporte des éléments de réponse en faveur d'un mode de raisonnement différencié, selon la présence ou l'absence d'expérience visuelle.

## **L'incidence du matériel expérimental**

---

Lorsque l'écart entre la cible et les distracteurs est faible, les performances des voyants sont comparables à celles des aveugles. Ce résultat est à mettre en lien avec les données physiologiques de la perception haptique. En effet, lorsque l'écart est inférieur à deux millimètres, les sujets sont dans l'incapacité de discriminer deux points, en raison de l'écart entre les récepteurs. De ce fait, la difficulté des items est présente, aussi bien pour des sujets expérimentés, que pour des personnes novices en exploration haptique. Il faut rappeler que les personnes aveugles ne sont pas des individus avec une perception haptique surdéveloppée. Leurs performances sont supérieures en raison d'un meilleur traitement des informations grâce à leur expérience et non du fait d'une perception hors norme. L'étude de la difficulté des planches vient alimenter ce constat. En effet, les données nous informent que la difficulté des items se perçoit aussi bien chez les voyants que chez les aveugles. Lorsque l'écart entre les distracteurs induit des risques d'erreurs importants, les sujets parviennent à éviter ces grosses erreurs quel que soit leur statut visuel. Ils parviennent ainsi à améliorer leurs performances. En revanche, lorsque cet écart conduit à des erreurs de faible amplitude, les sujets éprouvent des difficultés pour éviter les pièges.

D'autre part, contrairement à nos attentes, la position de la cible n'est pas un critère de difficulté. Que la cible soit éloignée ou non du modèle, les performances sont comparables et ce, aussi bien pour les voyants que pour les aveugles.

Au niveau des figures nous pouvons constater, en accord avec les travaux de Heller et al (1997) sur la surestimation des longueurs, que seule les figures de type A, autrement dit les figures les plus allongées, bénéficient d'une amélioration très significative des performances. Les temps d'exploration suivent également la même courbe avec des temps d'exploration plus courts pour les items les mieux réussis. Néanmoins, si les courbes des voyants et des aveugles tardifs suivent celle des aveugles précoces, leurs temps d'exploration demeurent plus longs que ceux des aveugles précoces.



Ainsi, les temps d'exploration ne traduisent pas seulement la difficulté. Ils dévoilent également une constante séparant les sujets qui ont une expérience visuelle de ceux qui n'en ont pas. Autrement dit, la difficulté des items ne permet pas d'expliquer les différences de temps d'exploration. Ce résultat nous conforte dans notre hypothèse. Les différences observables entre les groupes traduisent un mode de raisonnement spécifique selon l'expérience visuelle.

## Les stratégies d'exploration

---

Le principal constat de cette analyse est que les voyants n'ont pas sélectionné un ou deux procédés d'exploration. Ils ont conservé une exploration multi-procédés à l'épreuve 2. Toutefois, des changements de procédés ont été observés. Ainsi, les voyants ont utilisé moins massivement les procédés de suivi de contour et de métrique M2, au cours de l'épreuve 2 qu'au cours de l'épreuve 1. De ce fait, la différence d'utilisation des procédés n'est pas significative à l'épreuve 2. Les voyants recourent indifféremment à l'ensemble des procédés à leur disposition. Si les séances d'entraînement ont offert aux sujets, un espace de test, il est indéniable que quatre séances ne sont pas suffisantes pour permettre la constitution d'une véritable expérience haptique. Il serait intéressant d'observer l'évolution de ces procédés sur de nombreuses séances. Les voyants parviendraient peut-être, dans ce cas, à trier les procédés et à les utiliser de façon plus sélective au cours d'une même tâche. Les aveugles, quant à eux, favorisent une exploration métrique, avec les procédés M3 et dans une moindre mesure M1. Parallèlement, le nombre d'exploration des figures a augmenté. Autrement dit, les sujets utilisent moins de procédés mais comparent beaucoup plus les figures. De plus, les voyants utilisent indifféremment un ou plusieurs doigts pour explorer, alors que les aveugles privilégient une exploration à plusieurs doigts. Le nombre d'aller-retour entre les figures a augmenté entre les épreuves. Dans le même temps, les durées d'exploration n'ont pas évolué. Ceci signifie que les sujets sont restés beaucoup moins longtemps sur une figure. Ainsi, à l'épreuve 2, les sujets ont comparé les figures plus qu'ils n'ont essayé de s'en créer une représentation individuelle. Ces observations sont en accord avec l'hypothèse d'une recherche descendante de l'information. Lorsque les sujets, au cours de l'épreuve 1, ont pris connaissance de la tâche, ils n'avaient aucune idée de ce qu'ils devaient chercher. Par conséquent, ils ont utilisé une recherche de l'information de type ascendante. Autrement dit, ils ont recherché la maximum d'informations sur les figures, pour en construire une représentation aussi exhaustive que possible. Toutefois, ce mode de recherche est coûteux. De ce fait, ils sont restés longtemps sur la même figure avant de passer à la suivante. Au cours des entraînements, les sujets ont pu construire des inférences et évaluer leurs conséquences. Ainsi, ils ont pu court-circuiter toute une partie de la recherche d'information pour se centrer sur la recherche sélective de l'information pertinente pour résoudre la tâche. L'entraînement leur a permis de produire des inférences sur le critère de différenciation des items. De ce fait, ils vont explorer les figures dans le but de reconnaître la figure identique au modèle, en ayant à l'esprit une idée de ce qu'ils doivent trouver. Ils ne vont donc pas chercher à construire une représentation globale des figures mais ils vont s'intéresser à des éléments de détails. Ils vont ensuite comparer leur perception sur ce détail aux autres figures, pour les

différencier. Ces observations illustrent parfaitement le modèle de la boucle d'extraction-sélection des EP (Klatzky et Lederman, 1993) révisée par Russier (2000). Toutefois, et contrairement à ce modèle, nous n'avons pas pu mettre en évidence de modification significative dans le choix des procédures exploratoires, à l'issu du choix d'un mode de recherche. C'est-à-dire que nous n'avons pas observé l'utilisation de procédures globales à l'épreuve 1 et de procédures optimales à l'épreuve 2, en particulier pour les aveugles. En effet, dès l'épreuve 1, les procédés métriques ont été employés. Et, si les aveugles précoces ont utilisé préférentiellement le procédé M3, ce n'est pas le cas des aveugles tardifs qui ont recouru massivement à M1 et M3, suivi de l'enveloppement. Si l'enveloppement a subi une légère régression entre les épreuves, il reste néanmoins présent à l'épreuve 2.

Toutefois, nous pouvons noter que les sujets aveugles tardifs et précoces sont ceux qui changent le moins de procédures, contrairement aux voyants qui essayent tous les procédés à leur disposition. Ainsi, malgré l'absence de constat de procédure optimale, nous pouvons tout de même noter que les sujets expérimentés sont plus sélectifs dans le choix de leurs procédures exploratoires. Par ailleurs, le temps d'exploration n'a pas évolué à l'issu de l'entraînement. Nous ne pouvons donc pas dire que les sujets ont mis moins de temps pour explorer parce qu'ils sont plus expérimentés. Le temps d'exploration traduit moins le choix d'un procédé ou d'une difficulté, qu'un mode de raisonnement et la mise en place d'un processus de traitement différent.

Ainsi, quelle que soit la difficulté des items ou les différences de procédures exploratoires employées, les temps d'exploration distinguent les voyants et les aveugles tardifs, des aveugles précoces. Or, les voyants et les aveugles tardifs partagent une expérience visuelle, contrairement aux aveugles précoces. Notre hypothèse d'une tentative de traduction des informations haptiques en informations visuelles, parallèlement à un traitement direct trouve donc des éléments de validation. L'expérience visuelle est à l'origine de processus de traitement différent.

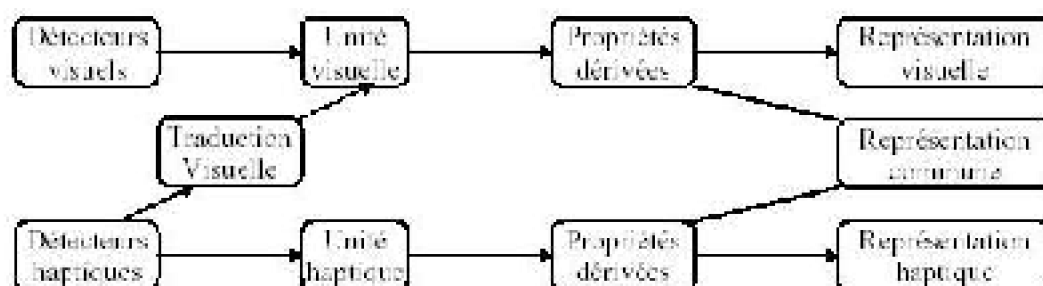
Les voyants et les aveugles tardifs sont les plus longs à explorer. Or, ce sont eux qui possèdent une expérience et des représentations visuelles. Ils effectuent donc un traitement des informations plus longs que celui des aveugles précoces. Ce processus est forcément en lien avec les références visuelles. Nous avons postulé que les aveugles tardifs et les voyants essayent de traduire les informations haptiques en informations visuelles, parallèlement à un traitement haptique direct. Nos données expérimentales valident cette hypothèse. Nous pourrions toutefois nous demander pourquoi les voyants et les aveugles tardifs persistent dans cette tentative, alors que cela ralenti le traitement. Or, le modèle de Klatzky et Lederman (1987) montre bien que les informations haptiques sont capables d'activer des représentations en mémoire, communes à la fois aux informations visuelles et aux informations haptiques (figure 90). Ninio (1996) parle « d'empreinte d'empreinte » pour qualifier cette infime partie de l'information, capable d'activer des représentations potentiellement issues d'autres modalités.

Ainsi, le traitement en parallèle permet aux sujets avec expérience visuelle, d'activer des représentations visuelles par ce jeu de relation, alors même que la traduction visuelle n'a pas abouti. Les sujets ont pourtant l'impression que leur traitement est efficace. De ce fait, les sujets sont renforcés dans leur raisonnement, d'où une stagnation des temps

d'exploration. Les aveugles précoces, quant à eux, ne peuvent bien évidemment pas activer de représentation visuelles, puisqu'ils n'en ont pas. Par conséquent, le seul traitement envisageable pour ces sujets est de traiter directement les informations haptiques. Nous pourrions peut-être rapprocher ce traitement direct de la notion « d'affordance » développée par Gibson (1966). Selon cette conception, l'objet s'offre directement au sujet. Toutefois, dans cette approche, le sujet n'intervient pas dans la recherche d'informations. Ces dernières s'imposent à lui, sans qu'il puisse utiliser ses connaissances. Or, nous avons vu que le sujet pouvait avoir des attentes et orienter sa recherche de manière à répondre à ses hypothèses.

Cependant, nous ne sommes pas tout à fait d'accord, non plus, avec une conception indirecte de la perception. En effet, le traitement des informations haptiques, chez les aveugles tardifs et les voyants, s'effectue malgré eux. Certes, ils recherchent des informations haptiques, mais dans le but de les traduire en informations visuelles. Le traitement haptique direct est tout de même effectué. Bruce et Green (1990) envisagent un traitement direct de l'information, sans références ni hypothèses, mais sans rejeter la possibilité d'un traitement direct de détection des propriétés. Si cette conception est plus ouverte que celle de Gibson, il n'en reste pas moins que dans notre situation, le traitement s'effectue, certes directement, mais est également guidé par les attentes du sujet. Nos observations sont plus en accord avec la conception de Bruyer (1994), selon laquelle la perception est un compromis entre une perception directe et une perception indirecte. Thorpe (1994) va plus loin dans ce raisonnement, en considérant que le sujet traite les informations différemment selon la tâche et le contexte. Dans notre situation, les sujets orientent la recherche dans un premier temps, puis subissent la suite du traitement, sans pouvoir intervenir. Les informations sont traitées et analysées malgré eux. Ainsi, le sujet peut orienter sa recherche mais ne peut pas contrôler le traitement des informations.

Modèle par appréhension haptique directe avec tentative de médiation visuelle pour des sujets avec expérience visuelle :



Modèle par appréhension haptique directe pour des personnes sans expérience visuelle :

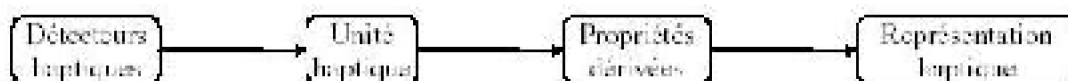


Figure 90 : Adaptation du modèle par appréhension haptique directe de Klatzky et Lederman (1987) en fonction du statut visuel des sujets.

## La dominance manuelle

---

Une étude complémentaire sur l'influence de la main d'exploration, auprès de sujets voyants, ne nous a pas permis de mettre en évidence de dominance manuelle.

Ce constat n'est pas en contradiction avec la littérature. En effet, cette dernière montre que la tâche influence considérablement les résultats. Notre tâche requiert à la fois des compétences au niveau de la reconnaissance impliquant l'hémisphère gauche et une analyse séquentielle des informations plutôt guidée par l'hémisphère droit.

## Perspectives de recherches

### Le type de matériel

---

A l'issue de cette thèse, nous pourrions envisager plusieurs perspectives de recherches. Tout d'abord, nous pourrions reprendre cette expérience en proposant des figures de formes différentes afin de vérifier que les effets que nous observons ne sont pas spécifiques à notre choix de figures et qu'ils se révèlent quelle que soit la figure testée.

Nous pourrions également répliquer ce travail en modifiant la taille des figures. Ceci nous permettrait d'observer l'évolution de la surestimation des longueurs au fil des essais.

De plus, ces deux types de recherche nous permettraient de mettre en évidence le rôle de la forme et de la taille, dans la mise en place des procédures exploratoires. En effet, il est probable que des figures géométriques complexes induisent l'exécution de procédures exploratoires différentes et correspondant à une recherche plus marquée de la forme. Les différences entre les aveugles tardifs et les aveugles précoces devraient être plus franches. Les aveugles tardifs et les voyants chercheront plus encore à traduire les informations haptiques en informations visuelles pour créer une représentation de l'objet avec des formes complexes. De ce fait, nous devrions observer une recrudescence de l'utilisation de procédures comme le suivi de contour ou l'enveloppement, tandis que les aveugles précoces resteraient dans une recherche des différences métriques, sans rechercher la forme globale de l'objet.

La différence pourrait également se trouver dans une recherche d'identification et de dénomination de l'objet pour les aveugles tardifs et les voyants, dans le but de résoudre la tâche, alors que les aveugles précoces suivraient une approche plus analytique. Autrement dit, les voyants et les aveugles tardifs parviendraient avec plus de difficultés que les aveugles précoces, à appliquer un processus de recherche de l'information de type descendant (Klatzky & Lederman, 1987).

Par conséquent, la complexité des figures devrait creuser l'écart au niveau des temps d'exploration, avec des durées proportionnellement plus longues pour les aveugles tardifs et les voyants, pour des figures complexes que pour des figures rectangulaires. Il serait

également intéressant de tester le poids respectif de la symétrie et de l'asymétrie, dans une tâche métrique.

De même, la taille des figures a une incidence sur la perception des longueurs et donc sur les stratégies d'exploration. Ainsi, l'implication des doigts sera différente avec l'utilisation potentielle de tous les doigts et même de la paume (Lomov, 1966). L'enveloppement, tel que décrit par Klatzky et Lederman (1987), avec un paramètre de mouvement passif, réapparaîtra peut-être avec de grandes figures permettant l'apposition de la main sur la figure.

D'autre part, il serait intéressant de tester les procédés exploratoires les uns après les autres pour définir quel procédé ou quelle combinaison de procédures exploratoires débouche sur les meilleures performances et les temps d'exploration les plus courts ; dans un premier temps au niveau d'une population voyante et dans un deuxième temps auprès de populations aveugles. En effet, notre étude ne nous a pas permis d'observer de grandes différences dans le choix des procédures entre les aveugles tardifs et les aveugles précoces. Toutefois, des différences apparaîtront peut-être si les procédures sont imposées et apprises au préalable. Ainsi, qu'en sera-t-il de la procédure de suivi de contour pour les aveugles précoces ? Seront-ils pénalisés par ce procédé qui induit peut-être plus que les autres le recours aux capacités d'imagerie ?

De même, l'incidence de la forme, de la taille et du procédé d'exploration est-elle différente selon la main d'exploration ? Et selon la dominance manuelle de base des sujets ? Tous les points que nous avons abordés ici, pourraient être repris dans une analyse différentielle de la latéralité, sous le double aspect de la main d'exploration et de la latéralité propre des sujets.

Il serait également intéressant de reprendre la question de l'entraînement sous un angle plus appliqué des différences issues du statut visuel. En effet, selon le statut visuel, quel type d'entraînement serait plus favorable aux sujets ? Vaut-il mieux laisser les sujets libres de choisir la procédure qui leur convient le mieux ou leur imposer une démarche exploratoire ? Et peut-on proposer des expériences haptiques et des solutions identiques selon le statut visuel des sujets et selon leur handicap ? Dans cette optique, nous pourrions proposer différents type d'entraînement : libre (ce que nous avons testé au cours de cette thèse), imposé (en inculquant aux sujets une procédure particulière et ses conditions d'application), semi-imposé (en proposant différentes procédures et en laissant aux sujets le choix de les utiliser ou non, de les combiner, ou d'en trouver d'autres) ou encore en stimulant les capacités d'imagerie,...

Ces études pourraient principalement intéresser les éducateurs et rééducateurs spécialisés dans le déficit visuel, ainsi que les concepteurs de matériels d'enseignements et de rééducation. En effet, l'enseignement, auprès d'enfants ou même d'adultes déficients visuels, est souvent relayé par des documents en relief (cartes de géographie, cours de géométrie,...). Or, l'utilisation de ce matériel nécessite obligatoirement un apprentissage préalable. Ainsi, l'avancée des connaissances sur le mode de raisonnement des sujets selon le statut visuel peut avoir pour conséquence, une modification des techniques d'enseignements en les adaptant aux capacités des sujets. De même, le matériel pourra évoluer pour être plus accessible, mieux utilisé et compris

par les sujets auquel il est destiné.

Il serait peut-être pertinent de tester l'impact de l'entraînement directement sur le matériel éducatif et rééducatif. Ainsi, nous pourrions mesurer l'intérêt de ces outils et les modifier en fonction du statut visuel (aveugles précoces, tardifs, malvoyants,...) et en fonction des compétences haptiques des sujets.

Dans le même esprit, ces travaux nous permettraient d'apporter des éléments de discussion à propos des représentations morcelées, telle que la projection orthogonale. Nous pourrions également investir de façon plus marquée la perception des objets d'arts, telle que la sculpture et étudier dans quelle mesure, nous pouvons aider les aveugles passionnés d'art à appréhender les oeuvres sans être rebuté par la multitude de détails qui rendent certaines d'entre elles inabordables. Il serait aussi pertinent d'orienter nos recherches dans une perspective de description des oeuvres comme le fait l'audio-description. En effet, nous avons vu que les sujets avec expérience visuelle cherchaient à traduire les informations haptiques en informations visuelles. L'audio-description, telle qu'elle se présente à l'heure actuelle, ne renforce-t-elle pas ce mode de raisonnement, en traduisant verbalement des images ou des scènes visuelles ? Met-elle suffisamment l'accent sur les autres modalités, en stimulant l'activation de représentations communes à plusieurs modalités ? Mais est-il possible pour des voyants, de traduire des images en se référant à des représentations haptiques, auditives ou olfactives ? En effet, face à une image de canapé, nous sommes peut-être plus tenté de décrire sa forme et sa couleur que sa fermeté ou sa texture. Un travail serait à effectuer dans ce sens, au niveau de la description des images à destination des personnes malvoyantes et aveugles. Nous pourrions également envisager d'introduire ce débat au sein des écoles, et ce, en incitant les enfants, dès la maternelle, à décrire les objets sous différents axes, correspondant aux différentes modalités sensorielles. Ces enfants, habitués très jeunes à ouvrir leur attention sur toutes les modalités sensorielles, seront peut-être plus apte que nous à traduire les images, sans perdre le charme, la magie et la poésie qui se dégagent d'une oeuvre d'art.

Dans cette lignée, il serait également intéressant d'envisager des études de ce type auprès d'enfants, mais aussi auprès de sujets malvoyants. En effet, des études centrées sur les enfants permettraient d'aborder la question de l'évolution et du devenir des procédures apprises au cours du développement. De même, les personnes malvoyantes qui ne sont ni voyantes ni aveugles, présenteront sans doute des spécificités par rapport aux autres groupes. Nous avons vu au cours de notre thèse, le rôle de l'expérience visuelle dans une tâche haptique. Il est probable que le statut visuel des malvoyants a une implication d'autant plus forte que cette modalité leur fait particulièrement défaut. Pour des tâches haptiques et en particulier pour l'exploration de dessin en relief, ces sujets chercheront peut-être encore plus que les voyants et les aveugles tardifs, à traduire les informations haptiques en informations visuelles, tout en rejetant un traitement direct qui, psychologiquement, les feraient basculer du côté de la cécité. Nous pourrions alors envisager d'entraîner les sujets à traiter les informations en tant qu'informations haptiques, parallèlement à un soutien psychologique, ce qui leur permettrait de s'adapter plus aisément à leur situation et par conséquent à mieux vivre.

Pour conclure, nous pourrions dire qu'apprendre à toucher est primordial, au même

---

titre qu'apprendre à voir ou à entendre, et ce, quel que soit le statut visuel des sujets. Il est important qu'au cours de son développement, l'enfant puisse faire des expériences tactiles et mettre en place des procédures exploratoires qui lui ouvriront la porte de la modalité haptique. Nous pensons que le toucher doit trouver sa place, et ce, malgré les tabous qui le cerne. Un compromis doit être signé entre les barrières de la bienséance sociale, ou il est interdit de toucher par précaution, hygiène ou respect, et la nécessité de développer cette modalité. La conciliation ne pourrait-elle pas se réaliser au travers de jeux éducatifs et ludiques, où le toucher serait le principal acteur ?





## Références bibliographiques.

- Abdi, H. (1987). Introduction au traitement statistique des données expérimentales. Grenoble: Presse Universitaire de Grenoble.
- Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus orientation : The « oblique effect » in man and animals. *Psychological Bulletin*, 78, 266-278.
- Appelle, S. (1990). Haptic perception of form : activity and stimulus attributes. In M.A., Heller & W. Schiff (Eds.), *The Psychology of touch*, (pp. 169-188). Hillsdale, N.Y.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Appelle, S. & Goodnow, J.J. (1970). Haptic and visual perception of proportion. *Journal of Experimental Psychology*, 84, 47-52.
- Appelle, S., Gravetter, F.J. & Davidson, P.W. (1980). Proportion judgements in haptic and visual form perception. *Canadian Journal of Psychology*, 34, 161-174.
- Bach-y-Rita, P. (1972). Extra-ocular muscle inhibitory stretch reflex during active contraction. *Archives Italiennes de Biologie*, 110, 1-15.
- Ballesteros, S., Manga, D., & Reales, J.M. (1997). Haptic discrimination of bilateral symmetry in 2-dimensional and 3-dimensional unfamiliar displays. *Perception & Psychophysics*, 59(1), 37-50.
- Ballesteros, S., Millar, S., & Reales, J. (1998). Symmetry in haptic and visual shape perception. *Perception & Psychophysics*, 60, 389-404.
- Bastien, C. (1993). Apprentissage : modèle et représentation. In J.F. Le Ny (Ed.).

- Intelligence naturelle et intelligence artificielle, (pp.257-268). Paris : Presse Universitaire de France.
- Bastien, C. (1997). Les connaissances de l'enfant à l'adulte. Paris : Armand Colin.
- Beauchamps, K.L., Matheson, D.W., & Scadden, L.A. (1971). Effects of stimulus change method on tactile image recognition. *Perceptual & Motor Skills*, 33, 1067-1070.
- Beck, J., Rosenfeld, A., & Ivry, R. (1989). Line segregation. *Spatial Vision*, 4, 75-101.
- Berger, C., & Hatwell, Y. (1996). Development trends in haptic and visual free classification : Influence of stimulus structure and exploration on decisional processes. *Journal of Experimental child Psychology*, 13(2), 143-162.
- Bertalanffy, (von) L. (1980). *Théorie générale des systèmes*. Paris : Dunod.
- Bertelson, P., & Mousty, P. (1991). La reconnaissance tactile des mots dans la lecture Braille. In R Kolinsky, J. Morais, & J. Seguy (Eds.), *La reconnaissance des mots dans les différentes modalités sensorielles : étude de psycholinguistique cognitive* (pp.307-320). Paris : Presse Universitaire de France.
- Bertelson, P., Mousty, P., & D'Alimonte, G. (1985). A study of braille reading : 2 patterns of hand activity in one-handed and two-handed reading. *The quarterly journal of experimental psychology*, 37A, 235-256.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-Components : A theory of human Image Understanding. *Psychologica Review*, 94(2), 115-147.
- Biederman, I., Mezzanotte, R.J., & Rabinowitz, J.C. (1982). Scene perception : detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cognitive psychology*, 14, 143-177.
- Bonnet, C. (1998). La perception. In J.L. Roulin (Ed.), *Psychologie cognitive* (pp.72-136). Rosny : Bréal.
- Boucart, M. (1996). *La reconnaissance des objets*. Grenoble : Presse universitaire de Grenoble.
- Boucart, M., Delord, S., & Giersch, A ; (1994). The computation of contour information in complex objects. *Perception*, 23, 399-409.
- Bris, M., & Morice, J.C. (1995). Conception du dessin en relief pour les personnes non voyantes, *Le courrier de Suresnes*, 63, 5-16.
- Bruce, V., & Green, P. (1993). *La perception visuelle : Physiologie, psychologie et écologie*, Grenoble : Presse Universitaire de Grenoble.
- Bruyer, R. (1994). Les agnosies visuelles. In X. Seron & M. Jeannerod (Eds.). *Neuropsychologie humaine*, Liège : Mardaga. (pp.179-216).
- Büchel, C., Price, C., Frackowiak, R.S.J., & Friston, K. (1998). Different activation patterns in the visual cortex of late and congenitally blind subjects. *Brain*, 121, 409-419.
- Carpenter, P.A., & Eisenberg, P.(1978). Mental rotation and the frame of reference in blind and sighted individuals. *Perception & Psychophysics*, 23(2), 117-124.
- Cohen, L., Celnik, P., Pascual-Leone, A., Corwell, B., Faiz, L., Dambrosia, J., Honda, M., Sadato, N., Gerloff, C., CatalaM., & Hallett, M. (1997). Functional relevance of

- cross-modal plasticity in the blind humans, *Nature*, 389, 180-183.
- Connolly, K., & Jones, B. (1970). A developmental study of afferent-reefferent integration. *British Journal of Psychology*, 61, 259-266.
- Cornoldi, C., & Vecchi, T. (2000). Cécité précoce et images mentales spatiales. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, (pp. 175-189). Paris : Presse Universitaire de France.
- Craddock, P., & Guerrien, A. (1998). Apprendre. In J.L. Roulin, *Psychologie cognitive*, (pp.206-267). Rosnny : Bréal éditions.
- Davidson, P.W. (1972). Haptic judgments of curvature by blind and sighted humans. *Journal of Experimental Psychology : General*, 93(1), 43-55.
- Davidson, P.W., Abbott, S.G, & Gershensfeld, J. (1974). Influence of exploration time on haptic and visual matching of complex shape. *Perception & Psychophysics*, 15, 539-543.
- De Beni, R., & Cornoldi, C. (1988). Imagery limitations in totally congenitally blind subjects. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, & Cognition*, 14, 650-655.
- Denis, M. (1989). *Image et cognition*. Paris : Presse Universitaire de France.
- De Volder, A. (1997). Réorganisation corticale chez les déficients visuels jeunes. In *Actes du Colloque du Groupement de Recherche et d'Information Consacré à la Cécité et l'Amblyopie*, (pp.121-129). Bruxelles : Belgique.
- De Volder, A, Bol, A., Blin, J., Robert, A., Arno, P., Grandin, C., Michel, C., & Veraart, C. (1997). Brain energy metabolism in early blind subjects : Neural activity in the visual cortex. *Brain Research*, 750, 235-244.
- Doré, F., & Mercier, P.(1992). *Les fondements de l'apprentissage et de la cognition*. Québec : Presse Universitaire de Lille.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased Cortical Representation of the Fingers of the Left Hand in String Players. *Science*, 270,305-307.
- Farley Norman, J., Lappin, J.S., & Norman, H.F. (2000). The perception of length on curved and flat surfaces. *Perception & Psychophysics*, 62(6), 1133-1145.
- Field, D.J., Hayes, A., & Hess, R.F. (1993). Contour integration by the human visual system : evidence for a local « association field ». *Vision Research*, 33, 173-193.
- Franceschini, P. (1994). *La peau et son vieillissement*. Paris : Dominos Flammarion.
- Franco,L., & Sperry, R.W (1977). Hemisphere lateralization for cognitive processing of geometry. *Neuropsychologia*, 15, 107-114.
- Friedes, D. (1974). Human information processing and sensory modality : Crossmodal functions, information complexity, memory and deficit. *Psychological Bulletin*, 81, 284-310.
- Friedes, D. (1975). Information complexity and cross-modal functions, *British Journal of psychology*, 66, 283-287.
- Fujita, N., Klatzky, R.L., Loomis, J.M., & Golledge, R.G. (1993). The encoding-error

- model of pathway completion without vision. *Geographical Analysis*, 25, 295-314.
- Gentaz, E. (1997). La perception haptique (tactilo-kinesthésique) des orientations chez l'enfant et l'adulte : rôle des spécificités du système haptique dans la manifestation de l'effet de l'oblique. Thèse en Psychologie Cognitive, Université Pierre-Mendès France (Grenoble 2), France.
- Gentaz, E. (2000). Caractéristiques générales de l'organisation anatomo-fonctionnelle de la perception cutanée et haptique. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, (pp. 129-162). Paris : Presse Universitaire de France.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (2000). Le traitement haptique des propriétés spatiales et matérielles des objets. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, (pp. 129-162). Paris : Presse Universitaire de France.
- Gentaz, E., Luyat, M., Cian, C., Hatwell, Y., Barraud, P.A., & Raphel, C. (2001). The reproduction of vertical and oblique orientations in the visual, haptic, and somato-vestibular systems. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A(2), 513-526.
- Gentaz, E., & Rossetti, Y. (1999). Is haptic perception continuous with cognition ? *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 378-379.
- Gibson, J.J. (1950). *The perception of visual world*. Boston : Houghton Mifflin Compagny.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston : Houghton Mifflin Compagny.
- Gray, C.M., König, P., Engel, A.K., & Singer, W. (1991). Synchronous neuronal oscillations in cat visual cortex : functional implications. In A. Goréa, Y. Frégnac, Z. Kapoula & J. Findlay (Eds). *Representations of vision : trends and tacit assumptions in vision research*. Cambridge : Cambridge University Press (pp.83-96).
- Griffon, P. (1995). *Déficiences visuelles : pour une meilleure intégration*. Paris : CTNERHI.
- Guillaume, P. (1937). *La psychologie de la forme*. Paris : Flammarion.
- Hamilton, R.H., & Pascual-Leone, A. (1998). Cortical plasticity associated with Braille learning. *Trends in Cognitive sciences*, 2(5), 168-174.
- Hatwell, Y. (1986). *Toucher l'espace : la main et la perception tactile de l'espace*. Lille : Presse universitaire de Lille.
- Hatwell, Y. (1994). Transferts intermodaux et intégration intermodale. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert, *Traité de psychologie expérimentale*, (543-584). Paris : Presse Universitaire de France.
- Hatwell, Y. (2000). Les procédures d'exploration manuelle chez l'enfant et l'adulte. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz. *Toucher pour connaître*. Paris : Presse Universitaire de France.
- Hatwell, Y., & Martinez-Sarocchi, F. (2000). La lecture tactile des cartes et dessins, et l'accès des aveugles aux oeuvres d'art. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz. *Toucher pour connaître*. Paris : Presse Universitaire de France.

- Heller, M.A. (1989). Picture and pattern perception in the sighted and the blind : the advantage of the late blind. *Perception*, 18, 379-389.
- Heller, M.A., & Joyner, T.D. (1993). Mechanisms in the haptic horizontal-vertical illusion: Evidence from sighted and blind subjects. *Perception & Psychophysics*. 53(4), 422-428.
- Heller, M.A., Calcaterra, 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., Calcaterra, A., Burson, L.L., & Green, S.L. (1997). The tactual horizontal-vertical illusion depends on radial motion of the entire arm. *Perception & Psychophysics*. 59(8), 1297-1311.
- Hunter, I.M. (1954). Tactile-kinesthetic perception of straightness in blind and sighted humans. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 6, 149-154.
- Johansson, R.S., & Vallbo, A.B. (1983). Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand, *Trends in Neurosciences*, 6, 27-83.
- Johnson, K.O., & Hsiao, S.S. (1992). Tactual form and texture perception. *Annual Revue of Neurosciences*, 15, 227-250.
- Johnson, K.O., & Lamb, G.D. (1981). Neural mechanisms of spatial tactile discrimination : neural patterns evoked by braille-like dot patterns in the monkey. *Journal of physiology*, 310, 117-144.
- Just, M.A., & Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading : From eye fixation to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Kanizsa, G. (1979). *Organization in vision*. New-York : Praeger.
- Kennedy, J.M. (1997). Comment les aveugles dessinent ? *Pour la Science*, 233, 76-81.
- Kennedy, J.M., Gabias, P., & Nicholls, A. (1991). Tactile pictures. In M.A. Heller & W. Schiff (Eds.), *The psychology of touch* (pp.263-300). Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Kerr, N.H.. (1983). The Role of Vision in « Visual Imagery » Experiments : Evidence From the Congenitally Blind. *Journal of Experimental Psychology : General*, 112(2), 265-277.
- Klatzky R.L. (1999). Path completion after haptic exploration without vision : Implications for haptic spatial representations. *Perception & Psychophysics*, 61(2), 220-235.
- Klatzky, R.L., & Lederman, S.J. (1987). The intelligent hand. In G. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation : Advances in research and theory*. (Vol. 21, pp.121-151). New-York : Academic Press.
- Klatzky, R.L., & Lederman, S.J. (1993). Toward a computational model of constraint-driven exploration and haptic object identification. *Perception*, 22, 597-621.
- Klatzky, R.L., & Lederman, S.J. (1995). Identifying objects from a haptic glance. *Perception & Psychophysics*, 57(8), 1111-1123.
- Klatzky, R.L., Lederman, S., & Reed, C. (1987). There's More to Touch Than Meets the Eye : The Salience of Object Attributes for Haptics With and Without Vision. *Journal of Experimental Psychology : General*, 116(4), 356-369.

- Klatzky, R.L., Loomis, J.M, Lederman, S.J., Walke, H., & Fujita, N. (1993). Haptic identification of objects and their depictions. *Perception & Psychophysics*, 54(2), 170-178.
- Lacquaniti, F., Terzuolo, C.A., & Viviani, P. (1983). The law relating kinematic and figural aspects of drawing movements. *Acta Psychologica*, 54, 115-130.
- Lacreuse, A., Fagot, J., & Vauclair, J. (1996). Latéralisation hémisphérique et stratégies d'exploration dans des tâches de perception tactilo-kinesthésiques. *L'Année Psychologique*, 96, 131-145.
- Lakatos, S., & Marks, L.E. (1998). Haptic underestimation of angular extent. *Perception*, 27(6), 737-754.
- Lanca, M., & Bryant, D. (2001). Euclidean metric representations of haptically explored triangles. *American Journal of Psychology*, 114(3), 377-409.
- Lederman, S.J., & Abbott, S.G. (1981). Texture perception : Studies of intersensory organization using a discrepancy paradigm and visual vs tactual psychophysics. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 7, 902-915.
- Lederman, S.J., & Klatzky, R.L. (1987). Hand movements : A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19(3), 342-368.
- Lederman, S.J., & Klatzky, R.L. (1990). Haptic classification of common objects : Knowledge-driven exploration. *Cognitive Psychology*, 22(4), 421-459.
- Lederman, S.J., & Klatzky, R.L. (1993). Extracting object properties by haptic exploration. *Acta Psychologica*, 84, 29-40.
- Lederman, S.J., Klatzky, R.L., & Barber, P.O. (1985). Spatial and Movement-Based Heuristics for Encoding Pattern Information Through Touch. *Journal of Experimental Psychology : General*, 114(1), 33-49.
- Lederman, S.J., Klatzky, R.L., Chataway, C., & Summers, C.D. (1990). Visual mediation and the haptic recognition of two-dimensional pictures of common objects, *Perception & psychophysics*, 47(1), 54-64.
- Lederman, S.J., Klatzky, R.L., Collins, A., & Wardell, J. (1987). Exploring environnements by hand or foot : Time-based heuristics for encoding distance in movement space. *Journal of Experimental Psychology : Memory and Language*, 16, 606-614.
- Lederman, S.J., Thorne, G., & Jones, B. (1986). Perception of texture by vision and touch : Multidimensionality and intersensory integration. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 12, 169-180.
- Lenay, C., Gapenne, O., Hanneton, S., Marque, C., & Genouel, C. (2000). La substitution sensorielle : limites et perspectives. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz. *Toucher pour connaître* (pp.287-305). Paris : Presse Universitaire de France.
- Lilliefors, H.W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 64, 387-389.
- Locher, J.P, & Simmons, P.W. (1978). Influence of stimulus symmetry and complexity upon haptic scanning strategies during detection, learning, and recognition task. *Perception & Psychophysics*, 23, 110-116.

- Lomov, B.F. (1966). Manual interaction in the process of tactile perception. In I.D. London, Psychological Research in the USSR. Moscou : Publisher, (1960). A Russian report on the postoperative newly seeing. American Journal of Psychology, 73, 478-482.
- Loomis, J.M. (1974). Tactile letter recognition under different modes of stimulus presentation. Perception & Psychophysics, 14, 401-408.
- Loomis, J. M., & Lederman, S.J. (1986). Tactual perception. In K. Boff, L Kaufman, & J. Thomas (Eds), Handbook of Perception and Human Performance 2, New-York : Wiley.
- Marshall, W.H., Woosley, C.N., & Bard, P. (1941). Observations on cortical somatic sensory mechanisms of cat and monkey. Journal of Neurophysiology, 4, 1-24.
- Marr, D. (1982). Vision : A computational investigation into the human representation and processing of visual information. New-York : W.H. Freeman and Compagny.
- McClelland, J.L., & Rumelhart, D.E. (1981). An Interactive Activation Model of Context Effects in Letter Perception : Part 1. An Account of Basic Findings. Psychological Review, 88(5), 375-407.
- McCormick, P., & Jolicoeur, P. (1992). Capturing visual attention and the curve tracing operation. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 18, 72-89.
- McGurk, H., & Power, R.P. (1980). Intermodal coordination in young children : Vision and touch, Developmental Psychology, 16, 179-180.
- Misceo, G.F., Hershberger, W.A., & Mancini, R.L. (1999). Haptic estimates of discordant visual-haptic size vary developmentally. Perception and psychophysics, 61, 608-641.
- Millar, S., & Al-Attar, Z. (2000). Vertical and bisection bias in active touch. Perception, 29, 481-500.
- Miller, E.A. (1972). Interaction of vision and touch in conflict and non-conflict form perception tasks. Journal of Experimental Psychology, 96, 114-123.
- Minder, M. (1999). Didactique fonctionnelle. Objectifs, stratégies, évaluation. Le cognitivisme opérant. Paris, Bruxelles : De Boeck & Larcier s.a.
- Moberg, E. (1958). Objective methods for determining the functional value of sensibility of the hand. Journal of Bone and Joint Surgery, 40B, 454-476.
- Morice, J.C.(1992). Des représentations en relief : de la projection orthogonale appliquée aux représentations en relief. Le courrier des Suresnes, 56,83- ?
- Morrongiello, B.A., Humphrey, G.K., Timney, B., Choi, J., & Rocca, P.T. (1994). Tactual object exploration and recognition in blind and sighted children. Perception, 23(7), 833-848.
- Mountcastle, V.B, Lynch, J.C., Georgopoulos, A., Sakata, M., & Acuna, C. (1984). Posterior parietal association cortex of the monkey : Command functions for operations within extrapersonal space. Journal of Neurophysiology, 38, 871-908.
- Ninio, J. (1996). L'empreinte des sens (3 édition). Paris : Odile Jacob.
- Ohlmann, T. (1990). Les systèmes perceptifs spatiaux vicariants. In M. Reuchlin, J. Lautrey, C. Marendaz, & T. Ohlmann. Cognition : l'individuel et l'universel (pp.21-58).

- Paris : Presse Universitaire de France.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness : the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Pacteau, C. (1990). Catégorisation : des processus holistiques et analytiques. In J. Lautrey, *Universel et différentiel en psychologie*. (pp. 131-157). Paris : Presse Universitaire de France.
- Paillard, J. (1971). Les déterminants moteurs de l'organisation spatiale. *Cahiers de Psychologie*, 14(4), 261-316.
- Paillard, J. (1974). Le traitement des informations spatiales. In J. Bresson, P. Chombart de Lauwe, M. Cullen, G.T. Guilbaud, J. Paillard, E. De Renzi & E. Vurpillot (Eds), *De l'espace corporel à l'espace écologique* (pp.7-54). Paris : Presse Universitaire de France.
- Paillard, J. (1987). Cognitive versus sensorimotor encoding of spatial information. In P. Ellen, C. Thinus-Blanc (Eds.). *Cognitive Processes and Spatial Orientation in Animal and Man* (vol. II). Dordrecht: Nijhoff.
- Paillard, J. (1990). Les bases nerveuses du contrôle visuo-manuel de l'écriture. In C. Sirat, J. Irigoin & E. Poulle. *L'écriture, le cerveau, l'œil et la main* (pp.23-52). Brepols-Turnhout.
- Paillard, J. (1994). Intégration sensori-motrice et idéomotrice. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert. *Traité de psychologie expérimentale* (pp.925-961). Paris : Presse Universitaire de France.
- Paoletti, R.F. (1990). Asymétrie fonctionnelle haptique et efficience manuelle motrice chez l'enfant aveugle de 6 à 14 ans. *Revue canadienne de psychologie*, 44(1), 69-75.
- Pascual-Leone, A., & Torres, F. (1993). Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. *Brain*, 116, 39-52.
- Pick, H.L., & Saltzman, E. (1970). System of perceptual and perceptual-motor development. In J.P. Hill (Ed.). *Minnesota symposium on child development*, vol.4, (pp.1-20). Mineapolis : University of Minnesota Press.
- Poncer, O. (1986). *Filoulélune*. Lyon : Laurence Olivier Four & Chardon Bleu Edition.
- Pons, T.P. (1996). Novel sensations in the congenitally blind. *Nature*, 380, 479-480.
- Portalier, S. (1991). Naître de parents aveugles. *Le journal des psychologues*, 84
- Portalier, S. (1996). Recherches en défectologie, approche épistémologique. In *Perception Cognition, Handicap, Collque PCH'96*, Mars 1996, Ed : Laboratoire PCH, Université Lyon 2, 121-128.
- Ramachandran, V.S. (1992). Perception : a biological perspective. In G.A. Carpenter & S. Grossberg (Eds). *Neuronal networks for vision and image processing*. Cambridge : MIT Press. (pp.45-90).
- Recanzone, G.H., Merzenich, M.M., & Jenkins, W.M. (1992). Frequency discrimination training engaging a restricted skin surface results in a emergence of a cutaneous response zone in cortical area 3a, *Journal of Neurophysiology*, 67, 1050-1070.
- Reed, C.L., Lederman, S.J., & Klatzky, R.L. (1990). Haptic integration of planar size with hardness, texture and planar contour. *Canadian Journal of Psychology*, 44(4),



522-545.

- Reuchlin, M. (1978). Processus vicariants et différences individuelles. *Journal de psychologie normale et pathologique*, 133-145.
- Reuchlin, M. (1990). *La psychologie différentielle*, Paris : Presse Universitaire de France.
- Reuchlin, M. (1996). *Psychologie*. Première édition 1977. Paris : Presse Universitaire de France.
- Reuchlin, M. (1999). *Evolution de la psychologie différentielle*. Paris : Presse Universitaire de France.
- Revesz, G. (1950). *The psychology and art of the blind*. London : Longmans Green.
- Reynolds, R.I. (1985). The role of object-hypothesis in the organization of fragmented figures. *Perception*, 14, 49-52.
- Ribot-Ciscar, E., Vedel, J.P. & Roll, J.P. (1989). Vibration sensitivity of slowly and rapidly adapting cutaneous mechanoreceptors in the human foot and leg. *Neuroscience Letters*, 104, 130-135.
- Richard, F. (2000). L'exploration haptique de dessin en relief par des aveugles et des voyants. In *The International Congress of Psychology*. Stockholm July 2000, Suède
- Richard, J.F. (1998). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris : Armand Colin.
- Ripoll, T. (1998). Raisonnement et résolution de problème. In J.L. Roulin, *Psychologie cognitive*, (pp.386-340). Rosnny : Bréal éditions.
- Rock, I. (1975). *An introduction to perception*. New-york : Macmillan.
- Rock, I., & Victor, J. (1964). Vision and touch : An experimentally induced conflict between the two senses. *Sciences*, 143, 594-596.
- Roitblat, H.L (1982). The meaning of representation in animal memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 5, 353-406.
- Roitblat, H.M. (1987). *Introduction to comparative cognition*. New-York : W.H. Freeman.
- Roll, J.P. (1994). Sensibilités cutanées et musculaires. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds). *Traité de psychologie expérimentale*, vol. 1, (pp.483-542). Paris : Presse Universitaire de France.
- Rosch, E., Mervis, C.B., Gray, W., Johnson, D., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 7, 513-605.
- Rose, S.A, Gottfried, A.W., & Bridger, W.H. (1981). Cross-modal transfer and information processing by sense of touch in infancy. *Developmental Psychology*, 17, 90-98.
- Rosenzweis, M.R., & Leiman, A.L. (1991). *Psychophysiologie*. (2 éd.).Paris : Interédition, (p270-278, 317-337).
- Rudel, R.G., & Teuber, H.L. (1963). Decrement of visual and haptic Muller-Lyer illusion on repeated trials : A study of crossmodal transfer. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 15, 125-131.
- Russier, S. (2000). *L'influence des processus d'exploration tactilo-kinesthésique sur l'appréhension de formes géométriques bi-dimensionnelles*. Thèse de doctorat de

Psychologie, Université Lumière Lyon 2, France.

- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibanez, V., Deiber, M.P., Dold, G., & Hallett, M. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*, 380, 526-528.
- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibanez, V., Deiber, M.P., Dold, G., & Hallett, M. (1998). Neural networks for Braille reading by the blind. *Brain*, 121, 1213-1229.
- Sampaio, E. (1994). Les substitutions sensorielles adaptées aux déficients visuels importants. In A. Safran & Assimacopoulos (Eds.). *Le déficit visuel. Des fondements neurophysiologiques à la pratique de la réadaptation* (pp.197-211). Paris : Masson.
- Sampaio, E., Maris, S., & Bach-y-Rita, P. (2001). Brain plasticity : « visual » acuity of blind persons via tongue. *Brain Research*, 908, 204-207.
- Srivinas, K., Greene, A., & Easton, R. (1997). Implicit and explicit memory for haptically experienced two-dimensional patterns. *Psychological Science*, 8, 243-246.
- Srivinas, K., Greene, A., & Easton, R. (1997). Visual and tactile memory for 2D patterns : Effects of change in size and left-right orientation. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, 535-540.
- Stréri, A. (1987). Tactile discrimination of shape and intermodal transfer in 2- to 3-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 213-220.
- Stréri, A. (1991). L'espace et les relations intermodalités. *L'année psychologique*, 91, 87-102.
- Stréri, A. (2000). Exploration et latéralisation manuelles. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz. *Toucher pour connaître* (pp.85-108). Paris : Presse Universitaire de France.
- Stréri, A. (2000). Les coordinations intermodales chez le bébé. In Y. Hatwell, A. Stréri & E. Gentaz. *Toucher pour connaître* (pp.193-209). Paris : Presse Universitaire de France.
- Stréri, A., & Molina, M. (1994). Constraints on intermodal transfer between touch and vision in infancy. In D.J. Lewkowicz & R. Lickliter (Eds). *The development of intersensory perception. Comparative Perspectives* (pp.285-308). New-Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Stréri, A., & Pêcheux, M.G. (1986). Cross-modal transfer of form in 5-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 4, 161-167.
- Sterr, A., Müller, M.M., Elbert, T., Rockstroh, B., Pantev, C. & Taub, E. (1998). Perceptual Correlates of Changes in Cortical Representation of Fingers in Blind Multifinger Braille Readers. *The Journal of Neuroscience*, 18(11), 4417-4423.
- Tieberghien, G. (1994). Psychologie cognitive de la mémoire humaine. In X. Séron & M. Jeannerod, *Neuropsychologie humaine*. (pp.255-316). Liège : Mardaga.
- Thorpe, S. (1994). Modèles de traitement de l'information. In X. Séron & M. Jeannerod, *Neuropsychologie humaine*. (pp.153-178). Liège : Mardaga.
- Tubiana, R., & Thomine, J.M. (1990). La main : anatomie fonctionnelle et examen clinique. Paris : Masson. (p.195, 70-77).
- Uldry, G. (1995). L'expression plastique par le modelage et le dessin chez le jeune handicapé de la vue. In A.B. Safran, & A. Assimacopoulos, Paris : Masson.

(101-113).

- Valbo, A.B., & Johansson, R.S (1984). Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation. *Human Neurobiology*, 3, 3-15.
- Valenza, N., Ptak, R., Zimine, I., Badan, M., Lazeyras, F., & Schnider, A. (2001). Dissociated active and passive tactile shape recognition : a case study of pure tactile apraxia. *Brain*, 124, 2287-2298.
- Vecchi, T., Monticelli, M.L., & Cornoldi, C. (1995). Visuo-spatial working memory : Structures and variables affecting a capacity measure. *Neuropsychologia*, 33, 1549-1564.
- Viviani, P. (1994). Les habiletés motrices. In M., Richelle, J., Requin, M., Robert (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale*, tome 1, (pp.777-858). Paris : Presse Universitaire de France.
- Viviani, P., & Sneider, R. (1991). A developmental study of the relation between geometry and kinematics in drawing movements. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 17, 198-218.
- Viviani, P., & Terzuolo, C. (1982). Trajectory determines movement dynamics, *Neuroscience*, 7, 431-437.
- Vogels, I.M.L.C., Kappers, A.M.L., & Koenderink, J.J. (1996). Haptic afteraffect of curved surfaces. *Perception*, 25(1), 109-119.
- Vogels, I.M.L.C., Kappers, A.M.L., & Koenderink, J.J. (1998). Investigation into the origin of the haptic afteraffect of curved surfaces. *Perception*, 26(1), 101-117.
- Warren, D.H., & Rossano, M.J. (1991). Intermodality relations : vision and touch. In A. Heller, & W. Schiff, *The Psychology of Touch*, (pp.119-137). Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- Weber, E. (1935). Veber den Taz. *Arch. Anat. Physiol. Wissensch. Med.*, 152-168.
- Xerri , C, Stern, J.M., & Merzenich, M.M. (1993). Alterations of the cortical representation of the rat ventum induced by nursing behavior. *The Journal of Neurosciences*, 14(3), 1710-1721.
- Zinchenko, V., & Lomov, B.F. (1960). The function of hand and eye movements in the process of perception. *Voprossy Psychology*, 1, 12-26.
- Zucher, S.W., & Davis, S. (1988). Points and endpoints : a size / spacing constraint for dot grouping. *Perception*, 17, 229-247.