



THÈSE

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

Délivré par l'Université Toulouse 2 - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par

Carolane MASCLE

Le 14 décembre 2020

**Le livre tactile illustré : Influence de la technique d'illustration
sur la reconnaissance des images par des personnes voyantes et
non-voyantes**

Ecole doctorale : **CLESCO - Comportement, Langage, Education, Socialisation,
Cognition**

Spécialité : **Psychologie**

Unité de recherche :

CLLE - Unité Cognition, Langues, Langage, Ergonomie

Thèse dirigée par

Gwenaël KAMINSKI et Christophe JOUFFRAIS

Jury

M. Yacine Bellik, Rapporteur

Mme Katia Rovira, Rapporteur

Mme Julie Lemarié, Examinatrice

Mme Danyelle Valente, Examinatrice

M. Edouard Gentaz, Examineur

M. Gwenaël KAMINSKI, Directeur de thèse

M. Christophe Jouffrais, Co-directeur de thèse

Table des matières

Table des Figures	5
Table des tableaux	7
Remerciements	9
Résumé	11
Abstract	13
Introduction générale.....	15
Chapitre 1 : Cadre théorique	19
1. La déficience visuelle.....	19
1.1. Définition et classification	19
1.2. Prévalence de la déficience visuelle.....	21
2. La perception haptique	22
2.1. La perception cutanée	22
2.2. La perception haptique.....	23
2.3. Les procédures exploratoires	25
2.4. Touchers actif et passif	26
2.5. Les perceptions haptique et visuelle	29
3. Le développement de la perception haptique	37
3.1. Le développement de la perception haptique chez le nourrisson.....	37
3.2. Le développement de la perception haptique chez l'enfant.....	43
3.3. Les capacités de perception haptique chez les personnes voyantes et non-voyantes	57
4. Les représentations mentales chez les personnes non-voyantes	61
4.1. La question de l'aveugle de Molyneux	62
4.2. La capacité de produire des images mentales chez les personnes non-voyantes...	65
4.3. Analyse de dessins pour accéder aux représentations mentales	69
5. Les images tactiles	75
5.1. Les techniques de mises en relief.....	75
5.2. L'identification des images tactiles	75
6. Le livre tactile.....	100
6.1. Le développement de la conscience de l'écrit	100
6.2. La compréhension orale et écrite	102
6.3. Importance des images dans la compréhension de l'histoire.....	103

6.4.	Le livre tactile en France et dans le monde.....	106
7.	L'utilisation de nouvelles technologies pour illustrer les livres tactiles : les dispositifs à écran déformable	108
7.1.	Les tablettes à écran déformable.....	108
7.2.	Utilisation de tablettes à picots rétractables.....	109
8.	Problématique de la thèse de doctorat et questions de recherche.....	117
8.1.	Problématique	117
8.2.	Questions de recherche	119
Chapitre 2	: Les images en rond de texture.....	120
1	Contexte	120
1.1	L'avantage des images texturées	120
2	Etude 1 : effet de la forme sur la reconnaissance des images texturées.....	123
2.1	Question de recherche.....	123
2.2	Participants.....	124
2.3	Matériel.....	125
2.4	Tâche.....	127
2.5	Analyse de données.....	128
2.6	Résultats.....	130
2.7	Discussion.....	136
2.8	Conclusion	139
3.	Etude 2 : L'utilisation de ronds de texture pour illustrer un livre tactile	142
3.1.	Question de recherche.....	142
3.2.	Participants.....	142
3.3.	Matériel.....	142
3.4.	Procédure	144
3.5.	Analyse des données	145
3.6.	Résultats.....	145
3.7.	Discussion	153
4.	Conclusions	154
Chapitre 3	: Les pictogrammes tactiles.....	156
1	Contexte et état de l'art	156
1.	Utilisation de pictogrammes	156

2.	Utilisation de tablettes à picots rétractables.....	158
2.	Etude 1 bis : Reconnaissance de pictogrammes en points	158
2.1.	Questions de recherche	158
2.2.	Méthode de création des pictogrammes.....	159
2.3.	Participants et protocole.....	160
2.4.	Hypothèses.....	160
2.5.	Discussion.....	160
3.	Etude 3 : l'utilisation de pictogrammes en points vs. en lignes	163
3.1.	Questions de recherches.....	163
3.2.	Participants.....	164
3.3.	Matériel.....	164
3.4.	Méthode	166
3.5.	Hypothèses	168
3.6.	Résultats.....	170
3.7.	Discussion.....	190
4.	Analyse par item.....	197
4.1.	Méthodes.....	197
4.2.	Résultats.....	200
4.3.	Discussion.....	204
5.	Conclusion.....	205
Chapitre 4 : Discussion et perspectives.....		206
1	Discussion	206
1.1	La simplification des images tactiles	206
1.2	Des variables qui influencent la reconnaissance des images tactiles.....	217
1.3	Limites et choix méthodologiques.....	225
2.	Perspectives.....	230
2.1.	Continuer à améliorer la reconnaissance des images tactiles et la conception des livres tactiles illustrés.....	230
2.2.	Finger tracking : un outil pour étudier le fonctionnement de l'exploration haptique	233
3.	Conclusion.....	237
Bibliographie.....		239

Annexe	257
1 Découpage image texte Le Petit Chaperon Rouge.....	257
2 Temps d'exploration observés dans l'étude 3	262
2.1 Enfants voyants et non voyants.....	262
2.2 Adultes non-voyants	264
2.3 Adultes voyants et non-voyants	264
2.4 Adultes et enfants.....	266
3 CV.....	269

Table des Figures

Figure 1 : Procédures d'exploration selon Lederman et Klatzky (1990)	25
Figure 2 : Exemple de panneau utilisé pour cacher la vue des participants	29
Figure 3 : Stimuli utilisés dans l'étude de Picard et Monnier	31
Figure 4 : Exemple de dessins produits dans l'étude de Puspitawati et al. (2014)	44
Figure 5 : Exemple de tests proposés par Ballesteros et al. (2005).....	45
Figure 6 : Exemples de tests proposés par Mazella et al. (2016).....	47
Figure 7 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Heller et Clyburn, (1993).....	58
Figure 8 : Exemple de dessins produits par des enfants non-voyants.....	71
Figure 9 : Technique d'illustrations adaptée de Theurel et al., (2013).....	75
Figure 10 : Exemple d'images utilisées par Thompson et al. (2003).....	86
Figure 11 : Exemple de dessins produits dans l'étude de Kalia & Sinha (2011).....	92
Figure 12 : Exemple d'illustration d'un « coloriage tactile » selon Valente et Gentaz (2019)	95
Figure 13 : Exemple d'illustration en texture et d'illustration engageant des manipulations..	96
Figure 14 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Valente et al. 2021	97
Figure 15 : Tablette "Hyperbraille" Photo: Ernst Kaczynski.	109
Figure 16 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Schimizu et al. (1993)	110
Figure 17 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Bellik et Clavel (2017).....	111
Figure 18 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Velazquez et al. (2008)	111
Figure 19 : Exemple de dessins produits dans l'étude de Velazquez et al. (2008)	112
Figure 20 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Frabrizio et al. (2018).....	112
Figure 21 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Maucher et al. (2001).....	113
Figure 22 : Configurations proposées par Zarate et Shea (2016).....	114
Figure 23 : Plan d'une chambre affiché sur le dispositif étudié par Zarate et al. (2017).....	114
Figure 24 : Liste de mots et IFS	126
Figure 25 : Matériel utilisé	127
Figure 26 : Effet de la condition et du statut visuel sur la reconnaissance	131
Figure 27 : Effet du statut visuel et de la condition sur le temps d'exploration	133
Figure 28 : Effet du statut visuel et de la condition sur le temps de reconnaissance	136
Figure 29 : Texture utilisée pour le sapin à gauche et la balayette à droite	139
Figure 30 : : Exemple de livre originaux adaptés	141
Figure 31 : Légende du l'adaptation du Petit Chaperon Rouge	143
Figure 32 : Exemple de page du <i>Petit Chaperon Rouge</i>	148
Figure 33 : <i>Le petit Chaperon Rouge</i> , Collection « raconte à ta façon »	157
Figure 34 : Exemple de scène illustrée avec 4 pictogrammes sur une tablette à picots.....	160
Figure 35 : Exemple de pictogramme présentant un arrondi	165
Figure 36 : Exemple de pictogrammes à l'échelle	165
Figure 37 : Matériel expérimental utilisé	166
Figure 38 : Effet de la taille du doigt sur la reconnaissance	171
Figure 39 : Effet des variables étudiées sur la reconnaissance chez les enfants	173
Figure 40 : Effet de la condition et du statut visuel sur le temps de reconnaissance : enfants	174
Figure 41 : Effet de la condition et du statut visuel sur la reconnaissance : non-voyants.....	176
Figure 42 : Effet de la connaissance du braille sur la reconnaissance	180
Figure 43 : Effet de la condition et du statut visuel sur le temps de reconnaissance :adultes	184
Figure 44 : Effet de la condition et de l'âge sur la reconnaissance.....	186

Figure 45 : Effet de la condition et de l'âge sur le temps d'exploration	188
Figure 46 : Exemple de dessins de pictogrammes	195
Figure 47 : Exemple de dessins produits par les adultes voyants	196
Figure 48 : Exemple de pictogramme avec contours en relief et plein	198
Figure 49 : Taux de reconnaissance en fonction du type de pictogramme selon la condition	201
Figure 50 : Taux de reconnaissance en fonction de l'utilisation d'arrondi	202
Figure 51 : Effet du score de similitude sur la reconnaissance en fonction de la condition ..	203
Figure 52 : Effet du nombre de points sur la reconnaissance en fonction de la condition....	204
Figure 53 : Où es-tu lune ? Version originale et version adaptée	210
Figure 54 : Médiation proposée par Vanessa Mourey-Soriano.....	214
Figure 55 : Exemple de livre original (à droite) et adapté (à gauche).....	216
Figure 56 : Modèle de la médiation visuelle revisité par Lebaz (2010).....	223
Figure 57 : Pictogramme du chapeau	226
Figure 58 : Exemple de tablette à haute résolution	231
Figure 59 : Proposition de nouveau pictogramme à taille réelle	232
Figure 60 : Exemple de tracé des mouvements d'exploration	234
Figure 61 : Exemple de tracé des mouvements d'exploration sur les images texturées	235
Figure 62 : Effet de la condition et du statut visuel sur la reconnaissance	262
Figure 63 : Effet de la condition et du statut visuel sur le temps d'exploration : adultes.....	265
Figure 64 : Effet de la population, du statut visuel et de la condition sur le temps d'exploration	267

Table des tableaux

Tableau 1 : Résumé des études sur le toucher passif et actif	28
Tableau 2 : Etudes sur la reconnaissance des images tactiles chez les adultes	79
Tableau 3 : Etudes sur la reconnaissance des images tactiles chez les enfants.....	80
Tableau 4 : Etudes sur des dispositifs à picots mobiles	115
Tableau 5 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance	130
Tableau 6 : Effet simple du statut visuel selon la condition.....	132
Tableau 7 : Effet simple de la condition chez les enfants voyants.....	132
Tableau 8 : Effet simple de la condition chez les enfants non-voyants	132
Tableau 9 : Effet des variables étudiées sur le temps d'exploration.....	133
Tableau 10 : Effet du statut visuel sur le temps d'exploration selon la condition	134
Tableau 11 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les enfants voyants.....	134
Tableau 12 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les enfants non-voyants	135
Tableau 13 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance.....	135
Tableau 14 : Comparaisons des temps de reconnaissance selon la condition.....	136
Tableau 15 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance chez les enfants	172
Tableau 16 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance chez les enfants ..	173
Tableau 17 : Comparaison du taux de reconnaissance par condition selon le statut visuel...	175
Tableau 18 : Effet de la condition sur le temps de reconnaissance chez les enfants voyants	175
Tableau 19 : Effet de la condition sur le temps de réponse chez les enfants non-voyants.....	175
Tableau 20 : Effet des variables sur le reconnaissance chez les participants non-voyants	176
Tableau 21 : Effet simple statut visuel selon la condition.....	177
Tableau 22 : Effet de la condition sur le taux de reconnaissance : non-voyants précoces.....	177
Tableau 23 : Effet de la condition sur le taux de reconnaissance : non-voyants tardifs	178
Tableau 24 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance	179
Tableau 25 : Comparaison des taux de reconnaissance par condition selon le statut visuel.	181
Tableau 26 : Effet de la condition sur la reconnaissance : brailleuses	181
Tableau 27 : Effet de la condition sur la reconnaissance : non-brailleuses	182
Tableau 28 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance : non-voyants.....	182
Tableau 29 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance : adultes	183
Tableau 30 : Effet du statut visuel sur le temps de reconnaissance	185
Tableau 31 : Effet de la condition sur le temps de reconnaissance : voyants	185
Tableau 32 : Effet de la condition sur le temps de reconnaissance : non-voyants.....	185
Tableau 33 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance : adultes et enfants	186
Tableau 34 : Comparaison des taux de reconnaissance selon l'âge.....	187
Tableau 35 : Effet des variables étudiées sur le temps d'exploration.....	187
Tableau 36 : Temps de reconnaissance chez les enfants et adultes : voyants	189
Tableau 37 : Temps de reconnaissance chez les enfants et adultes : non-voyants.....	189
Tableau 38 : Hypothèses proposées	191

Tableau 39 : Taux de reconnaissance par pictogramme selon la condition	199
Tableau 40 : Effet du type de pictogramme sur la reconnaissance selon la condition.....	200
Tableau 41 : Effet de l'utilisation d'arrondi sur la reconnaissance selon la condition	201
Tableau 42 : Effet du score de similitude sur la reconnaissance selon la condition	202
Tableau 43 : Effet du nombre de points sur la reconnaissance selon la condition.....	203
Tableau 44 : Effet des variables étudiées sur le temps d'exploration chez les enfants	262
Tableau 45 : Comparaison des taux de reconnaissance par condition selon le statut visuel..	263
Tableau 46 : Effet de la condition sur le temps d'exploration : enfants voyants.....	263
Tableau 47 : Effet de la condition sur le temps d'exploration : enfants non-voyants	263
Tableau 48 : Effet des variables étudiées sur la reconnaissance	264
Tableau 49 : Effet des variables étudiées sur la reconnaissance : les adultes	264
Tableau 50 : Effet du statut visuel sur le temps d'exploration selon la condition	266
Tableau 51 : Effet de la condition sur le temps d'exploration : voyants	266
Tableau 52 : Effet de la condition sur le temps d'exploration : non-voyants	266
Tableau 53 : Effet des variables étudiées sur les temps d'exploration : enfants et adultes	267
Tableau 54 : Temps de reconnaissance chez les enfants et adultes selon la condition :	268
Tableau 55 : Temps de reconnaissance chez les enfants et adultes : non-voyants.....	268

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes encadrants de thèse Florence Bara, Gwenaël Kaminski et Christophe Jouffrais qui ont permis de faire en sorte que ce projet voit le jour et qui m'ont suivie et accompagné durant ces trois années de thèse.

J'ai été ravie de travailler avec les différents centres pour la déficience visuelle qui se sont impliqués dans le projet : l'IJA de Toulouse, le Cival-Lestrade de Toulouse, l'UNADEV de Toulouse, le CRDV de Clermont-Ferrand, IRSA de Bordeaux et l'institut Montéclair à Angers. Je tiens à remercier énormément les personnes qui m'ont accueillie et ont organisé les passations : Grégoire Denis, Laurence Boulade, Anne Lorho, Valérie Mondon, Laurence Condamines-Daminalo, Emmanuel Giammona, Laurence Barrier, Emmanuelle Tourneur et Catherine Thibault. Mais également tous les enseignants spécialisés et les professionnels avec qui j'ai eu l'occasion de discuter et qui m'ont permis d'avancer dans ma réflexion et mon enrichissement personnel et intellectuel.

Je souhaite également remercier les écoles primaires toulousaines qui m'ont accueillie : l'école Vinsonneau de Montastruc et l'école Grand Selve. Et un remerciement tout particulier à Alexandra qui a été d'une grande aide dans le recrutement et les passations.

Je remercie tous ces acteurs d'avoir pris le temps et de s'être intéressés à mon projet de recherche. J'espère pouvoir continuer à discuter avec eux pour la suite. Je remercie particulièrement tous les participants des études et les parents des enfants ayant participé.

Ce projet de doctorat n'aurait pas été terminé dans les temps sans l'aide précieuse des stagiaires. Je remercie particulièrement Héléna Escoda pour son travail lors de ses deux stages

sur le projet. Je remercie également Lenny Sulfart et Oriane Caracatsanis pour leur travail malgré des conditions difficiles en télétravail.

Je remercie également Daniel Baudot d'avoir utilisé son œil de lynx pour lire et corriger les coquilles du manuscrit.

Je remercie mes collègues du CLLE et de l'IRIT qui m'ont soutenue dans les bons et les mauvais moments que ce soit pour un café au laboratoire, un repas ou RU ou autour d'une bière. Je regrette de ne pas avoir pu partager mes derniers moments en tant que doctorante et ma soutenance avec eux. J'espère pouvoir vite fêter cela quand la crise sanitaire relèvera du passé !

Je remercie ma famille de m'avoir soutenue moralement et financièrement durant mes longues années d'étude et de déplacement à l'étranger ou en France.

Je remercie tous les membres du jury et les rapporteurs de ma thèse pour leur travail minutieux et extrêmement enrichissant. La soutenance en visio était une source d'angoisse et une déception importante pour moi. Je les remercie d'avoir tout de même réussi à rendre ce moment convivial et riche. J'espère pouvoir recroiser chacun d'entre eux en présentiel rapidement.

Résumé

Dès le plus jeune âge, les livres illustrés jouent un rôle dans le développement de la conscience de l'écrit (Yaden, Rowe, & MacGillivray, 1999). Toutefois, les enfants avec une déficience visuelle n'ont pas accès à des livres illustrés comme les enfants voyants. Certains enfants peuvent entrer à l'école sans jamais avoir eu accès à un livre (Claudet, 2014). De plus, rien ne garantit que les images tactiles puissent être facilement reconnues.

Dans cette thèse, nous avons étudié l'influence de différentes techniques de représentation des illustrations tactiles sur leur reconnaissance. Sur la base de l'état de l'art, nous proposons de simplifier la forme de ces images tactiles. Cette simplification peut permettre de faciliter le processus de création des images. De plus, cela permet de limiter les mouvements d'exploration et le travail d'intégration mentale afin de rendre ces images plus accessibles au toucher. Chez les enfants non-voyants nous avons observé que des images en ronds de texture sont reconnues aussi bien et apprises plus rapidement que les images texturées habituellement utilisées dans les livres tactiles (taux de reconnaissance : 87.8%, $IC_{95\%}$ [81.3, .92.2])

Nous avons également évalué la pertinence de l'utilisation de nouvelles technologies telles que les tablettes picots rétractables (Zarate, Gudozhnik, Ruch, & Shea, 2017) pour l'affichage de pictogrammes en points. Si l'utilisation de pictogrammes en lignes semble une bonne technique d'illustration (taux de reconnaissance chez les enfants non-voyants : 89.7, $IC_{95\%}$ [78.4, 94.8]) la reconnaissance de pictogrammes en points peut être plus difficile. Nous avons donc proposé des recommandations pour la conception de pictogrammes en points pouvant être affichés sur des tablettes à picots rétractables.

Nos études incluent des enfants et adultes, voyants et non-voyants. Nous avons pu apporter des données complémentaires permettant de mieux comprendre les facteurs impliqués dans la perception haptique tels que le statut visuel, la compétence haptique, l'âge (enfants ou adultes) ou encore la taille du doigt.

De façon générale, les études menées dans cette thèse permettent de mieux comprendre les processus impliqués dans la perception des images tactiles et de fournir des recommandations pour la conception d'images et de livres tactiles.

Abstract

From an early age, illustrated books play a role in the development of written awareness (Yaden, Rowe, & MacGillivray, 1999). However, children with visual impairments do not have access to illustrated books like sighted children do. Some children may enter school without ever having access to any book (Claudet, 2014). In addition, there is no guarantee that tactile images can be easily recognized.

In this thesis, we studied the influence of different illustration techniques on the recognition of tactile pictures. Based on the state of the art, we proposed to simplify the shape of tactile pictures. Indeed, simplification can facilitate the process of creating images. Moreover, it can limit the amount of exploration movements and the work of mental integration required in order to make the pictures more accessible to touch. In blind children we have observed that patches of textures are recognized as well and learned faster than pictures with textures frequently used in tactile books (recognition rate: 87.8%, 95% CI [81.3, .92.2])

We also assessed the relevance of using new technologies such as retractable pin tablets (Zarate, Gudozhnik, Ruch, & Shea, 2017) to display dotted pictograms. While the use of line pictograms seems to be a good illustration technique (recognition rate in blind children: 89.7, 95% CI [78.4, 94.8]), recognizing dotted pictograms can be more difficult. We have therefore proposed recommendations for the design of dotted pictograms that can be displayed on retractable pin tablets.

Our studies focus on sighted and blind adults and children. We were able to provide additional data to better understand the factors involved in haptic perception such as visual status, haptic expertise, age (children or adults) or the size of the finger.

In general, the studies carried out in this thesis provide a better understanding of the processes involved in tactile pictures perception and provide recommendations for designing tactile pictures and books.

Introduction générale

Les livres illustrés jouent un rôle dès le plus jeune âge dans le développement de la conscience de l'écrit. L'exposition régulière à des livres permet à l'enfant de comprendre tout un ensemble de choses comme le fait que les symboles utilisés, les lettres, forment des mots qui se lisent de gauche à droite. L'enfant se constitue ainsi une base de connaissances et de compétences avant même d'apprendre à lire en tant que tel. Les images dans les livres motivent les enfants (lecteurs ou non) à s'engager dans des activités de lecture (O'keefe & Solman, 1987) et permettent aux jeunes lecteurs de mieux comprendre l'histoire (Orrantia, Múñez, & Tarin, 2014; Pike, Barnes, & Barron, 2010). Dans le cas de la déficience visuelle sévère (très malvoyant ou non-voyant) il est nécessaire d'adapter les livres en proposant par exemple des images tactiles. En France, à notre connaissance, seules deux maisons d'éditions sont spécialisées dans l'édition de ce type de livre. Les enfants non-voyants ont donc un accès restreint aux livres et n'arrivent pas à l'école avec les mêmes bases de compétences et de connaissances que les enfants voyants (Chelin, 1999; Comtois, 1997; Koenig & Holbrook, 2000; Lewi-Dumont, 1997). Le contexte actuel qui promeut l'inclusion scolaire (loi « pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées » du 11 février 2005) rend d'autant plus criantes ces différences.

Les enfants voyants sont exposés à l'écrit tous les jours - même sans le vouloir - que ce soit sur les panneaux publicitaires, les emballages de type paquet de céréale ou autre ; ce qui n'est pas le cas des enfants avec une déficience visuelle sévère. En effet, en cas de déficience visuelle, la lecture se fait grâce au braille et les enfants non-voyants n'y sont que très peu exposés dans leur environnement quotidien. Parallèlement, il est reconnu que les performances en lecture des enfants sont en partie influencées par les conceptions qu'ils ont de l'acte de lire

avant tout apprentissage structuré (Lewi-Dumont, 1997). Il est donc essentiel que les enfants avec déficience visuelle puissent profiter de livres illustrés de la même façon que leurs camarades voyants, avec des images tactiles accessibles et faciles à comprendre.

Cependant, même en ayant accès à des livres adaptés, il n'y a aucune garantie que les enfants puissent comprendre facilement les images tactiles proposées et donc bénéficier des effets positifs des illustrations. En effet, l'utilisation du toucher pour compenser la vision impose certaines contraintes inhérentes au système haptique (qui regroupe des informations cutanées et proprioceptives) par rapport au système visuel. Nous pouvons nous demander comment ces contraintes affectent la perception des images et si la simple mise en relief d'une image permet la même compréhension qu'en modalité visuelle. De même, qu'en est-il des représentations que se construisent les personnes non-voyantes ? Quelle est la représentation que se fait un enfant n'ayant jamais vu d'une rivière ? En effet, certains mots et expressions utilisés par les voyants, comme par exemple « soleil qui brille », ne correspondent pas à l'expérience perceptive des non-voyants (Martinez Sarocchi, 1996). Les images sont régies par des normes de représentation graphique (e.g. la technique de la perspective). Comment ce même enfant comprend-il la technique de perspective ? Selon Valente (2012, p13), « dans la plupart des cas, lorsqu'une personne non-voyante cherche à comprendre un dessin conçu par les voyants et pour les voyants, elle doit faire un effort cognitif considérable ». Pour se représenter ces notions les personnes non-voyantes doivent faire une « traduction » alors que les voyants font juste une « transposition ». De ce fait, « pour les personnes non-voyantes, le contenu des images et des illustrations correspond très peu - et parfois même pas du tout - à la perception qu'elles ont, dans la réalité, des objets représentés » (Valente, 2012, p14).

Nos travaux viennent nourrir le débat sur les représentations mentales et ouvrent une réflexion sur la définition de l'image. Une image est-elle forcément visuelle ? Est-il nécessaire

de représenter la forme de l'objet ? Peut-on utiliser des « images haptiques » sans formes figurative comme des ronds de texture et les appeler images ?

Ces travaux s'inscrivent dans le champ des sciences cognitives en développant une approche pluridisciplinaire, afin d'apporter des contributions dans deux domaines spécifiques. Le premier domaine concerne la psychologie cognitive. Nous abordons la question de l'image tactile à travers plusieurs notions telles que la perception haptique ou les représentations mentales. Nous nous basons sur cette littérature pour proposer et évaluer des méthodes d'illustration plus efficaces. Les deuxièmes contributions s'inscrivent dans le domaine de l'informatique et plus particulièrement des interactions homme-machine. Nous discutons de l'utilisation de nouvelles technologies pour afficher des illustrations tactiles pouvant alors être dynamiques et facilement modifiables.

Le premier chapitre de ce manuscrit pose le contexte théorique de nos travaux. Nous abordons différentes notions permettant de mieux comprendre les difficultés rencontrées par des personnes avec déficience visuelle pour la reconnaissance des images tactiles. Nous discutons du développement de la perception haptique de la naissance à l'âge adulte avec ou sans déficience visuelle. Nous abordons ensuite le thème des représentations mentales en mettant en avant les similarités et les différences entre les personnes voyantes et non-voyantes en fonction de l'âge d'apparition de la déficience visuelle. Puis, nous discutons des différentes hypothèses proposées pour expliquer les difficultés rencontrées par des personnes avec déficience visuelle pour la reconnaissance des images tactiles. Nous abordons ensuite le contexte du livre illustré et l'importance des images pour l'apprentissage de la lecture et la compréhension de l'histoire. Pour finir, nous revenons sur les difficultés d'accès à la lecture pour les enfants avec déficience visuelle à travers un bref historique du livre tactile illustré.

Les chapitre 2 et 3 présentent nos contributions. Dans le chapitre 2, nous discutons l'intérêt d'utiliser un mode de représentation très schématique (des ronds de différentes textures) pour

illustrer un livre. Dans le chapitre 3 nous discutons de l'utilisation de pictogrammes tactiles et de la possibilité d'afficher ce type de pictogrammes sur de nouvelles technologies telles que les tablettes à picots rétractables.

Le chapitre 4 revient sur les résultats principaux de la thèse afin de les discuter au regard des apports théoriques présentés dans le premier chapitre. Ceci est l'occasion de faire le lien entre les études réalisées en laboratoire et celle réalisée en contexte écologique. Nous discutons également l'intérêt de lier les domaines de la psychologie cognitive et des interactions homme-machine.

Dans ce manuscrit, nous apportons un éclairage sur l'image tactile adaptée et discutons de différentes méthodes d'illustration et d'affichage des illustrations afin de rendre les livres et les images plus accessibles aux enfants avec déficience visuelle.

Chapitre 1 : Cadre théorique

1. La déficience visuelle

1.1. Définition et classification

Selon la définition de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), « est handicapée toute personne dont l'intégrité physique ou mentale est passagèrement ou définitivement diminuée, soit congénitalement, soit sous l'effet de l'âge ou d'un accident, en sorte que son autonomie, son aptitude à fréquenter l'école ou à occuper un emploi s'en trouvent compromises ». Selon la nouvelle définition donnée par la loi française du 11 février 2005 portant sur l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, constitue un handicap « toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicap ou d'un trouble de santé invalidant. »

Les personnes en situation de handicap visuel ont une déficience visuelle. La déficience visuelle, sa définition et sa prise en charge éducative sont apparues en France dans les années 1990 (Robert et al., 2017). Les personnes avec une déficience visuelle peuvent être atteintes de malvoyance ou de cécité (du latin *caecitas*, « perte de la vue »). Depuis le Xe siècle, les personnes atteintes de cécité sont appelées aveugles (du latin *ab oculis* ou « sans œil »). Cependant, à partir des années 1970-1980, sous l'impulsion des personnes aveugles le terme « non-voyant » est de plus en plus employé. L'appellation aveugle peut avoir, au sens figuré ou dans certaines expressions françaises, une connotation péjorative, par exemple « la passion rend

aveugle » (Hatwell, 2003a). Nous privilégierons donc dans cette thèse le terme non-voyant pour parler des personnes atteintes de cécité.

La plupart des définitions fondées sur des mesures objectives de la déficience visuelle prennent en compte la taille du champ visuel et l'acuité visuelle avec la correction portée. Le champ visuel correspond à la portion d'espace que l'œil peut percevoir autour d'un point qu'il fixe. L'acuité visuelle correspond à la capacité de l'œil à faire la distinction entre deux points distincts, soit la capacité à percevoir les détails. Elle s'exprime en dixième, vingtième ou cinquantième. On utilise le vingtième ou le cinquantième lorsque l'acuité visuelle est très réduite.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit cinq stades de la déficience visuelle allant de la cécité totale à la malvoyance :

- La cécité absolue : absence totale de perception de la lumière.
- La déficience presque totale, ou cécité sévère : acuité visuelle inférieure à 1/50 avec perception de la lumière, ou un champ visuel inférieur à 5 degrés.
- La déficience profonde : acuité visuelle inférieure à 1/20 et supérieure à 1/50 ou un champ visuel inférieur à 10 degrés et supérieur à 5 degrés.
- La déficience sévère : acuité visuelle inférieure à 1/10 et supérieure ou égale à 1/20.
- La déficience moyenne : acuité visuelle inférieure à 3/10 et supérieure ou égale à 1/10 avec un champ visuel d'au moins 20 degrés.

En France, la cécité légale est définie par une acuité visuelle inférieure à 1/20 pour le meilleur œil après correction. On parle de malvoyance lorsque l'acuité visuelle après correction est comprise entre 4/10 et 1/20 ou si le champ visuel est compris entre 10 et 20 degrés.

1.2. Prévalence de la déficience visuelle

D'après une étude de l'OMS (OMS, 2012), au moins 7 millions de personnes perdent la vue chaque année. Le nombre estimé de personnes avec une déficience visuelle est de 285 millions : 39 millions de personnes non-voyantes et 246 millions de personnes malvoyantes. La prévalence de la cécité est de 0.08% chez les enfants et on compte près de 1,4 million d'enfants non-voyants. La déficience visuelle fait partie des déficiences les plus rares chez les enfants (Lewi-Dumont, 2016).

En France, la loi interdit le recensement de personnes en situation de handicap. Il est donc difficile d'avoir des données précises. L'observatoire régional de la santé (2005) exploite les résultats de l'enquête Handicap-Incapacité-Dépendance (HID) menée par l'INSERM de 1998 à 2000 pour proposer un état des lieux de la déficience visuelle en France. Selon cette enquête, la France métropolitaine compte environ 1 700 000 personnes avec une déficience visuelle soit 2,9% de la population. Parmi ces personnes, 207 000 seraient malvoyantes sévères ou non-voyantes. Un rapport de l'INSERM (2002) estime que la prévalence de la cécité chez l'enfant dans les pays européens est de l'ordre de 0,1 ‰ à 0,5 ‰. Les chiffres sur la malvoyance chez les enfants sont plus difficiles à récolter car le seuil pour être diagnostiqué malvoyant varie selon les pays.

La vue joue un rôle dominant chez les êtres humains, si bien que l'OMS considère la cécité comme un « handicap majeur ». Selon Hatwell (2003a) aucune autre modalité perceptive n'égale la vision dans la quantité et la qualité des données fournies. Les personnes avec une déficience visuelle doivent donc compenser le manque ou l'altération de la vision. Le toucher reste la modalité perceptive la plus capable de supplanter la vision défaillante (Hatwell, 2003a). Elle peut informer sur de nombreuses propriétés de l'objet auxquelles la vision donne également accès.

2. La perception haptique

Le toucher tout comme le goût est un sens de contact, à distinguer d'autres sens tels que la vision, l'audition ou l'odorat. Cependant, contrairement au goût dont les récepteurs sont localisés, le toucher est une modalité dont les récepteurs sont répartis sur tout le corps.

Les recherches en psychologie cognitive ont permis d'identifier deux types de perception tactile : la perception cutanée et la perception haptique (Hatwell, Streri, & Gentaz, 2000).

2.1. La perception cutanée

La perception cutanée est associée à un toucher dit « passif » qui résulte de la stimulation d'une partie du corps immobile. Les informations accessibles par la perception cutanée sont assez pauvres et partielles : elles sont uniquement extraites de la déformation mécanique de la peau disponible dans un champ perceptif réduit (Gibson, 1966; Hatwell, 2003a; Katz, 1989; Révész, 1950).

Ces informations sont captées par des récepteurs que l'on retrouve dans les différentes couches de la peau. Les recherches ont permis d'en identifier quatre types qui se distinguent du point de vue de leurs propriétés d'adaptation (rapide : récepteurs actifs au début du contact avec le stimulus, lente : récepteurs actifs durant tout le temps de contact avec le stimulus) et de leur champ perceptif (Johnson & Hsiao, 1992).

Sur le plan de la capacité d'adaptation les corpuscules de Meissner et de Pacini sont à adaptation rapide tandis que les récepteurs de Merkel et les corpuscules de Ruffini nécessitent un temps d'adaptation plus lent. Les récepteurs à adaptation rapide codent les dimensions temporelles de la stimulation (début et fin) tandis que les récepteurs à adaptation lente permettent d'extraire des informations de type spatial.

En ce qui concerne le champ récepteur, il est réduit et délimité pour les corpuscules de Meissner et les récepteurs de Merkel et plus large et flou pour les corpuscules de Pacini et Ruffini. Parmi ces quatre types de récepteurs, trois auraient un rôle spécifique dans la perception tactile (Johnson & Hsiao, 1992). Les récepteurs de Merkel seraient spécialisés dans le traitement des informations spatiales et de la texture (*e.g.* pour la lecture du braille) tandis que les corpuscules de Meissner traiteraient principalement le mouvement d'un objet détecté sur la surface de la peau (Blake, Hsiao, & Johnson, 1997). Pour finir, les corpuscules de Pacini traiteraient des propriétés temporelles du stimulus comme les vibrations (Brisben, Hsiao, & Johnson, 1999).

Le traitement de la température se fait par des thermorécepteurs qui mesurent les variations de température cutanée (Hensel, 1974). Il en existe deux types : les récepteurs au froid (entre 10 et 35°C) et les récepteurs au chaud (entre 35 et 46°C). En dessous de 10 °C, le froid anesthésie les récepteurs. Au-delà de 46 °C, les neurones nociceptifs (récepteurs à la douleur) prennent le relais.

Dans la perception cutanée, le champ perceptif est limité à la zone en contact avec l'objet. Bien que certaines discriminations soient possible avec ce toucher dit « passif », la capacité de perception tactile reste limitée (Gibson, 1966; Katz, 1989; Révész, 1950).

2.2. La perception haptique

Pour récolter plus d'informations, des mouvements d'exploration sont nécessaires. En effet, en plus de la déformation mécanique de la peau, ces mouvements permettent de récupérer des informations proprioceptives. La proprioception désigne la perception de la position des différentes parties du corps. Ces informations viennent des muscles, des articulations et des tendons. On parle alors de toucher « actif » ou de perception haptique.

Le terme haptique (du terme anglais haptic, lui-même emprunté au grec) a été introduit pour la première fois en psychologie par Révész (1950) qui met en association des sensations cutanées et proprioceptives. Les régions les plus mobiles et les plus riches en récepteurs sensoriels sont mobilisées pour l'exploration. On observe l'utilisation de la région buccale chez les nourrissons dont le développement moteur est encore fragile mais, peu à peu, l'utilisation du système main-épaule devient dominant (Ruff, Saltarelli, Capozzoli, & Dubiner, 1992)

En plus des récepteurs cutanés décrits précédemment, des récepteurs proprioceptifs issus des mouvements d'exploration du système main-épaule sont alors mobilisés. Ces récepteurs sont localisés au niveau des muscles et des tendons (Hatwell et al., 2000). Les récepteurs musculaires sont issus des fuseaux neuromusculaires et récupèrent principalement de l'information sur l'état du muscle (en particulier sa longueur et la vitesse de changement de cette longueur). Les récepteurs situés au niveau des tendons sont appelés les organes tendineux de Golgi. Ils permettent de traiter les informations concernant la tension du muscle et ses variations dans le temps.

Les informations extraites par les récepteurs cutanés et proprioceptifs sont transmises au système nerveux central. La contribution respective des informations cutanées et proprioceptives dans la perception haptique n'est pas encore claire. Il semble que la contribution de chaque système dépende de la nature de la tâche. Une tâche dans laquelle le stimulus est principalement exploré par la main sur un petit espace (*e.g.* une forme) impliquerait une contribution équivalente d'informations à la fois cutanées et proprioceptives (Voisin, Lamarre, & Chapman, 2002). Une tâche dans laquelle le stimulus nécessite des mouvements d'explorations plus importants (*e.g.* une tige) impliquerait une plus grande contribution des informations proprioceptives (Wydoodt, Gentaz, Gaunet, Chêne, & Streri, 2004). Une tâche qui impliquerait la détection de vibrations nécessiterait une plus grande contribution des informations cutanées.

2.3. Les procédures exploratoires

L'utilisation du système haptique implique des processus complexes. Pour appréhender les objets, des mouvements spécifiques doivent être mis en place. Ces mouvements sont caractérisés par la nature et la quantité d'information qu'ils peuvent fournir ainsi que les propriétés pour lesquels ils sont adaptés. Ces mouvements, appelés procédures exploratoires, ont été observés et classifiés par [Lederman & Klatzky \(1987\)](#). Les auteures ont défini six procédures exploratoires distinctes permettant l'accès à différentes propriétés de l'objet ([Figure 1](#)). Le mouvement latéral (« lateral motion ») est un mouvement de frottement latéral répétitif le plus souvent utilisé pour percevoir la texture d'un objet. Pour extraire des informations sur la dureté, une pression est appliquée sur la surface d'un objet. Ce mouvement est appelé pression ou « pressure ». Le contact statique (« static contact ») est un contact sans mouvement, utilisé pour déterminer la température de l'objet. Le soupesage (« unsupported holding ») consiste à soulever un objet afin d'extraire des informations sur son poids. L'enveloppement (« enclosure ») implique des mouvements dynamiques de la paume et/ou des doigts sur un objet afin d'extraire des propriétés volumétriques ainsi que des informations sur la forme de l'objet. Enfin, dans la procédure de suivi de contours (« contour following »), un doigt ou plus explorent les contours de l'objet permettant d'extraire des informations spatiales précises concernant sa forme.

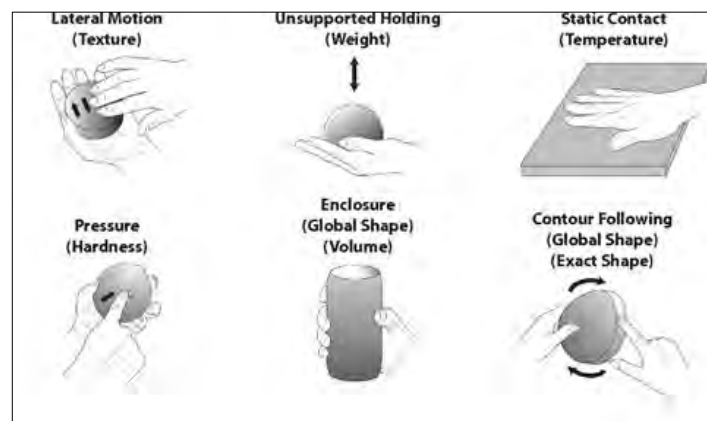


Figure 1 : Procédures d'exploration selon Lederman et Klatzky (1990)

2.4. Touchers actif et passif

La littérature comparant l'utilisation du toucher passif ou actif est assez divergente (Symmons, Richardson, & Wnillemin, 2004). Selon Klatzky et Lederman (2003), l'emploi et la définition associés aux termes actif et passif se sont révélés variables au fil du temps. De plus, les études portent uniquement sur du matériel bidimensionnel et non sur l'exploration de vrais objets. Selon Symmons et al. (2004), il existe au moins trois dimensions sur lesquelles les études diffèrent.

Le mouvement : dans certaines études les chercheurs considèrent que le toucher passif correspond au fait de placer son doigt ou sa main sur un objet fixe sans bouger alors que le toucher actif correspond au fait de bouger son doigt ou sa main sur la surface de l'objet. On compare alors la perception cutanée à la perception haptique.

La séquentialité : dans certaines études les auteurs reprennent l'idée d'un toucher passif sans aucun mouvement ni de l'objet ni du participant. Cependant, pour des formes ne pouvant pas être présentées en totalité sous la pulpe du doigt, certains chercheurs proposent de poser l'objet sur la main. Dans la condition active, les participants explorent les contours de la forme avec leur index. Dans la condition passive, la forme globale de l'objet est en contact avec la peau. On compare alors la perception séquentielle à la perception globale.

L'intentionnalité : dans certaines études, les auteurs considèrent que le toucher est passif lorsque le doigt du participant est guidé ou que l'objet est déplacé sous le doigt pour explorer la forme. Le toucher est actif lorsque le participant met en place des mouvements d'exploration volontaire. On étudie alors l'effet de la mise en place volontaire de mouvements d'exploration sur la perception tactile.

Ces différentes définitions du toucher passif mènent donc à l'étude de processus différents. Un résumé des études menées en fonction de la condition passive employée, des tâches réalisées et des stimuli proposés est présenté dans le [Tableau 1](#).

Il semble que lorsque l'objet est présenté de façon statique sur le doigt ou la main dans la condition passive et que l'objet est exploré librement dans la condition active, les performances sont meilleures dans la condition active. La mise en place de mouvements d'exploration permettrait donc d'améliorer la perception tactile. En effet, comme mentionné précédemment la mise en place de mouvements durant l'exploration tactile permet l'accès à des informations de types proprioceptif et cutané tandis que l'absence de mouvement ne permet l'accès qu'à des informations de type cutané.

Les résultats sont moins clairs concernant la mise en place volontaire de ces mouvements. Selon [Van Doorn, Dubaj, Wuillemin, Richardson, et Symmons, \(2012\)](#) il est possible que les résultats dépendent de la tâche effectuée et de la charge cognitive associée. En effet, la mise en place de mouvements volontaires implique des processus de haut niveau (choix, exécution et contrôle du mouvement, détection des erreurs). Il est possible que lorsque la tâche est plus coûteuse mentalement, l'exploration guidée permette d'observer de meilleures performances. En effet, les participants sont alors libérés de la charge liée à la mise en place de mouvements d'exploration volontaires et contrôlés. Le fait de guider le mouvement de la main et du doigt serait donc plus efficace lorsque la tâche est plus coûteuse. Ce type de guidage peut être pertinent pour des personnes novices apprenant à explorer du contenu tactile. En effet, ces personnes peuvent alors focaliser leurs ressources cognitives sur la perception haptique de l'objet.

Tableau 1 : Résumé des études sur le toucher passif et actif

	Condition passive	Tâche	Stimuli	Supériorité
Austin et Sleight (1952)	Statique	Identification	Chiffres et lettres	Actif
Bairstow et Laszlo (1978)	Guidé	Appariement visuel	Formes abstraites	Equivalent
Heller (1980)	Statique main	Dessin	Formes simples	Actif
Heller et Boyd (1984)	Stylé guidé	Identification	Formes simple	Passif
Heller et Myers (1983)	Statique main	Appariement visuel	Formes simples	Actif
Heller, (1989b)	Objet déplacé	Comparaison	Papiers abrasifs	Equivalent
Heller, Nesbitt et Scrofano (1991)	Stylé guidé	Identification	Lettres	Passif
Nobuo (1990)	Statique	Identification	Lettres	Actif
	Objet déplacé			Equivalent
Lederman (1981)	Objet déplacé	Identification	Plaques rainurées	Equivalent
Loo, Hall, McCloskey et Rowe (1983)	Guidé	Identification	Lettres	Equivalent
	Objet déplacé			Actif
Loomis (1981)	Statique	Identification	Lettres	Actif
Magee et Kennedy (1980)	Guidé	Identification	Images en relief	Passif
Phillips, Johnson et Browne (1983)	Statique	Identification	Lettres	Actif
	Guidé	Déplacement spatial	Labyrinthe	Actif
Schwartz, Perey et Azulay (1975)	Statique main	Identification	Formes simples	Actif
Symmons et al. (2004)	Guidé	Identification	Formes simples	Equivalent
Vega-Bermudez, Johnson et Hsiao (1991)	Objet déplacé	Identification	Lettres	Equivalent

Les systèmes haptique et visuel, bien que pouvant accéder à des propriétés communes, ont des caractéristiques qui leur sont propres. Par exemple la couleur n'est accessible que par la vision tandis que la température et le poids ne sont accessibles que par le toucher. On peut alors se demander si un système est plus efficace que l'autre dans le traitement de certaines propriétés.

2.5. Les perceptions haptique et visuelle

Il est commun lorsque l'on compare les perceptions haptique et visuelles de travailler avec un groupe de personnes voyantes que l'on empêche de voir en leur bandant les yeux ou en posant un panneau entre leur yeux et leurs mains (Figure 2). Dans cette thèse, nous parlerons de personnes voyantes travaillant sans voir pour désigner des participants voyants à qui l'on a bandé les yeux ou qui ont travaillé derrière un panneau leur cachant la vue.



Figure 2 : Exemple de panneau utilisé pour cacher la vue des participants. Image extraite de Orlandi (2015)

La perception haptique repose sur un ensemble de mécanismes cognitifs complexes. Les différentes parties de l'objet doivent être explorées par le biais de mouvements d'exploration puis encodées et intégrées en une représentation mentale unifiée.

Les mouvements d'exploration mis en place doivent recueillir une quantité d'information suffisante pour permettre une bonne intégration mentale à l'issue de

l'exploration. Cependant, ces mouvements sont incompatibles les uns avec les autres du point de vue moteur et doivent être effectués successivement (Hatwell, 2003a). Cette incompatibilité rend la perception par le système haptique séquentielle et lente, au contraire de la vision qui permet de percevoir de façon simultanée la forme, la taille ou encore la texture sans mouvements d'exploration spécifiques.

L'accès à une représentation globale de l'objet requiert une intégration des informations cutanées et proprioceptives en lien avec les mouvements d'exploration. Cette intégration impose une lourde charge en mémoire de travail (Hatwell, 2003a).

La mémoire de travail permet de stocker des informations pendant quelques secondes lors de l'acquisition de nouvelles connaissances (Baddeley, 1992). Ce stockage permet de traiter et de recoder l'information en une forme plus compacte (Miller, 1956). Dans la perception haptique, la mémoire de travail permet de stocker les fragments d'information extraits lors de l'exploration afin de pouvoir les intégrer en une représentation unifiée de l'objet à la fin de l'exploration.

Picard et Monnier (2009) ont évalué les capacités en mémoire de travail chez des enfants et des adultes voyants ayant accès à la vision ou travaillant sans voir. Les stimuli utilisés étaient des organisations spatiales de 3 carrés (Figure 3). Dans la condition tactile, l'un des carrés était rugueux et les autres lisses. Dans la condition visuelle l'un des carrés était noir et les autres blancs. Les participants devaient explorer une suite de deux à six stimuli puis immédiatement rappeler la position du carré rugueux ou noir pour chaque stimulus, dans l'ordre. Les performances des participants étaient évaluées selon plusieurs conditions. Dans la condition d'exploration tactile libre les stimuli étaient explorés sans accès à la vision. Dans la condition d'exploration visuelle libre les stimuli étaient explorés librement visuellement. Dans une dernière condition, les participants exploraient visuellement les stimuli avec un champ de vision réduit, rapporté à celui du toucher. Les performances dans la condition d'exploration visuelle

libre étaient meilleures que celles dans la condition d'exploration tactile. Cependant, la différence entre la condition d'exploration tactile et d'exploration visuelle avec un champ de vision limitée n'était pas significative.

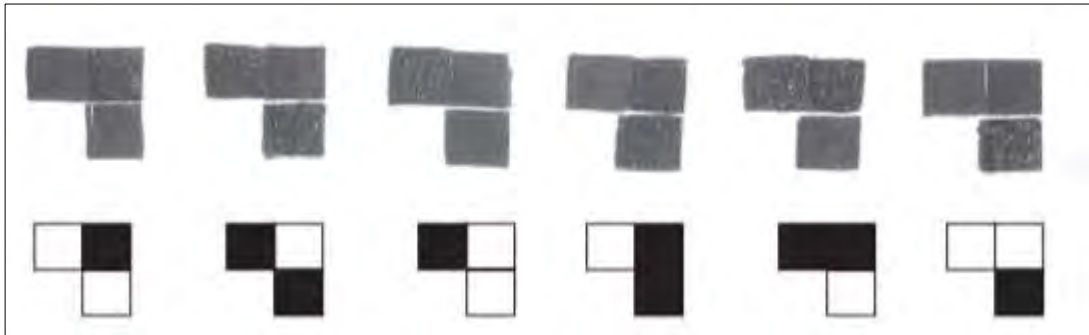


Figure 3 : Stimuli utilisés dans l'étude de Picard et Monnier

D'autres études observent des résultats similaires. [Millar et Al-Attar \(2005\)](#) ont évalué la capacité à localiser des points de repère sur une carte tactile chez des adultes. Les auteures ont observé de meilleures performances des participants dans la condition où ils pouvaient toucher et voir la carte librement par rapport à la condition d'exploration visuelle avec un champ de vision limité et à la condition d'exploration tactile sans accès à la vision.

[Loomis, Klatzky et Lederman \(1991\)](#) ont proposé à des participants d'identifier des dessins en relief par le toucher ou par la vision avec un champ de vision rapporté à celui d'un doigt. Les performances des participants étaient similaires dans la condition tactile ou visuelle avec un champ de vision limité.

Le champ perceptif limité de la perception tactile empêche d'accéder directement à l'information globale. Il impose la nécessité de former une représentation globale à partir de fragments d'informations locaux extraits lors des mouvements d'exploration. Ce processus d'intégration demande des capacités d'attention et de mémoire importantes ([Hochberg, 1986](#); [Loomis et al., 1991](#); [Révész, 1950](#)). Il engendre une charge supplémentaire en mémoire de

travail qui peut entraîner de moins bonnes performances pour l'exploration et le traitement d'information haptique par rapport à des informations visuelles.

Du fait de l'effort d'intégration conséquent pour la construction d'une représentation globale, les stratégies locales sont prédominantes dans la perception haptique (Berger & Hatwell, 1993) et l'accès à la structure globale de l'objet apparaît à un stade plus tardif du développement (Berger & Hatwell, 1996). Dans ce sens, Lakatos et Marks (1999) rapportent que la capacité à distinguer deux objets tridimensionnels est de plus en plus basée sur des caractéristiques locales au fur et à mesure que le temps d'exploration proposé est réduit. À l'inverse, pour la perception visuelle, l'accès à de l'information localisée prend plus de temps, demande plus d'attention et apparaît plus tard dans le développement que l'accès à l'information globale.

Cependant, lorsque les objets sont riches, c'est-à-dire qu'ils fournissent de l'information sur de nombreuses propriétés (poids, température, volume, dureté forme et texture), le système haptique peut être aussi efficace que la vision. C'est le cas pour les objets de la vie quotidienne, pour lesquels l'identification haptique est particulièrement efficace que ce soit chez les adultes ou chez les enfants, non-voyants ou voyants (Bushnell & Baxt, 1999; Morrongiello, Humphrey, Timney, Choi, & Rocca, 1994).

Le système haptique a donc un fonctionnement différent du système visuel. La perception par le système haptique est séquentielle et ne permet pas de traiter directement l'information globale comme la vision. On peut alors se demander s'il existe des spécialisations de ces systèmes en fonction des propriétés traitées.

2.5.1. Le traitement de la forme

Les spécificités du système haptique telles que le caractère séquentiel du mouvement et la taille réduite du champ perceptif ne lui permettent pas d'égaliser la vision pour le traitement de certaines propriétés liées à la forme. La discrimination haptique de la forme est nettement moins performante que la discrimination visuelle (Hatwell, 2003b). Cependant, il y a une similitude des modes de traitement de la forme entre systèmes haptique et visuel. La complexité de la forme est évaluée par le nombre de cotés (Brumaghim & Brown, 1968; Owen & Brown, 1970) et la similarité entre formes est estimée selon des caractéristiques telles que la taille, la complexité et la symétrie de la forme (Garbin & Bernstein, 1984).

Les stimuli présentant une symétrie sont plus facilement traités par le système visuel. Cet effet n'est pas systématique pour la perception haptique des formes (Locher & Wagemans, 1993; Wagemans, 1995). Ballesteros, Manga et Reales (1997) observent un effet facilitateur de la symétrie lors de la perception haptique d'objets tridimensionnels mais cet effet n'est pas observé lors de la perception haptique de formes bidimensionnelles. Ballesteros et al. (1997) montrent que ces différences de traitement entre objets bidimensionnels et tridimensionnels sont liées à la disponibilité d'un cadre de référence. Dans cette étude les participants devaient juger si des petites figures bidimensionnelles étaient symétriques. Les participants qui mettaient en place une exploration bi-manuelle pour explorer la forme étaient plus rapides et faisaient moins d'erreurs que les participants explorant à une main. Les auteurs suggèrent que lors de l'exploration à une main, les informations sensorielles ne peuvent être rapportées qu'à un cadre de référence centré sur le corps (Millar, 1994). Lorsque les participants explorent à deux mains, l'axe médian du corps est disponible comme cadre de référence. En effet, les deux index sont placés d'une part et d'autre de cet axe. La manipulation d'objets tridimensionnel implique l'utilisation des deux mains. Plusieurs cadres de référence sont alors disponibles : l'axe médian du corps, l'axe vertical gravitaire, la position de la main par rapport à la tête et au tronc, etc.

La perception de la longueur est plus précise par la vision que par le système haptique (Gentaz et al., 2010; Hermelin & O'Connor, 1975; Teghtsoonian & Teghtsoonian, 1965; Teghtsoonian & Teghtsoonian, 1970).

La discrimination des courbures par le toucher est meilleure lorsque le stimulus est assez petit pour être exploré sans mouvement (perception cutanée uniquement) (Davidson, 1972; Gordon & Morison, 1982). De plus, la perception des angles est plus précise par le système visuel que par le système haptique (Appelle, 1971; Lakatos & Marks, 1999). La perception de l'orientation s'améliore au cours du développement mais cette perception reste plus précise par le système visuel que par le système haptique (Gentaz, Hatwell, & Streri, 2000). L'effet oblique (le fait que la perception des orientations verticales et horizontales est meilleure que la perception de l'orientation oblique) est systématique pour la perception visuelle (Appelle, 1972). Cet effet peut également être observé dans la perception haptique chez des adultes et enfants voyants travaillant sans voir et des adultes non-voyants (Gentaz & Hatwell, 1995, 1996, 1998, 1999). Cependant, il est dépendant de la position de la personne : si la main et l'avant-bras qui explorent reposent sur une table, cet effet n'est pas observé. Gentaz & Hatwell (1999) expliquent ce résultat par les contraintes gravitaires faibles dans cette condition.

L'une des théories centrales dans la perception visuelle de forme est la théorie perceptive de la Gestalt (von Ehrenfels, 1890). Le principe de proximité de la Gestalt peut être défini de la façon suivante : des points rapprochés tendent à être considérés comme faisant partie du même ensemble. Différentes études ont montré que ce principe est applicable au toucher (Chang, Nesbitt, & Wilkins, 2007; Gallace & Spence, 2011). Cependant, en raison du caractère séquentiel et de la possibilité de modifier le champ perceptif tactile par des mouvements d'exploration, le toucher est moins sensible que la vision au principe de proximité (Hatwell, Orliaguet, & Brouty, 1990).

Finalement, il semble que le système visuel soit plus adapté à la perception de formes que le système haptique. En effet, de nombreuses propriétés géométriques telles que la symétrie, la courbure, l'orientation ou encore la longueur sont moins bien perçues par le toucher.

2.5.2. *Le traitement de la texture*

Pour le traitement de la texture, Heller (1989b) observe que pour discriminer des gradients de rugosité très fins le système haptique est plus performant.

Lederman et Klatzky, (1997) observent que des adultes travaillant sans voir peuvent discriminer un objet plus rapidement s'il diffère par la texture plutôt que par la forme. Cela a également été observé chez les enfants (Berger & Hatwell, 1996; Gliner, Pick, Pick, & Hales, 1969; Siegel & Vance, 1970).

Berger et Hatwell (1993, 1995, 1996) se sont concentrées sur le traitement simultané de diverses propriétés d'objets par le système haptique. En utilisant une tâche de classification haptique, elles ont observé que les enfants et les adultes travaillant sans voir se concentrent principalement sur une seule dimension de l'objet. Les enfants ont tendance à utiliser des procédures exploratoires principalement liées à la reconnaissance de texture. Ils classent alors les objets en fonction de la texture plutôt que la taille. Une récente étude a confirmé ces résultats en montrant que plus la forme d'un objet est complexe, plus les enfants voyants et non-voyants ont tendance à classer les objets par leur texture plutôt que par leur forme (Vinter, Orlandi, & Morgan, 2019).

Le système haptique semble donc plus adapté que la vision pour le traitement de la texture. En effet, pour la perception haptique, les participants se concentrent spontanément sur la texture plutôt que sur la forme.

Selon [Gentaz \(2018, p47\)](#) « Chez l'adulte, chaque sens a un domaine d'excellence dans lequel il est dominant alors qu'il est dominé dans les autres ». La vision serait spécialisée dans le traitement de données spatiales telle que le forme tandis que le système haptique serait spécialisé dans le traitement de propriétés matérielles comme la texture ([Klatzky & Lederman, 2000](#)). Cette adaptation du toucher pour les propriétés matérielles peut être due à la grande densité de récepteurs cutanés mais également à la simplicité des procédures exploratoire permettant d'extraire des informations de type matériel ([Gentaz, 2018](#)). En particulier, pour extraire la texture d'un objet il suffit d'en explorer une petite partie (frottement latéral) tandis que pour connaître sa forme il faut mettre en place une exploration complète (suivi de contour), puis intégrer les informations extraites pour former une représentation unifiée de l'objet ([Lederman, Klatzky, Chataway, & Summers, 1990](#)).

[Gentaz et al.\(2000\)](#) parlent de la perception haptique comme étant « morcelée, plus ou moins cohérente, parfois partielle et toujours très successive » contrairement au système visuel qui permet de percevoir plusieurs propriétés « en une fraction de seconde et sans mouvements exploratoires spécifiques ». Selon [Hatwell \(2003a\)](#) ces spécificités de la perception haptique sont à l'origine de presque toutes les difficultés engendrées par la cécité et peuvent entraîner des différences dans le traitement haptique de l'information par les personnes non-voyantes et voyantes.

En résumé

La perception haptique permet de récolter des informations cutanées (toucher passif) et proprioceptives (toucher actif). La perception repose alors sur différentes procédures exploratoires qui permettent d'extraire différentes propriétés de l'objet (*e.g.* le poids, la texture). Cependant, du fait que le champ perceptif est limité au contact de la peau avec l'objet, la perception haptique est « morcelée, plus ou moins cohérente, parfois partielle et toujours très successive » [Gentaz et al.\(2000\)](#) contrairement au système visuel qui permet de percevoir plusieurs propriétés « en une fraction de seconde et sans mouvements exploratoires spécifiques ». Ces différences dans le traitement de l'information haptique ou visuelle peut entrainer de meilleures performances de l'un ou l'autre des systèmes selon la propriété traitée. La vision serait spécialisée dans le traitement de données spatiales telle que la forme tandis que le système haptique serait spécialisé dans le traitement de propriétés matérielles comme la texture.

3. Le développement de la perception haptique

3.1. Le développement de la perception haptique chez le nourrisson

3.1.1. Le nourrisson voyant

3.1.1.1. La perception haptique chez le nourrisson voyant

Le réflexe de préhension en réponse à une stimulation de la paume de la main est déjà présent in utero ([Erhardt, 1974](#)). La pression exercée sur la paume de la main par un objet ou par le doigt de l'observateur déclenche la fermeture de la main du nourrisson autour du stimulus. Le réflexe de préhension est la forme d'interaction dominante du nourrisson avec son

environnement. Des nourrissons de quelques heures sont capables de détecter des différences dans la forme de deux petits objets (un prisme et un cylindre) aussi bien de la main droite que de la main gauche (Streri, Lhote, & Dutilleul, 2000). Quelques jours après la naissance, Molina et Jouen (1998) observent que les nourrissons modulent la pression sur des objets présentant des textures différentes. Les nouveau-nés de quelques jours sont également capables de détecter une différence de texture entre deux objets (Molina & Jouen, 2003). Les formes curvilignes ou rectilignes, pleines ou présentant un trou sont bien différenciées dès l'âge de 2 mois (Streri, 1987; Streri & Milhet, 1988). À cet âge, le bébé est également capable de distinguer un objet volumétrique d'un objet plat (Streri & Molina, 1993).

Avant l'âge de 4 mois, la majorité des nourrissons saisissent et explorent les objets d'une seule main et utilisent principalement une procédure exploratoire d'enveloppement (Gentaz et al., 2000). La perception de la forme est donc probablement globale ou limitée à la détection d'indices (*e.g.* des courbes, un trou) ce qui ne permet pas aux nourrissons d'avoir une représentation précise de ce qu'ils tiennent dans leur main. La préhension avec les deux mains est généralement possible dès l'âge de 4 mois (Gentaz et al., 2000). Les nourrissons peuvent alors tenir et interagir avec des objets plus volumineux. Ils sont capables de détecter des différences de poids (Streri, 1991). Ils peuvent également se servir du système main-épaule pour faire la différence entre la propriété rigide ou flexible d'un objet (Spelke, 1998).

Des nourrissons de 4 à 6 mois commencent à montrer des procédures exploratoires de type frottement latéral lorsqu'ils sont exposés à des textures différentes (Morange-Majoux, Cougnot, & Bloch, 1997). Dans une étude de Gentaz et Streri (2002) des nourrissons de 5 mois ont montré la capacité de détecter des écarts d'orientation entre différentes tiges tenues successivement à une main. Vers 7 mois, les nourrissons sont également capables de traiter deux caractéristiques simultanées (forme et texture) d'un objet (Catherwood, 1993).

L'étude de la perception tactile sans interaction avec la vision est cependant difficile chez les nourrissons car ils tolèrent difficilement de ne pas voir ce qu'ils manipulent. De ce fait, il y a peu de données concernant l'évolution de l'exploration manuelle non guidée par la vision au cours de cette période.

3.1.1.2. La vision et le toucher chez le nourrisson voyant

Dès les premiers jours de leur vie, les nouveau-nés font le lien entre l'information vue et tenue. Des nouveau-nés de quelques jours sont capables de faire le lien entre la texture d'un objet vu et celle d'un objet tenu (Molina & Jouen, 2001). Ils sont également capables de reconnaître visuellement une texture touchée préalablement et de reconnaître par le toucher une texture vue précédemment (Sann & Streri, 2007).

Pour le traitement de la forme, le transfert semble plus complexe. Les nourrissons peuvent reconnaître visuellement la forme d'un objet présenté simultanément ou successivement lorsque ce dernier a été préalablement exploré par la main droite (ce résultat n'est pas retrouvé avec la main gauche dans l'étude) (Streri & Gentaz, 2004). Cependant, la relation inverse n'a pas été observée. Il semble que les nourrissons ne soient pas capables de reconnaître par le toucher la forme d'un objet préalablement vu (Sann & Streri, 2007). La capacité de transfert entre toucher et vision dépendrait donc de la nature de la propriété à traiter (forme ou texture).

Ces résultats sont également observés chez des nourrissons de 2 mois qui reconnaissent visuellement un objet déjà tenu mais pas l'inverse. A 5 mois les bébés sont pour la première fois capables de reconnaître par le toucher un objet vu précédemment. Cependant, la capacité n'est ensuite provisoirement plus observée (Streri & Pêcheux, 1986) et l'est de nouveau à partir de 6 mois (Rose, Gottfried, & Bridger, 1981). Ces variations pourraient être expliquées par un

développement à deux vitesses du système visuel plutôt rapide et du système haptique plutôt lent (Gentaz, 2018).

La coordination entre la vision et la préhension apparaît vers 4-5mois (Hatwell, 2003a) On observe alors l'émergence de mouvements préhensiles coordonnés avec des perceptions visuelles. Le bébé va ramasser les objets à sa portée pour les déplacer, les transférer d'une main à l'autre ou encore les porter à ses yeux ou sa bouche. La main acquiert alors une nouvelle fonction de transport qui va s'exercer au détriment de la fonction perceptive. En effet, lorsque la vision permet d'accéder à des informations sur les propriétés géométriques (taille, forme, etc.), le système haptique n'est plus mobilisé (Abravanel, 1972, 1973). La main assure alors simplement les fonctions de saisie et de transport de l'objet dans le champ visuel.

Les nourrissons non-voyants n'ont pas accès à la vision pour repérer et attraper des objets. Ce manque d'information visuelle peut avoir un effet sur le développement de la perception haptique.

3.1.2. *Le nourrisson non voyant*

3.1.2.1. La perception haptique chez le nourrisson non-voyant

Les recherches chez le nourrisson non-voyant montrent des mains peu toniques avec une activité d'exploration faible bien que le réflexe d'agrippement soit également présent chez ces derniers (Fraiberg, 1977; Fraiberg, 1968; Fraiberg, Siegel, & Gibson, 1966). Les mains ont tendance à être maintenues rétractées au niveau des épaules avec les doigts remuant dans le vide (Hatwell, 2003a). Des stratégies d'exploration spécifiques au traitement de la texture commencent à être observées à la fin du second semestre. Schellingerhout, Smitsman et Van Galen (1997) observent la mise en place de procédures d'exploration telles que le frottement latéral pour discriminer différentes textures à partir de l'âge de huit mois. De plus, Landau (1991) observe l'utilisation de procédures d'exploration différentes pour le traitement des

formes et des textures chez des nourrissons non-voyants de 18 mois. Les bébés utilisent le frottement latéral lorsqu'ils sont stimulés avec des surfaces texturées et produisent des mouvements de rotation du doigt qui s'apparentent à du suivi de contour lors de la perception de forme. La procédure de suivi de contour est donc maîtrisée plus tard chez les nourrissons non-voyants (18 mois) que chez les nourrissons voyants (dès 4 à 6 mois) (Morange-Majoux et al., 1997). Lors de l'exploration de petits objets, une exploration digitale et la capacité à faire tourner l'objet dans les mains sont observées à partir de 13 mois (Roelof Schellingerhout, 1998). Cependant, l'exploration orale est observée jusqu'à 22 mois tandis que l'activité digitale est déjà forte chez les nourrissons voyants de 5 mois (Ruff et al., 1992).

Il semble que le développement des capacités haptiques chez les nourrissons non-voyants soit plus tardif que chez les nourrissons voyants. Cette tendance à l'inactivité des mains et ce retard de développement peuvent s'expliquer par les caractéristiques du toucher. Le toucher est un sens de contact, il a un champ perceptif très limité qui a une très faible « valeur d'appel et d'incitation à percevoir les objets qui sont hors champ » (Hatwell, 2003a). Les nourrissons voyants peuvent repérer un objet par la vue et produire des mouvements pour aller le saisir et l'explorer haptiquement (coordination vision préhension). Les nourrissons non-voyants sont, eux, limités à une coordination audition préhension pour repérer des objets hors de leur champ perceptif tactile.

3.1.3. L'audition et le toucher chez les nourrissons voyants et non-voyants

Les capacités auditives des nourrissons non-voyants et voyants semblent se développer de la même façon (Hatwell, 2003a). Dès le premier mois les nourrissons répondent à la voix de leur mère par un sourire, un mouvement de rotation de la tête, un mouvement du bras ou une immobilisation du corps. A partir de 8 mois la voix d'un étranger provoque une immobilisation ou un retrait. Bower (1974) observe que la saisie manuelle d'objets sonores chez des nourrissons voyants placés dans l'obscurité est maîtrisée à partir de 10-11 mois. La coordination

audio-préhension est donc maîtrisée plus tard que la coordination vision-préhension (maîtrisée dès 7 mois : [Stack, Muir, Sherriff et Roman \(1989\)](#))

Bien que les capacités auditives des nourrissons non-voyants semblent se développer de façon similaire à celles des voyants, l'acquisition de la coordination audition-préhension est plus tardive. [Tröster et Brambring \(1993\)](#) observent que tous les nourrissons voyants de leur étude parviennent à atteindre un objet sonore à partir de 9 mois tandis qu'aucun des nourrissons non-voyants ne réussit la tâche. A 12 mois, seuls 2 des nourrissons non-voyants sur 16 arrivent à atteindre l'objet.

Selon [Hatwell \(2003a\)](#) cette différence pourrait s'expliquer par la coordination intermodale vision-audition-toucher qui se développe très tôt chez les nourrissons voyants et qui permettrait de rendre plus performante la coordination audition-toucher. En effet, les nourrissons voyants peuvent contrôler visuellement leurs erreurs et réajuster leur mouvement en fonction. Les nourrissons non-voyants n'ont pas de retour visuel de leurs actions et ne peuvent pas contrôler visuellement le mouvement de leur main. L'échec à atteindre un objet ne leur apporte pas d'information supplémentaire pour corriger leurs mouvements. De plus, l'audition ne permet pas d'avoir une idée précise de la forme ou de la taille des objets. De ce fait, les nourrissons non-voyants doivent souvent replacer leur main après un premier contact pour se saisir de l'objet ([Hatwell, 2003a](#)).

Il semble donc que la privation de la vision entraîne un retard de développement de la perception haptique chez le nourrisson non-voyant. Les nourrissons non-voyants ont tendance à être très calmes et restent longtemps immobiles. Ce calme n'est cependant pas forcément bénéfique pour le bébé car il incite les parents à le laisser longtemps seul sans stimulation ([Hatwell, 2003a](#)) La difficulté à percevoir des objets hors du champ perceptif du toucher

entraîne une réduction du nombre de stimulations chez le nourrisson non-voyant. Ce manque de stimulation peut renforcer le retard de développement.

3.2. Le développement de la perception haptique chez l'enfant

3.2.1. Les capacités de perception haptique chez les enfants voyants et non-voyants

Des différences dans le traitement de l'information haptique sont observées chez les enfants voyants et non-voyants.

Les formes hiérarchisées (*e.g.* des formes globales composées de plus petites formes) ont été largement utilisées pour étudier la perception visuelle locale vs. globale chez les adultes (Davidoff, Fonteneau, & Fagot, 2008; Lamb & Yund, 2000; Love, Rouder, & Wisniewski, 1999) et les enfants (Burack, Enns, Iarocci, & Randolph, 2000; Kimchi, Hadad, Behrmann, & Palmer, 2005; Mondloch, Geldart, Maurer, & de Schonen, 2003; Vinter, Puspitawati, & Witt, 2010). Cependant, peu d'études ont repris ce type de patterns dans la perception haptique.

Puspitawati, Jebrane et Vinter (2014) ont demandé à des enfants et jeune adultes de 6 à 18 ans de toucher puis dessiner des formes hiérarchisées (Figure 4). L'étude incluait un groupe de participants voyants travaillant sans voir et un groupe de participants non-voyants de naissance ou précoces (ayant perdu la vue avant 12 mois). Les deux groupes d'enfants plus jeunes (6 à 10 ans) produisent plus de dessins de type local (Figure 4) que leurs aînés. De plus, la dominance des réponses de type local persiste plus longtemps chez les enfants non-voyants. Ce type de dessins n'étaient plus observés chez les enfants voyants à partir de 7-8 ans alors qu'ils étaient toujours observés chez les enfants non-voyants de 11-12 ans. Il semble donc que la capacité d'intégration des informations haptiques se développe tardivement chez les enfants voyants et que cette capacité soit encore en développement chez les enfant non-voyants.

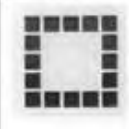




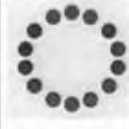

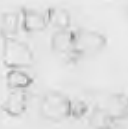

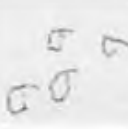
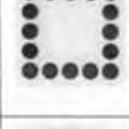

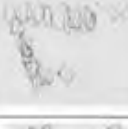



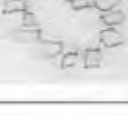
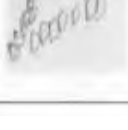


Image	Intégré	Partiellement intégré	Global	Local
				
				
				
				

Figure 4 : Exemple de dessins produits dans l'étude de Puspitawati et al. (2014)

Malgré cette différence dans le traitement de l'information, il semble que les écarts entre voyants et non-voyants s'atténuent chez les enfants. Selon les tâches proposées, plusieurs études observent des performances similaires entre les enfants voyants et non-voyants. En particulier pour la reconnaissance de formes géométriques simples abstraites (enfants de 8 à 16 ans : [Hatwell \(1959\)](#), enfants de 7 à 17 ans : [Pick et Pick \(1966\)](#), enfants de 6 à 21 ans : [Worchel, \(1951\)](#)) et pour la comparaison de longueur ([Jones & Vierck Jr, 1973](#)).

[Ballesteros et al. \(2005\)](#) ont développé une batterie de tests haptiques ([Figure 5](#)). Les différentes tâches ont été réalisées par des enfants de 3 à 16 ans. L'étude incluait un groupe d'enfants voyants et un groupe d'enfants avec déficiences visuelles (malvoyants ou non-voyants) qui lisent en braille et sans troubles associés. Les performances des enfants étaient similaires pour les tâches impliquant la texture ou des objets tridimensionnels : discrimination de texture, détection de symétrie, reconnaissance d'objets, rappel de suite de mouvements, rappel de suite d'objets. Cependant, les enfants non-voyants avaient de meilleures performances

pour le traitement simultané de différentes caractéristiques de l'objet (forme, taille ou texture). Dans toutes les autres tâches impliquant du matériel bidimensionnel, les performances des enfants avec une déficience visuelle étaient meilleures que celles des voyants : reconnaissance d'une figure en contours en relief dont une partie est cachée par une autre figure, détection de l'orientation spatiale d'une forme en contours en relief, détection de points en relief, capacité à traiter du matériel en relief de type carte et diagramme, capacité à détecter la symétrie sur des forme en contours en relief ou encore rappel de série de points en relief (type domino).

Il semble donc que les enfants non-voyants aient de meilleures capacités pour le traitement de matériel bidimensionnel en relief. Ce résultat peut s'expliquer par une plus grande familiarité des enfants avec une déficience visuelle pour ce type de stimuli qui n'est que rarement rencontré par les enfants voyants. En effet, les enfants avec une déficience visuelle sont confrontés à ce type de matériel de façon régulière lors de leur scolarité.

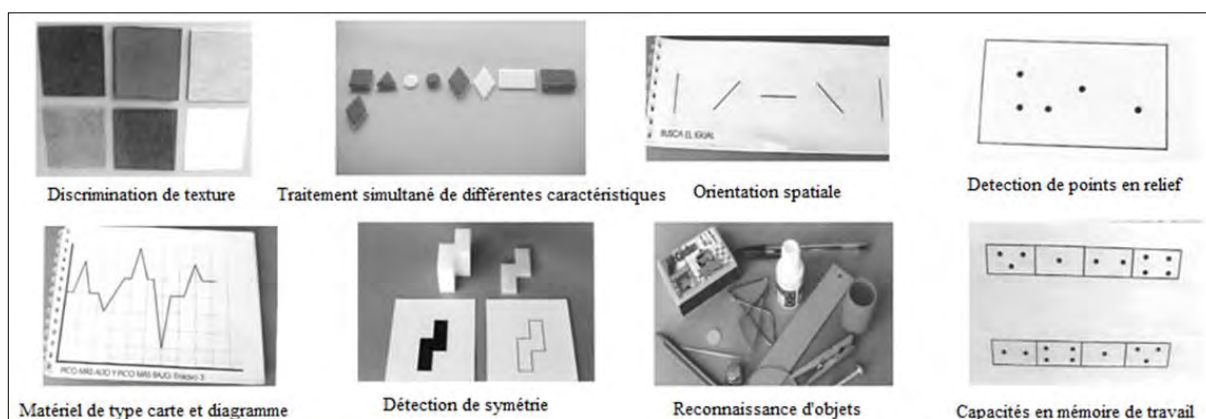


Figure 5 : Exemple de tests proposés par Ballesteros et al. (2005)

Plus récemment, [Mazella et al. \(2016\)](#) ont proposé une autre batterie de tests haptiques basés uniquement sur du contenu bidimensionnel à des enfants et de jeunes adultes de 5 à 25 ans ([Figure 6](#)). L'étude incluait des participants voyants et des participants malvoyants ou non-voyants (braille ou non et pouvant avoir des troubles associés). Certains tests ont été

directement repris de [Ballesteros et al. \(2005\)](#) : suivi de points en relief, rappel de série de points en relief. D'autres sont des adaptations : le test de suivi de ligne est une adaptation du test sur le matériel de type graphes et diagramme proposé par [Ballesteros et al. \(2005\)](#). Les autres tests proposés sont : une tâche de rappel d'une suite de formes, une tâche de localisation spatiale, une tâche d'orientation spatiale, une tâche de discrimination de texture, une tâche de discrimination de forme, une tâche de discrimination de taille, une tâche d'identification d'images tactiles et une tâche de complétion d'images tactiles.

Dans cette étude, seul un effet principal de l'âge est observé. Les analyses ne montrent pas d'effet d'interaction entre l'âge et le statut visuel ni d'effet principal du statut visuel. L'effet de la familiarité avec du contenu bidimensionnel n'est donc pas répliqué dans cette étude. [Mazella et al. \(2016\)](#) ne proposent pas d'expliquer ces résultats divergents par rapport à l'étude de [Ballesteros et al. \(2005\)](#).

Pour comprendre cette divergence nous avons comparé les participants des deux études. L'étude de [Ballesteros et al. \(2005\)](#) inclut uniquement des enfants qui lisent en braille et sans troubles associés pour le groupe d'enfants non-voyants. Le groupe de participants non-voyants de l'étude de [Mazella et al. \(2016\)](#) inclut un public plus large comprenant des participants pouvant ne pas lire en braille et avoir des troubles associés. Cependant, aucun effet significatif de la connaissance du braille ou du fait d'avoir un trouble associé n'a été observé dans leur étude. Dans l'étude de [Mazella et al. \(2016\)](#) les enfants étaient uniquement appariés par âge. Dans l'étude de [Ballesteros et al. \(2005\)](#), les enfants voyants ont été recrutés dans la même école que les enfants non-voyants en inclusion scolaire. Pour les enfants n'étant pas en inclusion scolaire, les enfants voyants ont été recrutés dans une école de la même région et de la même classe sociale. De plus, l'étude de [Mazella et al. \(2016\)](#) a été réalisée auprès d'enfants français fréquentant des écoles et institutions françaises tandis que les enfants ayant participé à l'étude de [Ballesteros et al. \(2005\)](#) sont espagnols et fréquentent des écoles et des institutions

espagnoles. Les conditions dans lesquelles se sont déroulées les passations ont également pu influencer les résultats. Cependant, nous ne disposons pas d'assez d'informations pour conclure quant à ces résultats divergents.

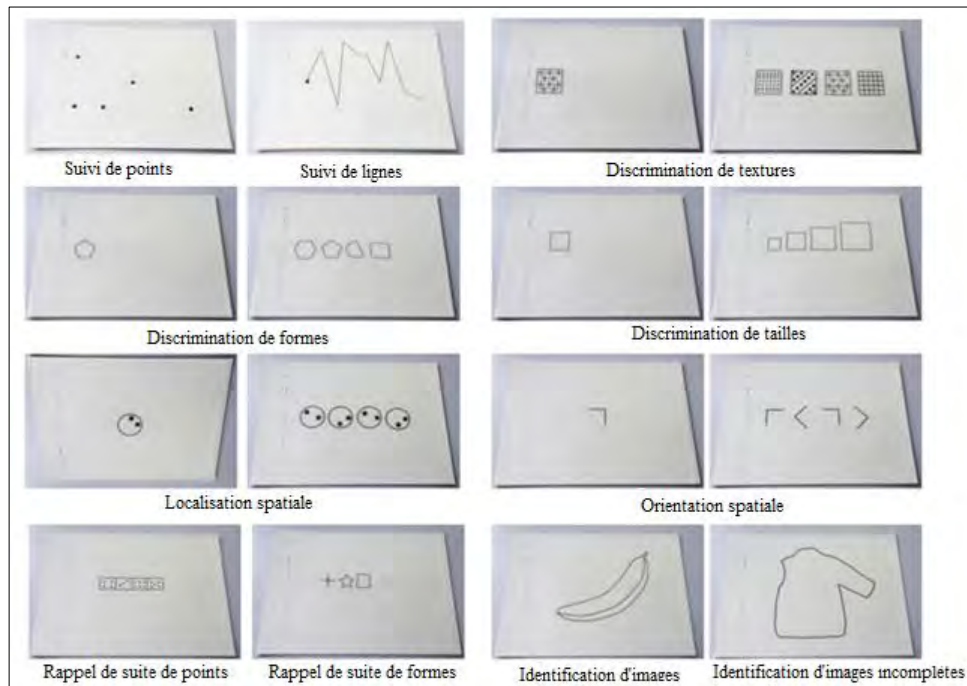


Figure 6 : Exemples de tests proposés par Mazella et al. (2016)

3.2.2. *Le développement de la perception haptique chez les enfants*

Dans les deux études (Ballesteros et al., 2005; Mazella et al., 2016), un effet de l'âge a été observé pour toutes les tâches proposées (à l'exception de la tâche de discrimination d'objets incomplets de Ballesteros et al. (2005))

Mazella, Albaret, & Picard (2018) ont calculé un score moyen basé sur les différents test proposés dans l'étude de Mazella et al. (2016). Les scores des plus jeunes enfants sont très bas (12% de réussite) tandis que ceux des adultes sont élevés (90% de réussite). À l'âge de 12 ans les enfants atteignent un seuil de 50% de réussite. À 16 ans, les enfants n'ont toujours pas atteint les performances des adultes avec un taux de réussite de 75%.

Selon Mazella et al. (2018), le processus de développement des capacités haptiques dépend tout particulièrement de la capacité à mettre en place des mouvements d'exploration adaptés et des capacités en mémoire de travail pour l'intégration de l'information.

3.2.2.1. *La mise en place de mouvements d'exploration*

Vinter, Fernandes, Orlandi, & Morgan (2012) ont étudié le lien entre les procédures d'explorations utilisées (Lederman et al. 1990) et les dessins produits par des enfants de 7 à 11 ans lorsqu'on leur demande de dessiner les formes perçues. L'étude incluait trois groupes d'enfants : des enfants non-voyants précoces (ayant perdu la vue avant l'âge de 3 ans), des enfants malvoyants et des enfants voyants. Dans cette étude, la production de mouvements d'exploration était positivement corrélée à la production de dessins corrects. Un effet de l'âge était observé quel que soit le statut visuel sur le nombre de procédures d'exploration utilisées avec les enfants plus âgés produisant plus de procédures d'exploration que les plus jeunes. De plus, les enfants avec déficiences visuelles (non-voyants précoces et malvoyants) ont employé plus de procédures exploratoires que les enfants voyants du même âge.

Gori et al. (2012) ont observé les capacités de perception de courbures par le toucher chez des enfants (de 6 à 14 ans) et des adultes voyants travaillant sans voir. Pour cette tâche, les enfants atteignaient les capacités des adultes vers 14 ans. De plus, contrairement aux adultes, la précision chez les enfants était toujours plus faible pendant l'exploration active que pendant l'exploration passive où la main était déplacée automatiquement par un robot. Selon Gori et al. (2012), la mise en place volontaire de mouvements d'exploration constitue une forme de bruit pour le système haptique en développement qui ne peut être compensé avant l'adolescence.

Klatzky, Lederman et Mankinen (2005) ont demandé à des enfants voyants de 4 ans d'évaluer la pertinence d'un outil pour effectuer une tâche (*e.g.* une cuillère pour transporter un morceau de bonbon). Les enfants pouvaient explorer les objets visuellement ou les manipuler

(exploration haptique). Dans cette étude, les enfants avaient tendance à manipuler les objets lorsque la propriété importante de l'objet était la rigidité et à les regarder lorsque la forme était pertinente. De plus, lorsque les enfants ont choisi de manipuler l'objet, ils ont testé la rigidité des objets en utilisant la même procédure exploratoire que les adultes (*e.g.* pression).

[Scofield, Hernandez-Reif et Keith \(2009\)](#) ont demandé à des enfants voyants de 2 à 5 ans de regarder deux objets et d'indiquer celui qui correspond à l'objet qu'ils ont dans les mains sans pouvoir le voir. Trois types de mouvements d'exploration sont alors observés « touching » (utilisation des deux mains pour explorer l'objet), « enclosing » (utilisation d'une ou deux mains pour entourer l'objet) et « exploring » (manipulation active de l'objet). Le nombre de mouvements d'exploration augmente avec l'âge et est corrélé avec l'identification correcte de l'objet.

A partir de 5 ans les enfants voyants sont capables de mettre en place différentes stratégies d'exploration ([Kalagher & Jones, 2011a](#)). Le « sequential finger movements » (rotation de l'objet du bout des doigts), le « fingers palpating » (les doigts palpent ou pincent l'objet), le « static fingers » (doigts placés sur l'objet sans les bouger), le « hand grasping » (saisie de l'objet avec la main) et le « hand press » (appui sur l'objet entre les deux mains avec les doigts tendus). Cependant, la plupart du temps les enfants ont très peu exploré les objets. Les auteures expliquent ces résultats par un manque de guidage et de but dans la tâche. Elles mettent en lien leur résultats avec l'étude de [Schwarzer, Küfer, & Wilkening \(1999\)](#). Dans cette étude, les enfants ont mis en place des mouvements d'exploration de façon plus systématique (dans 60% des essais). Ces enfants avaient pour consigne de choisir des objets selon une caractéristique spécifique. Ce guidage a pu les inciter à mettre en place différents mouvements.

Dans une seconde étude, [Kalagher & Jones \(2011b\)](#) ont demandé à des enfants de 3 à 5 ans travaillant sans voir d'apparier des objets différents en fonction de leur forme, leur texture,

leur rigidité ou leur poids. Les chercheuses précisait dans la consigne selon quelle propriété l'appariement devait être effectué. Dans cette situation, les enfants de tous les âges ont montré des mouvements d'explorations similaires à ceux des adultes. Les enfants ont produit le mouvement de pression lorsque l'appariement devait être fait sur la rigidité, le suivi de contour pour la forme, le mouvement latéral pour la texture et le soupesage pour le poids. Les auteures ont observé que les enfants étaient capables de mettre en place ces procédures d'exploration dès 3 ans et savent déjà quelle procédure exploratoire utiliser pour accéder à la propriété de l'objet voulue.

Cependant, sans guidage, même les enfants plus âgés ne semblent pas adapter leur mouvements d'exploration. [Cirillo, Wapner et Rand \(1967\)](#) présentent à des enfants voyants de 8 à 11 ans et à des adultes voyants deux tiges attachées entre elles pour former un certain angle. Les chercheurs demandent successivement aux enfants d'indiquer la tige la plus longue ou d'indiquer le type d'angle (aigu ou obtus). Les enfants montrent les mêmes mouvements d'exploration quelle que soit la consigne tandis que les adultes montrent des stratégies différentes lorsqu'ils doivent extraire la longueur ou l'angle.

Il semble donc que les difficultés des enfants résident dans le manque de guidage lors de l'exploration. Dès 3 ans, les enfants sont capables de mettre en place les bons mouvements d'exploration lorsqu'ils ne se concentrent que sur une dimension de l'objet mais auraient plus de difficultés à mettre en place d'eux même une exploration organisée selon plusieurs dimensions de l'objet.

3.2.2.2. Les capacités en mémoire de travail

La mémoire de travail permet de stocker des informations pendant quelques secondes lors de l'acquisition de nouvelles connaissances ([Baddeley, 1986](#)). Ce stockage permet de traiter

et de recoder l'information en une forme plus compacte (Miller, 1956). La durée de ce stockage varie en fonction de la modalité et du type de stimuli (Millar, 1999). Dans la perception haptique, la mémoire de travail permet de stocker les fragments d'information extraits lors de l'exploration afin de pouvoir les intégrer en une représentation unifiée de l'objet à la fin de l'exploration.

Dans leur batterie de tests présentée précédemment, Ballesteros et al. (2005) ont proposé trois tâches évaluant les capacités en mémoire de travail d'enfants voyants et non-voyants de 3 à 16 ans. L'étude incluait un groupe d'enfants voyants et un groupe d'enfants avec déficiences visuelles (malvoyants ou non-voyants) qui lisent en braille et sans troubles associés. Durant ces tâches, les enfants devaient rappeler des séries de stimuli différents : des points en relief pour le premier test, des objets familiers pour le deuxième et mouvements pour le troisième. Lors de ces tests, le nombre de stimuli pouvant être rappelés a augmenté significativement avec l'âge que ce soit pour les enfants voyants ou non-voyants.

Mazella et al. (2016) ont proposé deux tâches pour évaluer les capacités en mémoire de travail chez des enfants et des jeunes adultes de 5 à 25 ans. L'étude incluait des participants voyants et des participants avec déficiences visuelles malvoyants et non-voyants (brailliste ou non et pouvant avoir des troubles associés). Le premier test est tiré de Ballesteros et al. (2005), avec l'utilisation de dominos en relief. Pour le second test, les stimuli étaient des formes géométriques simples (carré, rectangle, triangle, étoile, croix et cercle). Lors de ces tests, le nombre de stimuli pouvant être rappelés a augmenté significativement avec l'âge que ce soit pour les enfants voyants ou non-voyants.

Picard et Monnier (2009) ont également étudié les capacités en mémoire de travail chez des enfants et adultes pour des stimuli tactiles explorés par le toucher ou la vision uniquement. Ces stimuli, décrits précédemment (cf. Figure 3), sont des organisations spatiales de trois carrés dont l'un est rugueux et les autres lisses. Deux tâches ont été proposées. Dans la première les

participants devaient explorer une suite de six stimuli puis immédiatement rappeler la position du carré rugueux pour chaque stimulus, dans l'ordre. Le nombre d'essais nécessaires avant que le rappel soit correct était comptabilisé. Pour cette tâche, le nombre moyen d'essais était plus important chez les enfants (7-8 ans et 10-11 ans) que chez les adultes. Dans la seconde tâche, les participants devaient explorer une suite de deux à six stimuli puis immédiatement rappeler la position du carré rugueux pour chaque stimulus dans l'ordre. Pour cette tâche, la taille des séries pouvant être rappelées a augmenté entre le groupe d'enfant de 7 à 8 ans et le groupe d'enfants de 10 à 11 ans ainsi qu'entre les groupes d'enfants et le groupe d'adultes.

La capacité de la mémoire de travail pour le traitement d'informations tactiles est donc en constant développement de l'enfance à l'âge adulte. Ces capacités plus limitées chez les jeunes enfants peuvent avoir un effet sur leurs performances dans le traitement d'informations tactile.

Les capacités à mettre en place des mouvements d'exploration adaptés et à intégrer ces informations en une représentation globale (mémoire de travail) sont essentielles pour la perception haptique et vont influencer la façon dont les enfants traitent les informations tactiles et identifient les objets.

3.2.3. L'identification par le toucher

Les jeunes enfants sont capables de reconnaître des objets par le toucher lorsque ces derniers sont familiers (Bigelow, 1981; Bushnell & Baxt, 1999; Morrongiello et al., 1994).

Bigelow (1981), ont demandé à des enfants de 2 et 5 ans d'identifier des objets familiers par la vision ou le toucher. Tous les objets regardés ont été reconnus par les enfants des deux groupes d'âge. Pour l'identification haptique des objets, les enfants plus âgés ont de meilleures

performances que les plus jeunes et ont été capables de reconnaître la plupart des objets. Selon l'auteur, la familiarité des enfants avec les objets pourrait leur permettre de concentrer leur exploration tactile sur les parties critiques de l'objet. Il leur suffirait de repérer les différentes caractéristiques permettant de reconnaître l'objet sans avoir besoin de tout explorer ni d'intégrer les informations pour créer une représentation globale (*e.g.* l'objet a une anse : c'est une tasse).

Selon [Overvliet & Krampe \(2018\)](#) les jeunes enfants avec une capacité de mémoire de travail réduite auraient plus souvent recours à des stratégies de type test d'hypothèse ou « devinette ». Les enfants se concentrent sur une caractéristique de l'objet pour essayer de « deviner » le nom de l'objet (*e.g.* je sens une anse, ça doit être une tasse). Ce type de stratégie s'accompagne généralement de temps d'exploration plus court.

Ce type de stratégie a été observé par [Alexander, Johnson et Schreiber \(2002\)](#). Dans cette étude, les enfants devaient reconnaître un dinosaure miniature puis le retrouver parmi deux autres. Certains enfants connaissaient les dinosaures et d'autres étaient novices. Il semble que le fait de bien connaître les dinosaures ait été associé à l'utilisation de stratégie de test d'hypothèse. Cette stratégie a conduit les enfants à faire un plus grand nombre d'erreurs. En effet, les enfants se focalisaient sur une caractéristique locale du dinosaure (*e.g.* la crête) et arrêtaient prématurément l'exploration dès qu'ils trouvaient cette caractéristique sur une des miniatures. Cependant, d'autres espèces pouvaient également avoir cette caractéristique. Au niveau de l'âge, les enfants les plus âgés exploraient les miniatures de manière plus exhaustive, réussissaient à extraire plus de caractéristiques discriminantes et faisaient moins d'erreurs. Les enfants plus jeunes ont eu plus de difficultés avec la tâche. Selon [Alexander et al. \(2002\)](#), les enfants plus âgés auraient bénéficié de capacités de mémoire plus développées. Le processus d'intégration d'une représentation globale de l'objet aurait submergé la mémoire de travail pour le groupe plus jeune, entraînant la mise en place de la stratégie locale de test d'hypothèse basée sur une seule des caractéristiques ([Bjorklund, 1997](#)).

La capacité à reconnaître des images tactiles bidimensionnelles évolue également avec l'âge. [Mazella et al. \(2016\)](#) ont proposé une tâche d'identification d'image en contour relief dans leur batterie de tests. L'étude incluait des participants de 5 à 25 ans avec un groupe de participants voyants et un groupe de participants avec déficiences visuelles malvoyants ou non-voyants (brailliste ou non et pouvant avoir des troubles associés) L'étude inclut des participants voyants et non-voyants de 5 à 25 ans. Les performances des participants sont similaires entre voyants et non-voyants et s'améliorent avec l'âge (Score de 0 à 12 : 5-6 ans = 3.58, 7-8 ans = 5.37, 9-10 ans = 5.83, 11-14 ans = 6.23, 15-18 ans = 7.79, 18-25 ans = 9.56).

Des résultats similaires sont observés dans l'étude de [Overvliet et Krampe \(2018\)](#) avec des enfants voyants de 4 à 13 ans et jeunes adultes voyants 18 à 28 ans montrant une amélioration des performances d'identification d'image tactile avec l'âge.

[Picard, Albaret et Mazella \(2013\)](#) ont analysé l'effet de l'âge et des capacités en mémoire de travail sur l'identification d'images tactiles avec contours chez des enfants et jeunes adultes voyants travaillant sans voir de 5 à 25 ans. Dans cette étude, le pourcentage d'images reconnues a augmenté significativement avec l'âge (5-7ans = 33%, 13-17ans = 69%, 20-25 ans = 87%). Les capacités en mémoire en mémoire de travail ont été évaluées par la capacité de rappel de suites de points en relief type domino. Les auteurs ont observé que les capacités en mémoire de travail étaient corrélées avec des capacités de reconnaissance des images tactiles.

La capacité à mettre en place des mouvements d'exploration adaptés n'est pas encore acquise chez des enfants de 11 ans. Cependant, lorsque le traitement ne porte que sur une seule propriété de l'objet et que l'on explicite aux enfants quelle propriété de l'objet ils doivent traiter ces derniers mettent en place des mouvements d'exploration adaptés dès 3 ans. La mémoire de travail est encore en développement chez l'enfant. Pour compenser leurs capacités limitées ces

derniers mettent en place des stratégies de « devinette » pour identifier les objets. Il se basent sur des caractéristiques locales de l'objet pour l'identifier sans avoir à passer par la création d'une représentation globale et unifiée de l'objet.

Les différences de performances entre enfant voyants et non-voyants semblent s'atténuer voire disparaître selon les tâches proposées. Cependant, des différences dans le traitement de l'information haptique sont observées chez les enfants voyants et non-voyants. Ces différences peuvent être dues à l'accès à la vision. Dans leur quotidien, les enfants voyants bénéficient de la vision pour venir soutenir l'intégration des informations haptiques. Pour les enfants non-voyants, selon l'âge d'apparition de la cécité, les enfants peuvent avoir un accès ou non à la vision pour soutenir l'apprentissage et le développement de mouvements exploratoires.

3.2.4. Les perceptions haptique et visuelle chez l'enfant voyant

On parle de reconnaissance intra-modale lorsqu'un objet cible perçu par une modalité perceptive doit être reconnu par la même modalité perceptive (*e.g.* vision-vision ou haptique-haptique) et de reconnaissance inter-modale lorsque l'objet cible perçu par une modalité perceptive doit être ensuite reconnu par une autre (*e.g.* vision-haptique ou haptique-vision). Plusieurs études convergentes ont observé de moins bonnes performances des enfants dans toutes les tâches impliquant le système haptique qu'elles soient intra ou intermodale par rapport à la condition intra-modale vision-vision (Abravanel, 1972; Bryant & Raz, 1975; Jones & Robinson, 1973; Milner, 1968; Rose, Blank, & Bridger, 1972; Stoltz-Loike & Bornstein, 1987).

Cependant, ce résultat n'a pas été observé par Bushnell et Baxt (1999). Dans leur étude, les chercheuses ont proposé à des enfants de 5 ans une tâche de discrimination d'objets familiers ou inconnus en conditions intra-modale et inter-modale impliquant le système visuel et le

système haptique. Contrairement aux études précédentes, les chercheuses ont observé de meilleures performances des enfants en condition intra-modale quelle que soit la modalité perceptive employée (vision ou toucher). Les auteures mettent en avant le fait que les objets proposés dans leur étude avaient de nombreuses propriétés tandis que les objets n'étaient différents que par la forme dans les études précédentes. Les chercheuses suggèrent que les représentations formées suite à l'exploration haptique diffèrent de celles formées par l'exploration visuelle. Lors de l'exploration haptique l'attention serait concentrée sur les propriétés matérielles (par exemple, la texture, le poids, la rigidité) tandis que les informations visuelles extraites seraient majoritairement liées à la forme.

La question de la dominance de la vision sur le sens haptique a été abordée chez les enfants dans le cadre de la perception visuelle ambiguë comme la perception des lettres en miroir. [Itakura et Imamizu \(1994\)](#) ont demandé à des enfants de 3 à 6 ans de reconnaître une lettre présentée préalablement dans les modalités visuelle ou haptique. Pour les enfants de 3 à 5 ans le toucher permettait une meilleure discrimination des formes. Après 6 ans la vision devenait dominante et permettait d'observer de meilleures performances.

[Orliaguet \(1983\)](#) demande à des enfants de travailler avec le bras d'un mannequin (condition visuelle) ou leur propre bras (condition proprioceptive). Dans la condition visuelle les enfants voient le bras d'un mannequin et doivent le replacer dans la même position tandis que dans la condition haptique c'est leur propre bras qu'ils doivent replacer dans la même position que celle donnée précédemment par l'expérimentateur. Les erreurs sont plus nombreuses dans la condition visuelle que haptique jusqu'à 5 ans et la relation s'inverse à partir de 8 ans. Lorsque l'auteur crée une condition de perception conflictuelle entre vision et proprioception, les résultats montrent une dominance de la proprioception jusqu'à 5 ans, un compromis à 7 ans et une dominance visuelle à partir de 9 ans.

La vision n'est donc pas dominante chez les jeunes enfants mais semble prendre de l'importance avec l'âge.

Dès la naissance, les nourrissons perçoivent le monde différemment s'ils sont voyants ou non. Les nourrissons voyants développent des capacités de coordination vision-préhension qui leur permettent d'interagir et d'explorer facilement leur environnement. Les nourrissons non-voyants utilisent principalement le toucher et l'audition pour atteindre des objets présents dans leur environnement. Cependant, leurs capacités de coordination audition-préhension se développent de façon tardive. La difficulté à percevoir des objets hors du champ perceptif du toucher entraîne une réduction du nombre de stimulations chez les nourrissons non-voyants. Ces bébés ont alors tendance à être très calmes et restent longtemps immobiles. Ce calme n'est cependant pas bénéfique pour le bébé car il incite les parents à le laisser longtemps seul sans stimulation (Hatwell, 2003a). On peut alors se demander, quel peut être l'effet de la perte de la vision chez un adulte non-voyant par rapport à un voyant.

3.3. Les capacités de perception haptique chez les personnes voyantes et non-voyantes

Selon les tâches proposées, des différences sont observées entre des personnes voyantes et non-voyantes. Il semble donc que la perception haptique diffère lorsque les participants ont eu ou non accès à la vision.

Heller et Clyburn (1993) ont proposé à des participants non-voyants ayant vu précédemment, non-voyants de naissance et voyants travaillant sans voir d'identifier des formes géométriques composées de plus petites formes géométriques en points en relief (Figure 7). Pour la Figure 4 a, un traitement global de l'information engendrait la réponse « un rond », un traitement local de l'information engendrait la réponse « des carrés » et un traitement intégré de l'information engendrait la réponse « un rond formé de carrés ».

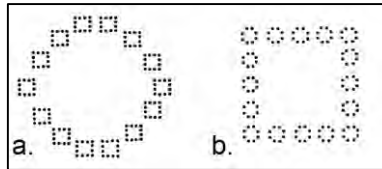


Figure 7 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Heller et Clyburn, (1993)

Les auteurs ont observé que les participants non-voyants ayant vu précédemment traitent principalement l'information de façon locale. Au contraire, les participants non-voyants de naissance traitent plus l'information de façon globale. Enfin, participants voyants traitent principalement l'information de façon intégrée. Il semble donc que la perte de la vision plus ou moins tardive ait un effet sur le traitement de l'information tactile. De plus, les adultes non-voyants semblent avoir moins de capacités d'intégration de l'information que les participants voyants. Ce traitement différent de l'information tactile en fonction de la perte de la vision peut engendrer des différences de performance entre des personnes voyantes et non-voyantes selon la propriété étudiée.

Les personnes voyantes semblent avoir de meilleures performances que les personnes non-voyantes dans des tâches impliquant un traitement de l'information spatiale (Carpenter & Eisenberg, 1978; Cornoldi & Vecchi, 2000; Drever, 1955; Hatwell, 1959).

Concernant la perception cutanée, les personnes non-voyantes semblent avoir de meilleures capacités de discrimination. Brown et Stratton (1925) montrent un seuil de discrimination plus fin chez les personnes non-voyantes. Cependant, Seashore et Ling (1918) n'observent pas de différences entre participants voyants et non-voyants. Axelrod (1959) dans une étude plus détaillée observe cette supériorité uniquement pour la détection et la discrimination de deux points sous l'index droit. Ces résultats peuvent être mis en lien avec la lecture du braille par les personnes non-voyantes. L'apprentissage et l'utilisation du braille permettrait aux personnes brailleuses de s'entraîner régulièrement à la discrimination tactile de

points en relief. Selon [Hatwell \(2003a\)](#) la cécité ne modifierait pas les seuils de sensibilité cutanée en eux-mêmes mais l'entraînement pourrait avoir un effet en orientant différemment l'attention des personnes non-voyantes.

Concernant la perception de textures, les études sont contradictoires. Dans certaines études aucune différence significative n'a été observée entre des enfants non-voyants et voyants ([Ballesteros, Bardisa, Millar, & Reales, 2005](#); [Mazella, Albaret, & Picard, 2016](#)), et des adultes non-voyants et voyants ([Heller, 1989b](#)). Tandis que d'autres études mettent en évidence de meilleures performances des adultes non-voyants par rapport aux voyants ([Alary et al., 2009](#); [Goldreich & Kanics, 2006](#)).

Cependant, dans les études de [Alary et al. \(2009\)](#) et [Goldreich et Kanics \(2006\)](#), les objets étaient déplacés sur le doigt des participants qui n'avaient donc pas à produire de mouvements d'exploration. Le fait de bouger l'objet sous le doigt des participants ne leur permet pas d'extraire des informations de type proprioceptif lors de l'exploration. La perception est alors basée sur de la perception cutanée. Or il semble que les personnes non voyantes aient de meilleures capacités de discrimination tactile que les personnes voyantes. Il est donc possible que les différences entre les études soient liées à l'utilisation de tâches impliquant un toucher actif ou passif.

L'entraînement et la familiarité des personnes non-voyantes pour explorer et manipuler du contenu tactile (*e.g.* braille) leur permet de développer de meilleures compétences d'exploration haptique et de discrimination tactile. Cependant, la vision occupe une place importante dans l'interaction avec l'environnement et ne permet pas aux personnes non-voyantes de traiter l'information comme les voyants. En particulier, il semble que les tâches impliquant le traitement d'informations spatiales soient plus difficiles à réaliser pour les

personnes non-voyantes. On peut alors se demander comment une personne privée de la vision se représente le monde qui l'entoure.

En résumé

Des différences entre adultes voyants et non-voyants vont se dessiner tout au long du développement. La manipulation régulière de contenu tactile (*e.g.* braille) permet aux personnes non-voyantes de développer de meilleures compétences d'exploration haptique et de discrimination tactile mais ne leur permet pas de compenser le manque de vision pour le traitement d'informations spatiales. Dès la naissance l'accès à la vision va influencer la façon dont le nourrisson interagit avec son environnement.

Le toucher a une très faible « valeur d'appel et d'incitation à percevoir les objets qui sont hors champ » (Hatwell, 2003a) ce qui entraîne une réduction du nombre de stimulations chez le nourrisson non-voyant. Les nourrissons non-voyants n'ont pas de retour visuel de leurs actions et l'échec à atteindre un objet ne leur apporte pas d'information supplémentaire pour corriger leurs mouvements. On observe un retard dans le développement de l'exploration haptique chez les nourrissons non-voyants par rapport à des nourrissons voyants du même âge.

Ces différences semblent moins importantes chez les enfants, en particulier chez les enfants scolarisés. Lorsque le traitement ne porte que sur une seule propriété de l'objet et que l'on explique aux enfants quelle propriété de l'objet ils doivent traiter, ces derniers mettent en place des mouvements d'exploration adaptés dès 3 ans. Cependant, pour compenser des capacités limitées en mémoire de travail, les enfants mettent en place des stratégies de « devinette » pour identifier les objets. Ils se basent sur des caractéristiques locales de l'objet pour l'identifier sans avoir à passer par la création d'une représentation globale et unifiée de l'objet.

4. Les représentations mentales chez les personnes non-voyantes

Le terme « représentation » vient du latin *repraesentare* qui signifie rendre présent quelque chose d'absent de notre champ perceptif. Les représentations mentales permettent de « substituer aux objets réels des objets mentaux qui en tiennent lieu » (Gallina, 2011, p54) On parle de représentations mentales car ces représentations sont stockées en mémoire contrairement aux représentations matérielles (plan, photographie, texte, etc.) qui sont matérialisées sur un support externe.

Il existe encore un débat sur la forme de ces représentations et plusieurs théories s'opposent : la théorie imagée (Kosslyn, 1994), la théorie propositionnelle (Pylyshyn, 1981) et la théorie du double codage (Paivio, 1971).

La théorie propositionnelle considère que les représentations mentales sont de type propositionnel, constituées de descriptions verbales et symboliques. La théorie propositionnelle laisse peu de place à la perception sensorielle qui serait indépendante des représentations mentales. À suivre cette théorie, la privation de la vision n'aurait donc pas ou peu d'effet sur les représentations mentales.

La théorie imagée soutient l'idée selon laquelle nous pensons par images. On parle alors « d'images » mentales qui seraient une reconstruction mentale de l'expérience perceptive. La vision jouerait un rôle central dans la génération de ces « images ». Cependant, elles peuvent également être générées sur la base de multiples entrées sensorielles. En effet, si certaines représentations de bas niveau sont le résultat immédiat d'une expérience visuelle récente, d'autres représentations de plus haut niveau impliquent des processus cognitifs complexes mettant en lien différentes sources d'information (visuelles, haptiques, auditives, sémantiques...) (Cornoldi, De Beni, Giusberti, & Massironi, 1998; Eardley & Pring, 2006).

Enfin, dans sa théorie du double codage, [Paivio \(1971\)](#) propose que les représentations mentales sont de deux natures : verbales et perceptives.

4.1. La question de l'aveugle de Molyneux

Le format des représentations mentales chez les personnes non-voyantes est un sujet très controversé car leur contenu est difficilement explorable. En effet, il est difficile d'exclure le rôle joué par la sémantique et les processus linguistiques. Pourtant ce débat n'est pas récent et les premiers questionnements datent de plus de trois siècles lorsque Molyneux envoie une lettre au philosophe John Locke posant la question suivante : « Supposez un aveugle de naissance, qui soit présentement homme fait, auquel on ait appris à distinguer par l'attouchement un cube et un globe, du même métal, et à peu près de la même grosseur, en sorte que lorsqu'il touche l'un et l'autre, il puisse dire quel est le cube et quel est le globe. Supposez que le cube et le globe étant posés sur une table, cet aveugle vienne à jouir de la vue. On demande si en les voyant sans les toucher, il pourrait les discerner, et dire quel est le globe et quel est le cube. » (Molyneux, 1693 dans [Weygand \(2003\)](#)). Locke défend l'idée que même si l'aveugle a appris par le toucher à distinguer le globe du cube, il ne pourrait pas, sans apprentissage, savoir comment distinguer ces objets par la vision. Pour Locke, l'association d'informations en provenance de deux modalités sensorielles est impossible sans apprentissage. Les représentations mentales des personnes non-voyantes de naissance seraient trop différentes des représentations visuelles pour qu'elles puissent reconnaître des objets par la vision.

L'hypothèse de l'aveugle qui recouvre la vue a été reprise par d'autres grands philosophes des Lumières, tels que Leibniz, Voltaire et Berkeley mais est restée théorique jusqu'à ce que le chirurgien William Cheselden opère en 1728 un jeune garçon atteint de cataracte congénitale. Le chirurgien a rapporté par la suite les difficultés du garçon à se servir

de sa vue. Immédiatement après la chirurgie, le garçon pouvait voir et différencier les objets. Cependant, il n'était pas en mesure de les identifier et avait l'impression que les objets touchaient ses yeux. On relève par la suite plusieurs cas de ce type grâce aux progrès de la chirurgie (les principaux cas de ce type jusqu'aux années 70 sont présentés dans Jeannerod (1975) Les cas les plus documentés sont ceux de S.B. et Virgil (Gregory & Wallace, 1963; Sacks, 1999), tous deux aveugles de naissance ayant recouvré la vue vers 50 ans. Gregory et Wallace (1963), rapportent l'expérience marquante d'une visite au musée par le patient S.B. Après avoir eu l'occasion de toucher un objet qu'il avait précédemment uniquement vu à travers une vitrine il a rapporté "maintenant que je l'ai touché, je peux le voir". De la même façon, lors d'une visite au zoo, Virgil ne semblait pas être capable de reconnaître un singe en le voyant. C'est seulement après avoir touché une statue de cet animal qu'il a pu identifier ce qu'il était en train de voir. Plus récemment, des résultats similaires ont été obtenus avec le patient MM (Fine et al., 2003) MM avait perdu la vue à 3,5 ans et reçu une greffe de cellules souches cornéennes et limbiques à 43 ans. Avant cet âge, MM avait une certaine perception de la lumière mais aucune expérience de contraste ou de forme. Cinq mois après la chirurgie, il pouvait percevoir les changements d'orientation et reconnaître des formes simples (e.g. carré, rectangle). Cependant, ses performances étaient particulièrement mauvaises en reconnaissance d'objets communs, de visage et dans l'interprétation de la perspective. Ostrovsky, Andalman et Sinha (2006) ont également observé le cas de SRD, aveugle de naissance qui a subi une opération de la cataracte à 12 ans (opération réussie uniquement pour l'œil gauche). Six mois plus tard, SRD pouvait reconnaître visuellement sa famille proche. Après un an, elle pouvait nommer les objets présents dans la maison en se servant uniquement de sa vue. Held, Ostrovsky, DeGelder et Sinha (2008), suggèrent un manque de transfert du toucher à la vision immédiatement après avoir récupéré la vue. Cependant, quelques temps après la chirurgie, ce transfert serait possible.

Il est encore difficile de tirer des conclusions définitives concernant la question de Molyneux. Les résultats obtenus jusqu'à aujourd'hui présentent de nombreuses limites méthodologiques (Held, 2009). Cependant, les résultats semblent converger en suggérant que les représentations visuelles ne sont pas disponibles de manière innée mais doivent être acquises par l'apprentissage. Comme l'affirmaient Molyneux et Locke il semble que « le lien entre idées visuelles et idées tactiles s'acquiert par l'expérience ». Selon Berkely « les idées introduites par chacun des sens sont radicalement différentes et distinctes les unes des autres ; mais, comme on a observé constamment qu'elles vont ensemble, on en parle comme d'une seule et même chose » (Berkeley, 1985). Cette conception est intégrée dans différents modèles de développement cognitifs (Piaget, 1936). Selon ces auteurs les personnes non-voyantes de naissance n'auraient pas accès à des représentations de type visuel car le transfert entre les systèmes haptique et visuel nécessiterait un apprentissage préalable.

Ces résultats semblent contradictoires avec les capacités de transfert entre vision et toucher très précoces observées chez le nouveau-né (voir Partie 2.6.1.2). Une seconde conception considère que les sens sont unifiés à la naissance et que les nouveau-nés pourraient transférer l'information d'un sens à l'autre sans besoin d'expérience multi-sensorielle. Cette conception est intégrée dans différentes approches gestaltistes (von Ehrenfels, 1890), écologiques (Gibson, 1966) ou nativistes (Spelke, 1998) de la perception. Cependant, elle ne permet pas d'expliquer le fait que les aveugles de naissance qui recouvrent tardivement la vue ne peuvent souvent pas reconnaître directement par la vision un objet qu'ils connaissent pourtant bien tactilement.

En fait, les capacités de transfert chez le nourrisson ne semblent pas toujours stables. En effet, la capacité de transfert du toucher à la vision chez les nouveau-nés de quelques jours n'est observée que pour la main droite (Streri & Gentaz, 2003, 2004). La capacité inverse de transfert du toucher à la vision semble apparaître seulement vers 5 mois. A cet âge les bébés sont pour

la première fois capables de reconnaître manuellement un objet vu. Cependant, cette capacité n'est temporairement plus observée (Streri & Pêcheux, 1986) pour l'être de nouveau à partir de 6 mois (Rose et al., 1981). Gentaz (2018) suggère « qu'il s'agit d'une activité perpétuelle de l'enfant soit pour maintenir la communication entre les deux sens soit pour la rétablir. En effet, ces capacités évoluent en fonction de contraintes biologiques et fonctionnelles du développement propre et non synchrone des sens visuels et tactiles ». Il semble donc que la capacité de transfert ne soit pas immuable bien que précoce chez le nouveau-né. Un manque de communication durant des années entre les deux sens pourrait donc altérer la capacité de transfert des informations. De ce fait, l'âge de la privation de la vision pourrait avoir un effet sur les représentations mentales. Le terme non-voyant précoce regroupe des personnes dont la perte de la vue est survenue dès la naissance ou après quelques semaines ou mois de vie. Le terme non-voyant tardif regroupe des personnes qui ont eu une expérience visuelle pendant au moins les trois ou quatre premières années de leur vie.

Partant du constat que les personnes recouvrant la vue ne peuvent pas reconnaître directement les objets qu'ils voient, des recherches ont été menées afin d'explorer la capacité des personnes non-voyantes précoces et tardives de créer des représentations mentales.

4.2. La capacité de produire des images mentales chez les personnes non-voyantes

De nombreuses études ont montré que les personnes non-voyantes de naissance sont capables de générer et manipuler des représentations mentales d'un format comparable aux personnes voyantes sur la base d'informations auditives, haptiques, ou sémantiques (Afonso et al., 2010; Bértolo et al., 2003; Kaski, 2002; Rovira, Deschamps, & Baena-Gomez, 2011; Tinti, Adenzato, Tamietto, & Cornoldi, 2006; Vanlierde & Wanet-Defalque, 2004; Vecchi, Tinti, & Cornoldi, 2004).

Cattaneo & Vecchi (2011) proposent que les images mentales d'individus non-voyants de naissance ne sont pas « visuelles » au sens strict du terme. Cependant, les objets seraient mentalement représentés par les personnes non-voyantes dans un format comparable, basé sur d'autres sens que la vision et enrichi par toutes les connaissances sémantiques concernant cet objet spécifique. En ce sens, il est peu probable que les images mentales générées par les personnes non-voyantes ressemblent exactement à celles d'individus voyants.

Différentes études ont essayé d'appréhender le contenu des représentations mentales des personnes non-voyantes. Cornoldi, Calore et Pra-Baldi (1979) ont demandé à des personnes voyantes et non-voyantes de naissance d'évaluer la richesse des représentations mentales liées à différents mots proposés. Pour ce faire, les participants devaient évaluer la facilité et la rapidité avec laquelle un mot évoque une représentation mentale sur une échelle de 1 à 7 proposée par Paivio, Yuille et Madigan (1968). Trois catégories de mots ont été proposées : mots à haute imagerie pouvant avoir été appréhendés en l'absence d'expérience visuelle (par exemple, « chat »), mots à haute imagerie difficilement appréhendables sans la vision (par exemple, « palmier »), et des mots à faible imagerie ou abstraits (par exemple, « dommage »). Pour les mots à haute imagerie appréhendés en l'absence d'expérience visuelle, l'évaluation semblait similaire entre personnes non-voyantes et voyantes. Cependant, les représentations mentales liées aux mots à haute imagerie difficilement appréhendables sans la vision étaient jugées plus riches par les voyants que par les non-voyants et les représentations mentales liées aux mots de la catégorie faible imagerie étaient évaluées plus riches par les participants non-voyants que par les voyants. De plus, chez les personnes voyantes, les représentations mentales liées aux mots avec faible imagerie ont été jugées plus riches que celles des mots avec haute imagerie mais difficilement appréhendables sans la vision. Les représentations mentales chez les personnes non-voyantes ne semblent donc pas dépendre de la capacité de l'objet à être imagé comme c'est le cas chez les voyants.

Lebaz, Picard et Jouffrais (2010) ont observé les stratégies de mémorisation chez des personnes non-voyantes précoces, tardives ou voyantes travaillant sans voir. Les participants devaient explorer des paires d'image non figuratives en relief et indiquer si ces images étaient identiques. Quatre stratégies de mémorisation ont été observées. La stratégie « visuo-spatiale » : les participants imaginaient comment les différentes parties de l'image se combinaient en utilisant une visualisation. La stratégie « verbale » : les participants utilisaient des termes descriptifs spatiaux pour encoder et retenir la forme de l'image. La stratégie « spatiale » : les participants imaginaient comment des parties de l'image ou sa totalité s'organisaient sans recours à des indices visuels. La stratégie « kinesthésique » : les participants imaginaient comment des parties de l'image ou le tout s'organisait en se basant sur les informations motrices ou kinesthésiques. Les participants non-voyants précoces ont rapporté avoir utilisé des stratégies dites non visuelles (verbale, spatiale et kinesthésique), les participants non-voyants tardifs ont rapporté avoir utilisé à la fois des formes visuelles (visuo-spatiale) et non visuelles tandis que les participants voyants ont rapporté avoir fait appel très majoritairement à des stratégies visuelles. Il est important de noter qu'aucune différence significative n'a été observé au niveau de leurs performances. Il semble donc que les différentes stratégies sont aussi efficaces pour manipuler mentalement des formes non figuratives.

Ogden et Barker (2001) ont demandé à des participants voyants et non-voyants (tardif et précoces) de rapporter des souvenirs autobiographiques. Dans cette étude, les participants non-voyants précoces ne mentionnaient que des détails liés à des expériences tactiles, auditives et spatiales dans leurs souvenirs, tandis que les participants voyants rapportaient principalement des détails visuels. Il est intéressant de noter que les participants non-voyants tardifs ont rappelé des détails principalement visuels pour les souvenirs d'enfance (avant la perte de la vue) et auditifs, tactiles et spatiaux pour les souvenirs plus récents.

Dans l'étude menée par Lambert, Sampaio, Mauss et Scheiber (2004), les participants étaient invités à créer librement des représentations mentales d'animaux puis étaient questionnés sur ces représentations. Les personnes non-voyantes rapportent avoir pensé à un modèle standard « animal à quatre pattes » de façon indistincte pour les mammifères tels que le lion, l'éléphant, le chat et le chien. Les critères permettant de les différencier étaient liés à la taille (éléphant plus grand que le lion) et à des propriétés tactiles qu'ils ont pu expérimenter chez des animaux qu'ils ont croisés (le pelage du chat) ou apprendre chez des animaux qu'ils n'ont jamais vus (la rugosité de l'éléphant). D'autres animaux, tels que la grenouille ou le canard, semblent avoir été représentés plutôt par des propriétés auditives.

Vinter, Fernandes, Orlandi et Morgan (2012) ont demandé à des enfants de 6 à 14 ans de décrire verbalement des objets familiers. L'étude incluait un groupe d'enfants voyants et un groupe d'enfants avec déficiences visuelles (non voyants de naissance ou malvoyants, sans troubles associés). Dans cette étude, les enfants non-voyants de naissance évoquaient principalement des caractéristiques tactiles (e.g. « Les poils de la brosse à dent sont rugueux ») et auditives (e.g. « J'aime écouter le bruit de la pluie qui tombe dehors ») des objets et rapportent des expériences perceptives personnelles dans leurs définitions. Les enfants voyants s'appuyaient principalement sur des expériences visuelles (« Une vitre est transparente ») et produisaient un verbalisme plus orienté visuellement (e.g. « Si tu regardes », « Tu vois »). Le groupe d'enfants malvoyants était intermédiaire avec autant de références à des expériences tactiles que visuelles et quelques références auditives.

Différentes méthodes sont donc proposées pour tenter d'explorer le contenu des représentations mentales : évaluation de leur richesse selon différentes catégories de mots, observation de stratégies de mémorisation nécessitant la création de représentations mentales, descriptions verbales des représentations. Ces études semblent converger pour montrer que les représentations mentales des personnes voyantes sont majoritairement visuelles tandis que

celles des personnes non-voyantes sont plus diverses, basées principalement sur des perceptions auditives et haptiques. Un autre moyen d'accéder aux représentations mentales construites par les participants est la production de dessin.

4.3. Analyse de dessins pour accéder aux représentations mentales

Valente (2012) a étudié la production et la reconnaissance de dessins d'enfants malvoyants, non-voyants tardifs et non-voyants précoces par le biais d'un jeu de type « pictionary » tactile. Les dessins produits ont été évalués selon leur iconicité (*i.e.* niveau de ressemblance avec les codes figuratifs de la culture visuelle). De façon générale, les dessins des enfants malvoyants avaient les plus hauts scores tandis que ceux des enfants non-voyants précoces avaient les scores les plus bas. Les sujets malvoyants ont représenté dans la plupart des cas des formes figuratives très conventionnelles comparable aux dessins qu'aurait pu produire un enfant voyant. Chez les enfants non-voyants de naissance deux types de dessins semblent ressortir majoritairement : des dessins basés sur des connaissances sémantiques et des dessins basés sur des expériences haptiques. Ces observations semblent donc aller dans le sens des recherches précédentes montrant que les représentations mentales diffèrent entre voyants (voire dans ce cas des enfants malvoyants) et non-voyants.

Lorsque les enfants non-voyants dessinent des objets qu'ils ne peuvent pas percevoir entièrement mais qui impliquent des modes d'interactions spécifiques avec le corps (*e.g.* piscine, toboggan, escaliers), les dessins réalisés ont tendance à être basés majoritairement voire exclusivement sur l'expériences haptique. L'un des enfants dessine une piscine avec trois traits horizontaux pour représenter les marches et un rond pour représenter l'eau (Figure 8 a). La même chose a également pu être observée sur des dessins d'escalier. Les enfants non-voyants ont dessiné des traits horizontaux pour représenter les marches et parfois un trait vertical pour

représenter la rampe (Figure 8 b). On peut également mentionner le cas du toboggan où cette expérience haptique ressort très bien dans la description de l'enfant « J'ai fait tuc, tuc, les échelles et après hop ! On descend. » ou encore « Ici, j'ai représenté quand on glisse. Et là c'est quand on monte, c'est une passerelle » Valente (2012). Des dessins similaires ont été retrouvés dans d'autres études. Par exemple le dessin d'un bus avec de deux traits horizontaux et une barre verticale qui correspondent respectivement aux marches permettant de monter dans le bus et à la barre de maintien (Marek, 2009 dans Valente et al. 2020), ou encore le dessin d'une rivière avec un cercle pour représenter la sensation de l'eau autour du corps dans lequel sont dessinés de petits ronds pour représenter la sensation des galets sous les pieds (Duarte, 2001 dans Valente et al. (2020) (Figure 8 c). Ce type de représentations basé sur l'expérience haptique se retrouve également pour des petits objets manipulables bien que ces objets puissent être explorés entièrement par le toucher et font partie de l'expérience quotidienne des enfants non-voyants. Chez les enfants non-voyants de naissance une carotte est représentée par une seule ligne. Cette représentation semble mettre en avant la forme allongée et fine d'une carotte telle qu'elle est ressentie lors de sa manipulation tactile. Pour le dessin d'une fourchette, Valente (2012) observe que les dents ne sont pas toujours disposées verticalement dans la continuité du manche dans les dessins des enfants non-voyants (Figure 8 d). Valente (2012) interprète le positionnement de dents transversales au manche sur deux des dessins comme une difficulté à traduire en un dessin la séquence d'actions dynamiques exercées avec cet objet (action de saisir la nourriture, de la piquer puis de la transporter à la bouche). Valente (2012) rapporte pour l'un des enfants « pendant le processus de dessin, le dessinateur s'arrête après avoir tracé le manche, hésite pendant plusieurs secondes puis ajoute quatre petits points sur la longueur de la ligne. Le dessinateur nous confirme, plus tard, que les points dessinés représentent les dents de la fourchette. »

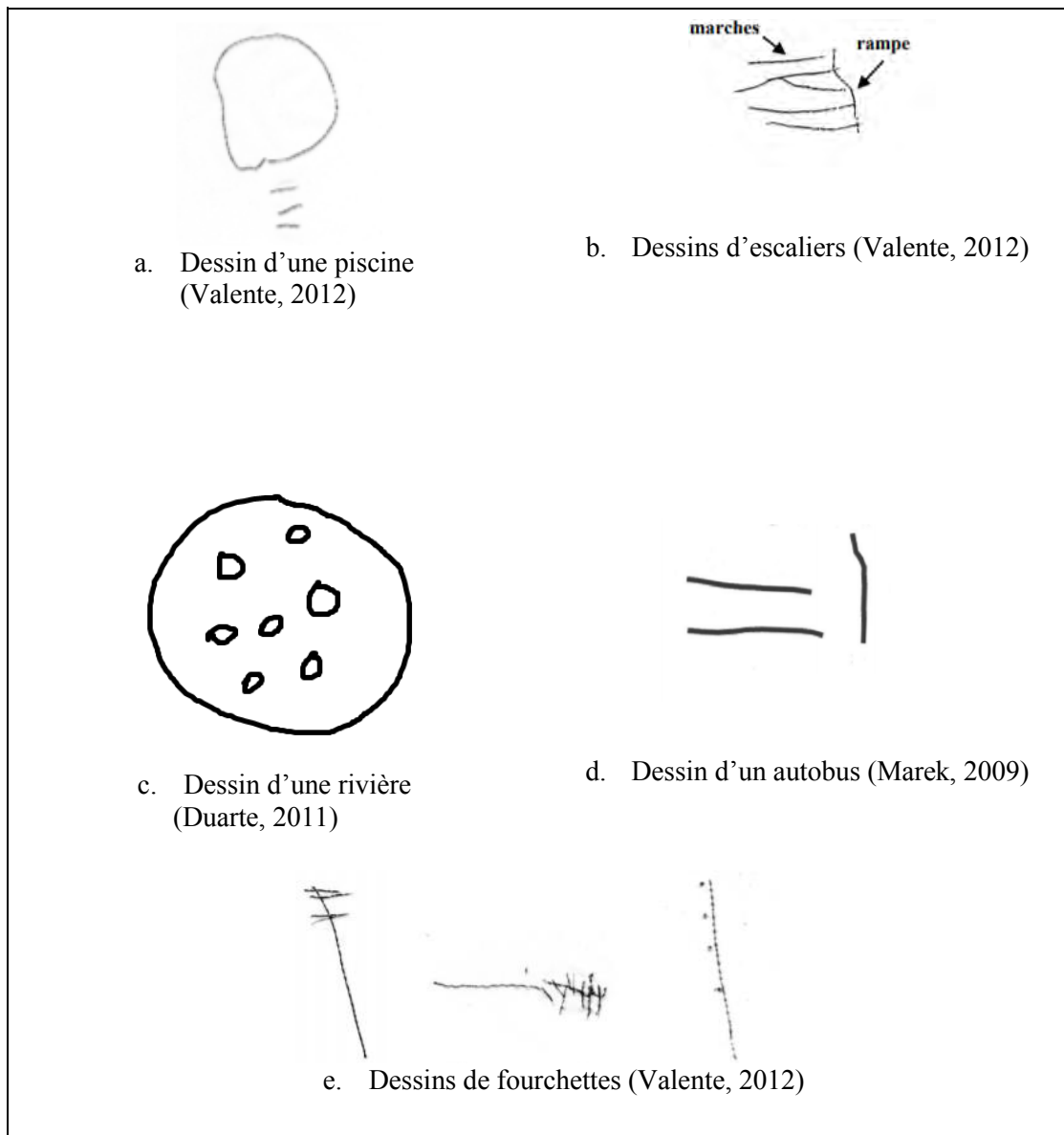


Figure 8 : Exemple de dessins produits par des enfants non-voyants

Lorsque les enfants non-voyants de naissance produisent des dessins correspondant à un ressenti avec ces objets ou à une action dynamique, ils le font sans prendre en compte les codes qui régissent la production et la lecture des signes figuratifs chez les voyants. Une ligne correspond très bien à la sensation de la forme allongée d'une carotte et des points peuvent effectivement représenter les dents de la fourchette. En revanche, ces représentations s'adaptent difficilement aux règles du système figuratif des voyants. En effet, si l'on reprend l'exemple de

la carotte, la représentation d'une carotte par une simple ligne diffère de la représentation dominante dans le monde des voyants d'une carotte (en forme de cône, avec des feuilles au-dessus). Cette représentation conventionnelle de la carotte est cependant difficilement reconnue par les enfants non-voyants. Le dialogue entre deux enfants illustre bien les représentations différentes que peuvent avoir un enfant non-voyant tardif et un enfant non-voyant de naissance.

Non voyant de naissance : « Ça ne se rassemble pas à une carotte. C'est bien mais les trucs là-haut... » Non-voyant tardif : « En haut là, ces espèces de pointes, ce sont des branches sur la carotte. Quand elle n'est pas encore épluchée ». Non voyant de naissance : « Une carotte avec des branches ? ! » non voyant tardif : « As-tu déjà vu une carotte quand elle est entière ou pas ? ». L'ajout des feuilles/branches ne semble pas correspondre aux carottes dont l'enfant non-voyant a pu faire l'expérience concrète. Les carottes vendues en supermarché n'ont souvent plus les feuilles, il est donc possible que l'enfant n'ait effectivement jamais vu une carotte « entière ». On retrouve également ce type de représentation iconographique dans des dessins de fleurs. Les enfants voyants et malvoyants ont tendance à exagérer le cœur de la fleur tandis que les enfants non-voyants font rarement de distinction entre le cœur et les pétales de la fleur. En fait, pour la plupart des fleurs typiques, le cœur, qui englobe pistil et étamines, est très petit. Ces fleurs avec un cœur démesurément grand ne représentent donc peut-être pas les fleurs dont un enfant non-voyant a pu faire l'expérience (que ce soit une vraie fleur ou un schéma de fleur). Cette représentation entraîne des confusions chez les enfants non-voyants qui l'interprètent souvent comme un soleil.

Ces exemples permettent de montrer des représentations différentes entre enfants malvoyants et non-voyants. Les enfants non-voyants se basent sur ce qu'ils connaissent de l'objet, et donc principalement sur des représentations liées aux expériences haptiques. Chez les enfants voyants et malvoyants exposés régulièrement à des images et à des représentations iconographiques, certaines normes semblent se construire (*e.g.* cœur de la fleur exagérément

gros). Cependant, ces normes apprises ne correspondent pas à l'expérience de l'enfant non-voyant qui comprend alors difficilement ces représentations.

Pour les dessins d'animaux (chien, éléphant, lion) il est intéressant de constater que les observations vont dans le sens de l'étude de Lambert et al. (2004) pour laquelle les personnes non-voyantes rapportent avoir pensé à un modèle standard « animal à quatre pattes » de façon indistincte pour les mammifères. Les enfants non-voyants de naissance représentent des animaux à quatre pattes (un trait pour le corps, 4 pattes et une queue) dans leurs dessins de chiens ou d'éléphant qui pourraient alors être n'importe quel autre animal. Valente (2012) mentionne le témoignage d'un des participants : « Nous, les non-voyants, on reconnaît le chien dans le dessin principalement par la queue. On touche la queue et on dit c'est un chien. Elle ressort du corps en continuation vous voyez. Même si on ne reconnaît pas la tête » Ce témoignage semble montrer un style d'exploration particulier des enfants non-voyants. Ces enfants vont procéder à une évaluation fragmentée dans laquelle un seul détail contradictoire peut troubler tout le processus de découverte contrairement aux voyants qui interprètent un dessin globalement. On peut mettre en lien ces stratégies avec la procédure séquentielle et fragmentée imposée par l'exploration tactile et la procédure globale de l'exploration visuelle. La pertinence de l'élément « queue » du chien pour les personnes non-voyantes est certainement liée à leur expérience concrète de cet animal.

Les personnes non-voyantes se représentent le monde en se basant principalement sur des perceptions tactiles et auditives alors que la vision est prédominante dans les représentations des personnes voyantes. Ces différences de représentation se retrouvent également chez les enfants dans les dessins d'enfants voyants, malvoyants et non-voyants. La dominance de la vision dans l'environnement des personnes voyantes fait émerger l'utilisation de normes iconographiques qui ne correspondent pas toujours à la réalité. Ces normes peuvent alors poser

problème aux personnes non-voyantes pour qui elles ne correspondent à rien de connu. Bien qu'il semble possible d'apprendre ces normes (Kennedy, 1993) dessins de la petite Tracy aveugle de naissance), on peut se demander la signification que l'enfant mettra derrière ces « codes » appris. Lors du « pictionary » tactile proposé par Valente (2012), un observateur voyant suggère à un enfant de dessiner une vague pour représenter l'eau de la piscine. Ce dernier lui répond « Oui mais ça à l'intérieur du cercle ça nous dit rien ! C'est une invention plastique ». Ces différences de représentation vont avoir un effet sur les capacités de reconnaissance des images tactiles.

En résumé

Le format des représentations mentales chez les personnes non-voyantes est un sujet très controversé car leur contenu est difficilement explorable. Cependant, les études semblent converger pour montrer que les représentations mentales des personnes voyantes sont majoritairement visuelles tandis que celles des personnes non-voyantes sont plus diverses, basées principalement sur des perceptions auditives et haptiques.

Ces différences de représentation se retrouvent également dans les dessins d'enfants voyants, malvoyants et non-voyants. La dominance de la vision dans l'environnement des personnes voyantes fait émerger l'utilisation de normes iconographiques qui ne correspondent pas toujours à la réalité. Ces normes peuvent alors poser problème aux personnes non-voyantes pour qui elles ne correspondent à rien de connu

5. Les images tactiles

5.1. Les techniques de mises en relief

Il existe différentes techniques d'illustrations tactiles : images avec contours en relief, images pleines, les images avec plusieurs niveaux de relief et images texturées (Figure 9). Les images avec contours en relief et pleines peuvent être produites par thermogonflage. Cette technique est basée sur du papier imprégné de microcapsules d'alcool. Lorsqu'elles sont exposées à de la chaleur, les microcapsules présentes sous l'encre éclatent. On retrouve alors du volume dans les zones désirées uniquement. Les images avec plusieurs niveaux de relief peuvent être obtenues par le thermoformage. Cette technique consiste à chauffer sous vide une mince feuille de plastique placée sur un objet ou une matrice. L'image plastique obtenue suit précisément le relief de l'objet d'origine. Les images texturées sont obtenues en assemblant et collant plusieurs textures (tissus, mousses, papier, etc).

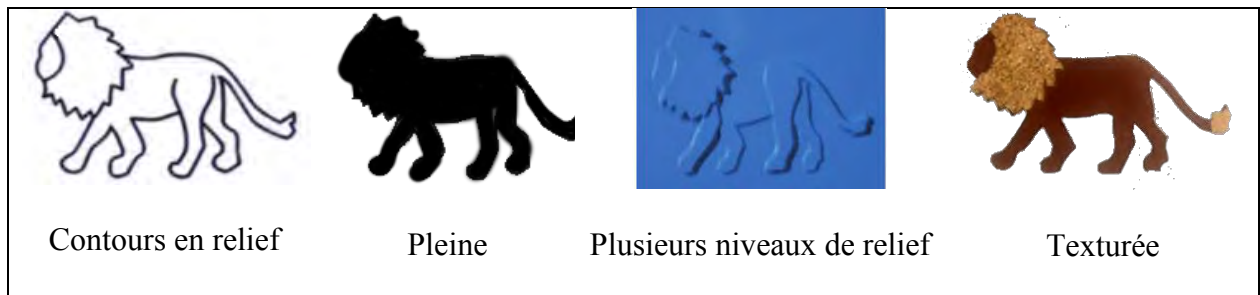


Figure 9 : Technique d'illustrations adaptée de Theurel, Witt, Claudet, Hatwell, & Gentaz (2013)

5.2. L'identification des images tactiles

L'identification haptique des objets de la vie quotidienne est particulièrement efficace pour les adultes et enfants non-voyants ou voyants travaillant sans voir (Ballesteros & Reales, 2004; Bigelow, 1981; Bushnell & Baxt, 1999; Morrongiello et al., 1994; Overvliet & Krampe,

2018). Cependant, l'identification d'images tactiles est beaucoup plus complexe. Plusieurs hypothèses ont été mentionnées pour expliquer ces différences.

Tout d'abord, les objets de la vie quotidienne ont de multiples propriétés (texture, taille, poids, température, forme, etc.). Le passage d'objets tridimensionnels à des images bidimensionnelles rend les images plus pauvres. En effet, ces images tactiles ne permettent plus l'accès à des propriétés telles que le poids, la température et parfois la texture. De plus, l'utilisation d'images ne pouvant pas être manipulées entre les mains ne permet pas la mise en place de mouvements d'exploration tels que le soupesage ou l'enveloppement.

Les images tactiles sont des représentations. En ce sens, elles peuvent ne pas correspondre aux représentations mentales des personnes non-voyantes. Nous avons observé dans la [Partie 3.3](#) que certains dessins d'enfants malvoyants sont basés sur des représentations iconographiques (*e.g.* cœur de la fleur exagérément gros) qui ne sont pas connues de leurs camarades non-voyants.

Enfin, la perception haptique repose sur un ensemble de mécanismes cognitifs complexes. Le champ perceptif limité du toucher impose une exploration séquentielle. Les différentes parties de l'objet doivent donc être explorées puis encodées et intégrées en une représentation mentale unifiée. Dans des tâches d'identification, cette représentation doit ensuite être comparée avec une représentation stockée en mémoire à long terme afin de reconnaître et nommer l'objet. Ces processus impliquent des aptitudes perceptives haptiques (exploration et encodage), ainsi que des capacités mnésiques en mémoire de travail (intégration de fragments d'information pour la construction de l'image globale) et en mémoire à long terme (récupération du nom de l'objet).

Comme nous l'avons déjà mentionné, selon [Loomis et al. \(1991\)](#) la difficulté liée à l'identification d'images tactiles est principalement liée l'exiguïté du champ perceptif tactile

limité à la taille du ou des doigts (selon la technique d'exploration) qui rend l'exploration séquentielle. Dans leur étude, des participants voyants exploraient des images selon deux conditions : tactile ou visuelle. Dans la condition tactile les participants avaient les yeux bandés et devaient explorer l'image avec un ou deux index. Dans la condition visuelle les images n'étaient pas en relief et les participants devaient les explorer à travers une petite fenêtre qui réduisait le champ visuel au champ perceptif tactile (i.e. la taille d'un ou deux index). Avec un champ visuel correspondant à celui d'un index, les performances sont similaires dans les conditions tactile et visuelle. Cependant, lorsque le champ visuel est ramené à celui de deux index, les performances des participants dans la condition visuelle sont meilleures que dans la condition tactile. Lorsque le champ (visuel ou tactile) est restreint les participants ne perçoivent que des fragments d'information de manière séquentielle. Un processus d'intégration est alors nécessaire pour créer une représentation unifiée de l'image. Ce travail d'intégration est cependant entravé par des limitations de la mémoire de travail que ce soit dans la condition tactile ou visuelle. Cependant, contrairement à la vision, les performances tactiles ne sont pas affectées par l'exploration à un ou deux index. (Loomis et al., 1991) la capacité de traitement simultanée du toucher correspond à l'information apportée par un seul index alors que celle de la vision est bien supérieure. Ces propos sont à nuancer car cette étude porte sur des participants voyants. Les personnes non-voyantes ont plus tendance à utiliser leurs deux mains pour l'exploration et montrent donc de meilleures performances en exploration bimanuelle alors que cette différence n'est pas observée chez les personnes voyantes (Russier, 1999)

Les résultats des études sur l'identification des images tactiles sont divergents (Tableau 2). Les premières études s'intéressant aux images en relief ont montré de faibles taux d'identification (autour de 30%) chez les adultes travaillant sans voir (Klatzky, Loomis, Lederman, Wake, & Fujita, 1993; Loomis et al., 1991; Magee & Kennedy, 1980). Des études plus récentes rapportent des taux d'identification plus élevés entre 60 et 85 % des images en

relief (Kennedy & Bai, 2002; Thompson, Chronicle, & Collins, 2003; Wijntjes, Van, et al., 2008a; Wijntjes, van Lienen, Verstijnen, & Kappers, 2008b). De plus, certaines études rapportent de moins bonnes performances chez les participants non-voyants précoces par rapport aux participants voyants (Lederman et al., 1990) et non-voyants tardifs (Thompson, Chronicle, & Collins, 2006). D'autres, montrent de meilleures performances des participants non-voyants tardifs sur les autres groupes (Heller, Calcaterra, Burson, & Tyler, 1996; Heller, 1989b).

Ces résultats divergents se retrouvent également dans les études sur les enfants (Tableau 3). Certaines études montrent de meilleures performances chez les enfants avec une déficience visuelle par rapport aux voyants (D'Angiulli, Kennedy, & Helle, 1998; D'Angiulli & Waraich, 2002; Orlandi, 2015; Picard, Albaret, & Mazella, 2014). Tandis que d'autres ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes (Mazella et al., 2016).

Tableau 2 : Etudes sur la reconnaissance des images tactiles chez les adultes (V : Voyants, T : non-voyants Tardifs, P : non-voyants Précoces

Etude chez les adultes	Taux de reconnaissance			Mise en relief	Conventions visuelles	Guidage
	V	T	P			
Magee et Kennedy (1980)	26%			Contour	Non	Aucun
Loomis et al. (1991)	48%			Contour	Oui	Aucun
Klatzky et al. (1993)	31%			Contour	Oui	Aucun
Kennedy et Bai (2002)	61%			Contour	Non	Aucun
Thompson et al. (2003)	57%			Contour	Non	Aucun
	68%			Tout	Non	
Kalia et Sinha (2011)	40%			Contour	Oui	Aucun
	56%					
Wijntjes, Van Lienen, et al. (2008a)	84%			Contour	Non	Aucun
Wijntjes, van Lienen, et al.(2008b)	59%			Contour	Non	Aucun
Lederman et al. (1990)	27%		10%	Contour	Oui	Aucun
Thompson et al. (2006)	50%	44%	13%	Contour	Oui	Aucun
	56%	69%	50%	Images adaptées	Non	
Heller et al. (1996)	25%			Contour	Oui	Aucun
	63%					Catégorie sémantique (Avant exploration)
	58%					Catégorie sémantique (Après exploration)
	84%					Trouver une image cible parmi 3
	87%					Trouver une image cible parmi 3 +Catégorie sémantique
	57%	71%	38%			Catégorie sémantique (avant exploration)
Heller (1989a)	13%	36%	9%	Contour	Oui	Aucun
	60%	82%	49%			Liste des images

Tableau 3 : Etudes sur la reconnaissance des images tactiles chez les enfants (V : Voyants, NV : Non-Voyants, DV : Déficience visuelle, C : Contour en relief, Tx : Texture)

Etude chez les enfants	Statut visuel			Mise en relief	Conventions visuelles	Guidage
	V	NV	DV			
D'Angiulli et al. (1998) Enfants de 8 à 13 ans	9%	45%		Contour	Oui	Aucun
D'Anguilli et Waraich (2002) Enfants de 9 à 12 ans	10%	57%		Contour	Oui	Aucun
Theurel et al. (2013) Enfants de 6 à 16 ans		27%		Contour	Oui	Catégorie sémantique (avant exploration)
		30%		Tout	Oui	
Picard et al. (2014) Enfants de 9 à 10 ans	37%	36%	52%	Texture Contour	Oui Non	Catégorie sémantique (avant exploration)
Orlandi (2015) Enfants de 3 à 12 ans	40% 65%		50% 80%	Texture	Non	Titre de l'histoire Histoire

Il existe différentes hypothèses dans la littérature permettant d'expliquer ces résultats : l'expérience visuelle des participants, l'utilisation de conventions visuelles dans les images, l'expérience haptique des participants, la nécessité à accéder au nom de l'objet selon la tâche proposée et le type d'image utilisé.

5.2.1. L'expérience visuelle

Pour évaluer l'effet de l'expérience visuelle, on compare généralement trois populations : des participants non-voyants précoces dont la cécité est survenue dès la naissance ou après quelques semaines ou mois de vie, des participants non-voyants tardifs, qui ont eu une expérience visuelle pendant au moins les trois ou quatre premières années de leur vie et les voyants que l'on fait travailler sans voir. Selon Hatwell (2006, p470) « Les aveugles congénitaux n'ont aucune représentation visuelle mais utilisent le toucher et l'audition de manière intensive. Les voyants privés momentanément de la vue bénéficient de très riches

représentations visuelles mais sont très peu entraînés à utiliser le toucher sans l'accompagnement visuel habituel. Ces deux facteurs (peu d'exercice de la modalité tactilo-kinesthésique et bénéfice des représentations visuelles antérieures) jouent en sens opposé, et c'est l'effet de leur résultante qui est observé quand on compare les performances tactiles des aveugles congénitaux et des voyants travaillant sans voir. Quant aux aveugles tardifs, ils bénéficient à la fois des représentations visuelles élaborées pendant la première enfance (même si elles ne sont plus conscientes) et de l'exercice du toucher. »

Certaines études montrent de meilleures performances des participants voyants par rapport aux participants non-voyants. Chez les personnes non-voyantes, on peut également observer des différences entre non-voyants tardifs et précoces. Le débat sur l'importance de l'expérience visuelle pour la reconnaissance d'images tactiles est ancien mais toujours d'actualité. Les premières réflexions prônent un rôle central de l'imagerie visuelle. Ainsi, [Warren \(1984\)](#) affirmait que le recodage visuel ou l'usage de l'imagerie visuelle était nécessaire pour une perception tactile adéquate des images.

[Lederman et al. \(1990\)](#) ont proposé deux modèles de l'appréhension haptique : le modèle d'appréhension direct et le modèle de la médiation visuelle. Selon les auteures il est nécessaire de faire la distinction entre information matérielle et information structurelle. Les informations matérielles sont par exemple la texture, la dureté ou les caractéristiques thermiques tandis que les informations structurelles sont entre autres la forme et la taille. Dans le modèle d'appréhension haptique direct, le système haptique est considéré comme un système perceptuel distinct. Ce système a son propre appareil physiologique et son propre mode de traitement adapté à l'intégration d'informations matérielles. De ce fait, lorsque l'information matérielle est perçue, celle-ci est traduite directement en représentation haptique. Ce modèle serait celui utilisé lors de l'identification d'objets réels possédant de nombreuses propriétés matérielles. Les images avec contours, pleines ou avec plusieurs niveaux de relief ne proposent

pas d'informations matérielles, et ne donnent accès qu'à des informations structurelles liées à la forme. Ces informations restreintes pourraient contraindre le système haptique à fonctionner par le biais du modèle de médiation visuelle. Selon ce modèle, l'identification haptique nécessite quatre étapes de traitement : (i) exploration haptique, (ii) transfert ou traduction de l'information haptique en une image visuelle, (iii) identification du concept et (iv) récupération du nom de l'objet. Lors de l'étape (ii) l'individu doit extraire les segments locaux du contour par le biais de mouvements d'explorations complexes (*e.g.* suivi de contour), les intégrer sous forme de représentation, et comparer la représentation ainsi créée avec ce qu'ils connaissent de l'objet réel. Cette extraction lente et séquentielle de l'information structurelle par le toucher impose une forte charge cognitive qui expliquerait le taux de reconnaissance faible des images en relief comparé aux objets réels. Le fonctionnement du modèle de la médiation visuelle souligne également l'importance de l'expérience visuelle. En effet, l'étape (ii) du modèle suppose que les informations haptiques soient traduites en une représentation visuelle avant l'identification.

Dans leur étude, [Scocchia, Stucchi et Loomis \(2009\)](#) ont cherché à vérifier l'importance de la médiation visuelle dans la reconnaissance d'images tactiles chez des personnes voyantes en modifiant l'alignement de la tête du participant et de l'image. Les auteurs partent de l'hypothèse que l'imagerie visuelle est plus vivace et détaillée lorsque l'espace représentationnel est aligné avec la position de la tête et du regard. Dans leur étude, les taux d'identification lorsque la tête du participant était dans l'axe des dessins étaient meilleurs (43%) que lorsque la tête n'était pas alignée (32%). Il semble donc que la difficulté liée à la représentation visuelle d'une image désaxée ait altéré la capacité d'identification des dessins en relief. L'imagerie visuelle aurait donc un rôle non négligeable sur la reconnaissance d'images tactiles.

Wijntjes, van Lienen, et al. (2008a) ont demandé à des adultes voyants d'identifier des images en relief d'objets communs sans les voir. Dans un second temps, les participants devaient dessiner leur perception des images en relief puis regarder leurs dessins avant d'identifier l'objet. Après avoir regardé leurs dessins, le taux d'identification a été amélioré d'environ 30% contre seulement 2% pour le groupe n'ayant pas pu les regarder. Il semble donc qu'après avoir eu une représentation visuelle du dessin, les participants reconnaissent mieux les images. Cet argument peut venir renforcer le modèle de la médiation visuelle proposé par Lederman et al. (1990). Cependant, les auteurs interprètent ces résultats autrement. La visualisation des informations extraites par le toucher permettrait l'accès à une représentation plus globale de l'objet par la vision et donc plus facile à identifier que la représentation séquentielle de l'information extraite par le système haptique.

Puspitawati et al. (2014) ont étudié la perception de formes hiérarchisées chez des enfants voyants et non-voyants. L'étude incluait un groupe de participants voyants travaillant sans voir et un groupe de participants non-voyants de naissance ou précoces (ayant perdu la vue avant 12 mois). Comme mentionné précédemment, dans cette étude, les enfants voyants produisent plus de réponses intégrées (e.g. un rond formé de petits carrés) que les non-voyants et le nombre de réponses intégrées est en augmentation avec l'âge (voir Figure 5). Cependant, les enfants non-voyants montrent un retard par rapport aux voyants dans la production de réponses intégrées. Les auteurs interprètent ces résultats à travers les modèles de l'appréhension haptique de Lederman et al. (1990). Les enfants voyants travaillant sans voir auraient traité l'information en suivant les différentes étapes du modèle de la médiation visuelle. Ils auraient donc traduit les différentes informations haptiques récoltées en représentations visuelles. La vision permet de traiter une forme de façon globale très rapidement et facilement, le processus d'intégration serait donc facilité. Les enfants non-voyants, au contraire, traiteraient

l'information selon le modèle d'appréhension haptique direct. Ils ne bénéficieraient donc pas de la possibilité de former une représentation visuelle des informations.

Plusieurs études confirment le rôle de l'imagerie visuelle dans la reconnaissance d'images tactiles. Cependant, d'autres auteurs tels que [Kennedy \(1993\)](#) s'opposent à une approche mettant l'imagerie visuelle au cœur de la reconnaissance. Ce dernier affirme que les images ne sont pas spécifiquement visuelles mais accessibles à la fois à la vision et au toucher. Leur perception serait relativement indépendante des capacités d'imagerie visuelle. [Kennedy \(1993\)](#) développe l'idée selon laquelle l'essentiel de l'information spatiale pertinente pour l'identification d'images tactiles est accessible à la modalité haptique. Ainsi, l'interprétation des contours d'une forme pourrait être soutenue aussi bien par des informations codées visuellement que haptiquement et la capacité de discriminer et interpréter le contour d'une surface serait indépendante de la présence d'inputs visuels.

5.2.2. *Les conventions visuelles*

Plusieurs études de [Kennedy \(1993\)](#) et Heller ([Heller, 2002](#); [Heller, McCarthy, & Clark, 2005](#)) convergent pour montrer que l'imagerie visuelle n'est pas nécessaire aux personnes non-voyantes pour comprendre (et produire) des images tactiles. Pour ces chercheurs, les faibles taux d'identification observés dans les études s'expliqueraient principalement par une expérience limitée de la modalité haptique avec les images tactiles. Ces images sont des représentations bidimensionnelles d'objets tridimensionnels. Or, le passage de la 3D à la 2D implique des déformations de l'objet, ayant pour conséquence une possible inadéquation entre l'expérience perceptive haptique et la représentation picturale de l'objet. En effet, bien que simplifiées, les images tactiles sont souvent basées sur des images « visuelles ». Cette hypothèse peut être mise en lien avec les dessins présentés dans la [Partie 3.3 4](#). En effet, nous

avons observé que certaines conventions iconographiques utilisées par les enfants malvoyants ont rendu difficile la reconnaissance des dessins par les enfants non-voyants.

De plus les images peuvent contenir, par exemple, la présence de perspective ou d'occultation qui sont des conventions visuelles typiques, apprises par les personnes voyantes. Ces représentations peuvent être mal interprétées par les personnes non-voyantes. Les différences de taux d'identification tactile en fonction du statut visuel (aveugle précoce ou tardif) pourraient donc s'expliquer par un manque de familiarité avec les conventions visuelles (Heller et al., 2005; Millar, 1975).

Pour vérifier cette hypothèse, Thompson et al. (2006) ont créé de nouvelles images bidimensionnelles comportant des indices de profondeur différents des conventions graphiques visuelles classiques (Figure 10). Dans la première partie de leur étude les chercheurs utilisent des images tactiles classiques (images visuelles simplement mises en relief) et trouvent une différence significative entre les groupes de personnes voyantes, non-voyantes précoces et non-voyantes tardives. Dans la seconde partie, les participants doivent reconnaître les nouvelles images créées pour l'étude. Avec ces nouvelles images, les taux d'identification deviennent similaires (voyants = 56%, non-voyants précoces = 50% et non-voyants tardifs = 69%). Il semble donc que le fait de retirer les conventions graphiques visuelles (profondeur, perspectives) permette aux participants non-voyants précoces de reconnaître les images avec des performances équivalentes aux participants non-voyants tardifs et voyants.

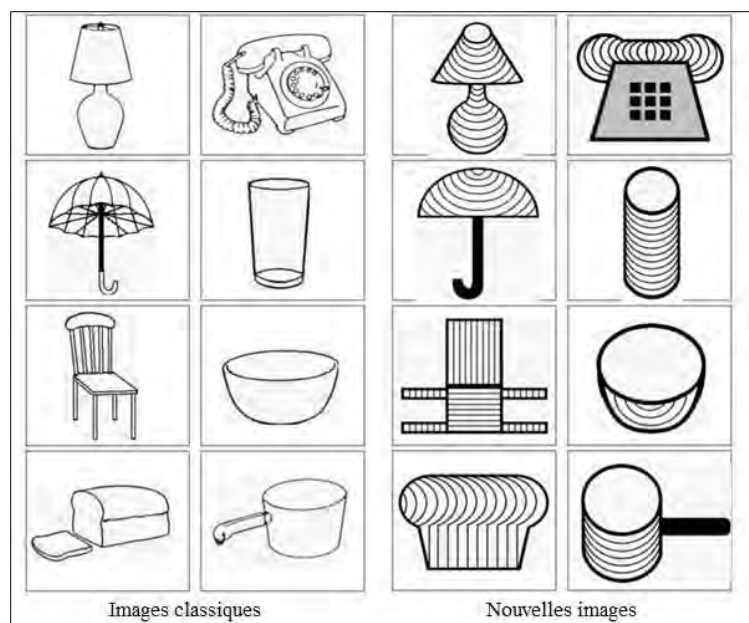


Figure 10 : Exemple d'images utilisées par Thompson et al. (2003)

Dans leur méta analyse, [Picard et Lebaz \(2012\)](#) montrent également que le type de dessin utilisé dans les études (*i.e* tridimensionnel : incluant de la perspective ou de l'occultation ou bidimensionnel) influence significativement les taux de reconnaissance (respectivement 50% vs. 33%). Les études montrant de meilleurs résultats pour les voyants et les non-voyants tardifs par rapport aux non-voyants précoces peuvent donc s'expliquer par un manque d'imagerie visuelle ou un manque de familiarité avec les conventions visuelles.

5.2.3. La compétence et la familiarité

Certaines études montrent de meilleures performances pour l'identification d'images tactiles chez les personnes avec une déficience visuelle ou non-voyantes tardives ([D'Angiulli et al., 1998](#); [D'Angiulli & Waraich, 2002](#); [Heller, 1989a](#); [Orlandi, 2015](#); [Picard et al., 2014](#)). Ces résultats peuvent être expliqués par une certaine compétence des personnes avec une

déficience visuelle pour l'extraction d'informations tactiles. En effet, en raison de leur déficience ces personnes sont amenées à utiliser le système haptique plus fréquemment.

[Behrmann et Ewell \(2003\)](#) ont observé que le taux d'identification d'images tactiles pouvait être amélioré par l'expérience et l'apprentissage. Les chercheuses ont entraîné des adultes voyants travaillant sans voir à reconnaître des formes abstraites en relief par le toucher. Dans cette étude, le groupe ayant été entraîné montre de meilleures performances que le groupe sans entraînement (91.3% vs. 81.6%).

Plusieurs études confirment l'effet de l'entraînement sur la reconnaissance d'images tactiles chez des enfants non-voyants. [Berla et Butterfield \(1977\)](#) ont comparé les performances de deux groupes d'enfants de 6 à 17 ans. Le premier groupe d'enfants a suivi trois sessions d'entraînement. Durant ces sessions, les participants devaient tracer une forme avec leur index puis pointer trois caractéristiques distinctives de cette forme (i.e. parties qui dépassent, parties pointues, parties qui rentrent vers l'intérieur, parties qui sont incurvées). Le deuxième groupe n'a suivi aucun entraînement. Ces enfants devaient ensuite reconnaître une forme en relief parmi quatre autres. Pour cette tâche, le pourcentage de bonnes réponses chez le groupe d'enfants entraînés était plus important que pour le groupe d'enfants novices (entraînés = 57.8%, novices = 43.8%).

[D'Anguilli et Waraich \(2002\)](#), ont demandé à des enfants voyants, non-voyants et malvoyants de reconnaître des images tactiles. Les enfants voyants étaient séparés en deux groupes : un groupe était guidé durant l'exploration tactile (le doigt de l'enfant était déplacé sur l'image) et l'autre explorait librement. Dans cette étude, les enfants non-voyants avaient de meilleures performances que tous les autres groupes et les enfants voyants sans guidage montraient les plus mauvaises performances (respectivement : 57% et 10%). Les performances des enfants voyants avec guidage étaient moins bonnes que celles des enfants non-voyants mais meilleures que celles des enfants malvoyants (respectivement : 35% et 29%). Selon les auteurs,

les enfants non-voyants auraient de meilleures stratégies d'exploration haptique car ils sont fréquemment exposés et entraînés à l'exploration de matériel en relief. Les enfants malvoyants auraient également une certaine compétence dans l'exploration tactile car ils utilisent le toucher pour compenser leur faible de vision. Les enfants voyants n'auraient pas appris de stratégies d'exploration efficaces ce qui explique leurs plus mauvaises performances dans la tâche. Cependant, lorsque ces enfants reçoivent un guidage durant l'exploration, leurs performances s'améliorent et deviennent meilleures que celles des enfants malvoyants.

Dans une seconde partie de l'étude, [D'Anguilli et Waraich \(2002\)](#) ont de nouveau demandé aux enfants de reconnaître les images. Le groupe d'enfants voyants guidés lors de la première partie de l'étude ne l'était plus pour cette seconde partie. Les chercheurs ont observé une amélioration des performances pour tous les groupes d'enfant par rapport à la première tâche de reconnaissance. La familiarité avec le matériel tactile proposé permet donc d'améliorer les performances de reconnaissance. De plus, les performances des enfants non-voyants, malvoyants et des enfants voyants ayant reçu un guidage lors de la première partie sont similaires tandis que les performances des enfants voyants sans guidage sont restées les plus faibles. Il semble donc que le guidage reçu lors de la première partie de l'étude ait permis aux enfants voyants d'apprendre des stratégies d'exploration efficaces et de les appliquer dans la seconde partie de l'étude.

Une récente étude confirme l'effet de l'expérience sur la reconnaissance d'images tactile chez des enfants non-voyants précoces ([Theurel et al., 2013](#)). Dans cette étude, les enfants ayant un degré de pratique de lecture de livres tactiles modéré à régulier ont mieux reconnu les images tactiles que les enfants ayant un niveau de pratique tactile peu fréquent, voire absent (42% vs. 27%). Des résultats similaires ont été observés dans l'étude de [Orlandi \(2015\)](#) avec des enfants voyants, non-voyants et malvoyants. Les débutants produisaient significativement moins de

reconnaitances correctes que les enfants intermédiaires et les enfants expérimentés (respectivement 36.8 %, 65.1 % et 80.7 %).

La familiarité des personnes non-voyantes avec le contenu tactile leur permet donc de développer des stratégies d'exploration efficaces pour la reconnaissance d'images tactiles. Cette compétence haptique peut expliquer les meilleures performances des personnes non-voyantes dans certaines études. De plus, les personnes non-voyantes tardives bénéficient d'une certaine compétence haptique combinée à une expérience visuelle qui peut expliquer leurs meilleures performances (Heller, 1989a).

5.2.4. *L'accès au nom de l'objet*

Peu de travaux se sont intéressés à l'apport d'indices sémantiques sur l'identification des images en relief auprès d'adultes. Dans plupart des études les auteurs interprètent une réponse erronée (ou l'absence de réponse) pour l'identification d'une image tactile comme étant liée à une difficulté à percevoir cette image. Cependant, l'identification d'images implique également la récupération du nom de l'objet en mémoire et donc un accès à la représentation verbale de l'objet. Une réponse erronée peut donc également être interprétée comme une incapacité à accéder à la mémoire sémantique pour récupérer le nom de l'objet.

Heller (1989a), a comparé les performances d'adultes voyants travaillant sans voir, de non-voyants précoces et de non-voyants tardifs dans deux tâches d'identification d'images tactiles : la première sans aucun indice et la seconde en donnant la liste des mots à reconnaître aux participants. Dans cette étude, le fait de donner la liste de mots a amélioré la reconnaissance des images (non-voyants tardifs : sans indice = 36%, avec indice = 82%, voyants : sans indice = 13%, avec indice = 60%, non-voyants précoces : sans indice = 9%, avec indice = 49%).

Heller et al. (1996) ont ensuite mené plusieurs expérimentations afin d'évaluer l'effet de l'accès au nom de l'image sur l'identification d'images avec contour en relief. Dans une première expérimentation, des participants voyants travaillant sans voir devaient reconnaître des images tactiles selon deux conditions : sans information ou après avoir été informés de la catégorie sémantique de l'objet qu'ils allaient toucher (e.g. fruit, meuble). Les participants ayant été informés de la catégorie ont montré de meilleures performances (taux de reconnaissance = 25%) que les participants n'ayant reçu aucune information supplémentaire (taux de reconnaissance = 63%). Cependant il est possible que le fait de donner l'information sémantique ait guidé l'exploration haptique.

Dans une deuxième expérimentation, les auteurs ont comparé les performances de participants voyants travaillant sans voir lorsque l'information sur la catégorie sémantique est donnée avant ou directement après l'exploration. Les performances entre les deux groupes étaient similaires lorsque l'information sur la catégorie était donnée avant l'exploration (taux de reconnaissance = 53%) ou après l'exploration (taux de reconnaissance = 58%). Le fait que l'information sémantique ait pu guider l'exploration haptique ne semble donc pas pouvoir expliquer les résultats.

Dans une troisième expérience, les auteurs ont demandé aux participants de retrouver une image parmi trois de catégorie sémantique identique (e.g. les auteurs présentaient l'image d'une pomme, d'une banane et d'une fraise et les participants avaient pour consigne de trouver la pomme). Cette tâche était réalisée selon deux conditions : indication de la catégorie sémantique avant la recherche ou aucune d'information. Les performances entre les deux groupes étaient similaires lorsque l'information sur la catégorie sémantique était donnée (taux de reconnaissance = 87%) ou non (taux de reconnaissance = 84%). Ces résultats montrent que ce n'est pas l'accès à la catégorie de mot en elle-même qui permet une meilleure reconnaissance. L'accès à la catégorie permettrait simplement d'aider à la récupération en

mémoire par amorçage sémantique et en limitant les possibilités. En effet, lorsque le nom de l'objet est indiqué, l'accès à l'information sur la catégorie sémantique n'a plus d'effet sur la reconnaissance.

Dans une dernière expérience, les auteurs proposent d'étudier l'effet du statut visuel (non-voyants tardifs, non-voyant précoces ou voyants) sur la reconnaissance lorsque la catégorie sémantique de l'objet est indiquée avant l'exploration. Dans cette expérience, les chercheurs n'ont pas observé de différence significative entre les participants non-voyants tardifs (taux de reconnaissance = 71%) et voyants (taux de reconnaissance = 57%). Cependant, les performances des participants non-voyants précoces étaient inférieures à celles des deux autres groupes (taux de reconnaissance = 37%). Un effet significatif de l'interaction entre le type d'image et le statut visuel a été observé. Les participants non-voyants précoces avaient des performances similaires aux deux autres groupes pour les images de véhicules ou de fruit. Cependant, ils ont montré plus de difficultés dans l'identification de meubles et de parties du corps. Par exemple le dessin de la lampe n'a été reconnu par aucun des participants non-voyants tardifs. Il est très probable que les personnes non-voyantes aient une expérience limitée de l'objet lampe qu'ils n'utiliseraient que très peu.

[Kalia et Sinha \(2011\)](#) demandent à des participants voyants ayant une compétence en dessin d'identifier des images tactiles en contours en relief par le toucher uniquement puis de dessiner la forme perçue. Les dessins sont classés en trois catégories : incohérents, cohérents mais inexacts (les dessins produits correspondent à la réponse donnée par les participants par mais celle-ci n'est pas la bonne : par exemple un oiseau pour la feuille) et cohérent et exacts ([Figure 11](#)). Les participants ont reconnu 56% des dessins. Lorsque les dessins n'ont pas été reconnus les participants ont produit 46% de dessins incohérents, 27% de cohérents et incorrects et 27% de dessins cohérents et exacts. Il semble donc que 56% des erreurs soient liées à une

incapacité à percevoir la forme globale de l'objet. Cependant, dans 27% des cas, les participants ont bien perçu la forme de l'objet mais n'ont pas réussi à le nommer.

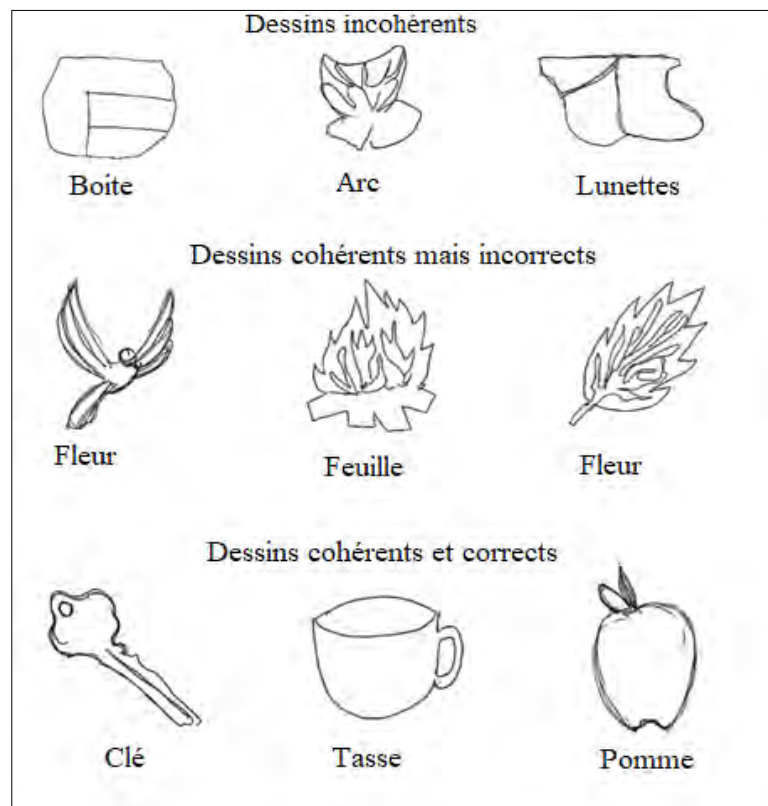


Figure 11 : Exemple de dessins produits dans l'étude de Kalia & Sinha (2011)

Toutes ces études semblent montrer que l'accès au nom de l'objet joue un rôle non négligeable dans la reconnaissance des images tactiles. Chez les enfants non-voyants, il semble que l'indication sur la catégorie sémantique ne soit pas suffisante pour permettre une bonne reconnaissance des images. En effet les taux de reconnaissance observés dans les études oscillent autour de 40% pour les groupes d'enfants voyants, 30% pour les groupes d'enfants non-voyants et 50% pour les groupes d'enfants déficients visuels.

[Orlandi \(2015\)](#) a comparé la reconnaissance d'images tactiles d'une scène de livre avec et sans histoire chez des enfants avec une déficience visuelle et des enfants voyants travaillant sans voir. Dans le contexte du livre tactile illustré, la reconnaissance des images est

contextuelle. En effet, les images tactiles sont liées à l'histoire et aux personnages. La reconnaissance des images est donc guidée sémantiquement par l'histoire. L'auteure observe un effet significatif de l'histoire sur le taux de reconnaissance des images (voyants : sans histoire = 40%, avec histoire = 65%, déficients visuels : sans histoire = 50%, avec histoire = 80%). Il semble donc qu'avec un guidage sémantique plus important, les enfants peuvent reconnaître les images avec des performances équivalentes à celles des adultes.

Toutes ces études observent un effet du processus d'accès au nom de l'objet sur la reconnaissance des images tactiles. Dans certains cas, les participants arrivent à traiter la forme de l'objet mais pas à faire le lien entre cette forme et un objet connu. Les résultats divergents des études pourraient donc s'expliquer par un accès plus ou moins facile au nom de l'objet.

5.2.5. *Le type d'image*

Il existe différentes techniques d'illustrations qui mènent à des taux d'identification différents. Certains chercheurs ont comparé des techniques d'illustration « classiques » telles que les images en contours en relief, les images pleines, les images avec plusieurs niveaux de relief et les images texturées (voir [Partie 4.1 Figure 9](#))

5.2.5.1. Les images avec contours et pleines

[Thompson et al. \(2003\)](#) ont demandé à un groupe de participants voyants travaillant sans voir de reconnaître des images avec contours en relief et des images pleines. Dans cette étude, le taux d'identification des images pleines était meilleur que celui des images avec contours en relief (57% vs. 68%). Les images pleines peuvent permettre d'éviter la mise en place d'un processus déductif de remplissage de zones délimitées par les contours de l'image ([Arnheim, 1976](#)) et d'éviter les éventuelles confusions entre le fond et la forme.

5.2.5.2. *Les images avec contours, à plusieurs niveaux de relief et texturées*

Theurel et al. (2013) ont comparé des images en contours en relief, des images à plusieurs niveaux de relief et des images texturées. Dans cette étude, les images texturées ont été mieux reconnues que les deux autres types d'image (texture = 35.87%, plusieurs niveaux de relief = 29.89%, contours en relief = 27.17%). Les images texturées permettent de limiter les confusions entre le contour de la forme et d'éviter les processus de déduction (Arnheim, 1976) tout comme les images pleines présentées dans l'étude de Thompson et al. (2003). Cependant, les images texturées ont un avantage comparé aux images pleines ou à plusieurs niveaux en relief. : elles permettent de faire un lien avec les vraies propriétés matérielles des objets (e.g. de la fourrure pour représenter les poils d'un animal). La possibilité de faire un lien avec des caractéristiques matérielles de l'objet peut donc expliquer les meilleurs taux de reconnaissance liés à l'utilisation de ce type d'image. Nous discuterons de ces résultats plus en détail dans le [Chapitre 2](#).

Malheureusement, dans de nombreuses illustrations texturées présentes dans des livres, l'utilisation de la texture n'est présente que pour « colorier les différentes parties de l'image sans explorer les rapports significatifs entre ces textures et les propriétés matérielles réelles des objets » (Valente & Gentaz, 2019 p162) alors que Vinter et al. (2019) ont confirmé l'importance de la congruence entre texture utilisée et caractéristique de l'objet pour la compréhension des illustrations par les enfants.

La [Figure 12](#) présente un exemple de ce « coloriage » tactile : à l'exception de la texture en bois pour le tronc de l'arbre aucune des textures n'est utilisée pour sa pertinence par rapport aux caractéristiques matérielles de l'objet représenté.



Figure 12 : Exemple d'illustration d'un « coloriage tactile » selon Valente et Gentaz (2019)

Ces recherches montrent que la technique d'illustration classique qui mène au meilleur taux de reconnaissance est l'image texturée. Cependant, de nouvelles formes d'illustration proposées par des chercheurs ont montré de meilleurs taux de reconnaissance que les images texturées. Ces illustrations sont peu utilisées dans les livres du commerce mais font l'objet de nouvelles créations en collaboration avec les chercheurs impliqués.

5.2.5.3. *Les objets miniatures*

Bara, (2014) et Bara, Gentaz, et Valente (2018) ont étudié l'utilisation d'objets miniatures. Dans une première étude, Bara (2014) a observé les procédures d'exploration mises en place par des enfants de 5 à 8 ans lors de la lecture d'un livre illustré par un adulte. Ce livre était illustré selon deux critères : des images texturées et des objets miniatures collés à la feuille ou pouvant être déplacés au fil des pages. Dans cette étude, les enfants utilisaient plus de procédures exploratoires avec les objets miniatures comparé aux images texturées. Ces résultats suggèrent que les enfants sont capables d'extraire plus d'informations avec des objets miniatures par rapport à des images texturées. De plus, avec les objets miniatures les enfants produisent plus de procédures d'exploration liées au contenu du texte (e.g. utilisation de la procédure de pression sur le lit quand le texte parle d'un matelas mou).

Dans une seconde étude, [Bara et al. \(2018\)](#) ont observé l'effet de la présence et du type d'illustration (images texturées ou objets miniatures) sur le nombre d'interactions avec l'adulte racontant l'histoire. Lorsqu'aucune illustration n'était proposée aux enfants, ces derniers avaient tendance à écouter l'histoire sans poser de questions. Lorsque des illustrations (images texturées ou objets miniatures) étaient proposées, les enfants étaient plus actifs et faisaient des commentaires pendant qu'ils exploraient les images ou bien réalisaient les actions de l'histoire avec les personnages miniatures. Les enfants ont pu identifier correctement les images texturées et les objets miniatures. Cependant, dans le cas des images texturées certaines illustrations tactiles n'étaient pas comprises et les enfants ont interrogé le lecteur sur le lien entre le contenu du texte et l'illustration. Les objets miniatures ont été bien reconnus dans l'ensemble, les enfants ont mimé les actions des objets ou des personnages.

5.2.5.4. *Les illustrations engageant les simulation d'action*

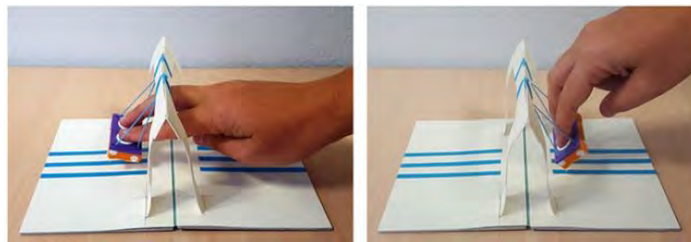
[Valente et Gentaz \(2019\)](#) ont proposé d'utiliser des illustrations engageant les simulation d'action via les gestes des doigts. Dans le cas de la représentation d'escalier, l'image tactile classique représente la forme globale de l'escalier et l'image basée sur la simulation propose à l'enfant de monter les escaliers avec ses doigts ([Figure 13](#)). Ces images permettent de se baser sur des représentations communes entre personnes voyantes et non-voyantes.



Figure 13 : Exemple d'illustration tactile classique et d'illustration engageant des manipulations extrait de [Valente et Gentaz \(2019\)](#)

Valente, Palama, Malsert, Bolens et Gentaz (2019) ont montré que des personnes voyantes étaient capables de reconnaître les simulations d'actions avec les doigts (*e.g.* monter des marches, pédaler) produites par des personnes non-voyantes précoces et tardives.

Dans une seconde étude Valente, Palama et Gentaz (2021) ont proposé à des enfants de 6 à 12 ans non-voyants précoces et voyants travaillant sans voir d'identifier 7 illustrations engageant des simulations d'actions avec les doigts (illustrations tirées de Valente et al., 2019). Le taux d'identification moyen était d'environ 67% (allant de 15% à 100%) et aucun effet du statut visuel n'a été observé. Dans une seconde partie de l'étude, les auteures proposent à un autre groupe d'enfants de la même tranche d'âge non-voyants précoces et voyants travaillant sans voir d'identifier les 7 mêmes objets illustrés en texture (Figure 14). Dans cette expérience, les performances des enfants (voyants ou non-voyants) étaient inférieures à celle des enfants devant identifier les objets avec des stimulations d'actions. De plus, les enfants non-voyants ont montré de meilleures performances que les enfants voyants. Ces résultats peuvent démontrer une certaine compétence haptique des enfants non-voyants inclus dans l'étude qui manipulaient régulièrement des images tactiles.



Balanoire en illustration engageant la simulation d'action via les gestes des doigts



Balanoire en texture

Figure 14 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Valente et al. 2021

La technique d'illustration a donc un effet sur le taux de reconnaissance des images tactiles. Chaque technique présente des avantages et des inconvénients et peut être plus ou moins adaptée selon le contexte d'utilisation. La technique du thermogonflage permettant de créer des images en contours ou pleines est rapide et peu coûteuse mais ne donne accès qu'à un seul niveau de relief. De plus, à force d'être manipulées le relief des images peut se « tasser » et devenir plus difficile à percevoir. La technique du thermoformage permet de faire apparaître plusieurs niveaux de relief et des textures lorsque la texture de l'objet moulé est particulièrement saillante. Cependant, cette technique demande la préparation d'une matrice pour faire le moulage, ce qui demande beaucoup de temps. De plus, l'image peut être particulièrement épaisse selon la taille de l'objet qui a été moulé. Les images texturées permettent l'utilisation de textures qui peuvent être directement issues de l'objet à représenter (*e.g.* du tissu pour un tee-shirt). Ce type d'illustration est mieux reconnu par les enfants que les images en contours ou avec plusieurs niveaux de relief (Theurel et al., 2013). Cependant, la création de ce type d'image prend du temps et demande beaucoup de matériel. De plus, ces images sont moins robustes. À force d'être manipulées les textures peuvent s'abîmer ou se décoller. L'utilisation d'objets miniatures permet aux enfants de mieux comprendre les images (Bara et al., 2018). Cependant, l'utilisation d'objets miniatures rend le livre coûteux et extrêmement encombrant. De plus, l'utilisation de personnages n'étant pas attachés au livre peut entraîner leur perte lorsque le livre est manipulé de nombreuses fois. Enfin, les images basées sur la manipulation semblent être un bon moyen d'illustrer un livre tactile. Cependant, tous les objets ne permettent pas de proposer une image basée sur la manipulation. Il semble compliqué de représenter les différents personnages de l'histoire lorsque les actions sont générées par l'enfant lui-même. De plus, ces images à manipuler sont difficiles à produire et peuvent être fragiles.

En résumé

Les taux d'identification des images tactiles observés dans la littérature sont particulièrement faibles et semblent divergents chez les enfants et les adultes. Il existe différentes hypothèses dans la littérature permettant d'expliquer ces résultats :

- L'expérience visuelle : [Lederman et al. \(1990\)](#) proposent un modèle de la médiation visuelle qui nécessiterait la traduction des informations tactiles en image visuelle et placerait l'imagerie visuelle au centre de l'identification haptique. Un déficit d'imagerie visuelle lié à la perte de la vision pourrait donc détériorer l'identification.
- L'utilisation de conventions visuelles : le passage de la 3D à la 2D implique des déformations de l'objet et la présence de perspective ou d'occultation. Ces conventions visuelles, apprises par les personnes voyantes sont difficiles à comprendre pour des personnes n'ayant jamais eu accès à la vision.
- L'expérience haptique : la familiarité des personnes non-voyantes avec le contenu tactile leur permet de développer des stratégies d'exploration plus efficaces pour la reconnaissance d'images tactiles.
- La nécessité d'accéder au nom de l'objet : Dans certains cas, les participants arrivent à traiter la forme de l'objet mais pas à faire le lien entre cette forme et un objet connu.
- Le type d'image utilisé : il existe également différentes techniques d'illustration qui mènent à des taux d'identification différents. Chaque technique présente des avantages et des inconvénients et peut être plus ou moins adaptée selon le contexte d'utilisation.

6. Le livre tactile

6.1. Le développement de la conscience de l'écrit

La conscience de l'écrit fait référence à un ensemble de connaissances que l'enfant possède sur la langue écrite avant même de savoir lire (Giasson & Thériault, 1983). Selon ces chercheuses, la conscience de l'écrit se résume en quatre axes principaux : (i) connaître l'existence de la lecture (i.e. savoir qu'il existe un processus qui s'appelle « lecture » et qui consiste à établir une relation entre le langage oral et des signes graphiques), (ii) connaître les fonctions de l'écrit, (iii) connaître les conventions de l'écrit (e.g. lecture se fait de gauche à droite et de haut en bas), (iv) connaître les concepts de lettre, de mot et de phrase.

Ces connaissances se développent de façon informelle, lors d'activités liées à la lecture, à la maison, à la garderie ou à la crèche (Yaden et al., 1999). Toutefois, les enfants non-voyants n'ont pas accès à des livres illustrés comme les voyants. Le travail des transpositeurs et éditeurs pour créer des livres tactiles est particulièrement chronophage et coûteux (Lewi-Dumont, 2016). De ce fait il y en a très peu sur le marché et certains enfants peuvent entrer à l'école sans jamais avoir eu accès à un livre (Claudet, 2014). Les enfants non-voyants n'arrivent donc pas avec le même bagage de connaissances que les enfants voyants (Chelin, 1999; Comtois, 1997; Koenig & Holbrook, 2000; Lewi-Dumont, 1997; Swenson, 1988). Le peu d'expériences qu'ils ont en communication écrite limite l'acquisition de compétences émergentes (Wormsley, 2003) et certains enfants n'ont pas encore compris la relation entre le langage parlé et le langage écrit en arrivant à l'école (Swenson, 1988). Le développement de la conscience de l'écrit nécessite chez les enfants non-voyants une intervention spécifique (Chelin, 1999; Comtois, 1997; Drezek, 1999; Koenig & Farrenkopf, 1997; Koenig & Holbrook, 2000; Lewi-Dumont, 1997; McGregor & Farrenkopf, 2002; D. Miller, 1985; Russotti, Shaw, & Spungin, 2004; Stratton & Wright, 1991; A. Swenson, 2003). Les performances en lecture des enfants sont en partie

influencées par les conceptions qu'ils ont de l'acte de lire avant tout apprentissage structuré (Lewi-Dumont, 1997). Il est donc important que les enfants non-voyants puissent avoir facilement accès à du matériel et à des outils de lecture (Chelin, 1999; Drezek, 1999; Koenig & Holbrook, 2000; Lewi-Dumont, 1997; D. Miller, 1985; A. Swenson, 2003).

La lecture à haute voix est une activité importante dans le développement de la conscience de l'écrit chez les enfants non-voyants (Chelin, 1999; Comtois, 1997; Koenig & Farrenkopf, 1997; Koenig & Holbrook, 2000; Lewi-Dumont, 1997; McGregor & Farrenkopf, 2002; D. Miller, 1985; Stratton & Wright, 1991). Dès le plus jeune âge, les enfants peuvent porter attention et apprécier les différents tons de la voix de la personne qui leur lit une histoire. Grâce à la lecture à haute voix les enfants découvrent les sons, la structure d'une phrase, les mots, le débit, les rimes et le rythme, ce qui favorise le développement des habiletés langagières nécessaires au développement de la conscience de l'écrit. Cette activité permet de prendre conscience que les symboles ont un sens, que l'histoire provient de l'écrit et de favoriser le développement d'un attrait pour la lecture (Clay, 1991; L. Gibson, 1989; Neuman & Roskos, 1997; Teale, Sulzby, & Others, 1989) La lecture à voix haute permet également une implication progressive dans la lecture. Cela commence par le simple fait de tourner les pages (Miller, 1985). Pour les enfants non-voyants certains chercheurs recommandent que les mains de l'enfant soient placées sur celles du lecteur au cours de la lecture (Koenig & Holbrook, 2000; A. Swenson, 2003). En bougeant les mains de gauche à droite tout au long de la page, l'enfant découvre que les « points » forment des lettres. Lorsque l'enfant connaît déjà l'histoire il peut terminer les phrases à la place du lecteur ou suivre seul une partie du texte avec le doigt et reconnaître la configuration braille de certains mots familiers (Koenig & Holbrook, 2000). Toutes ces premières expériences permettent à l'enfant de développer une conscience de l'écrit en intégrant le concept de livre, de lecture, de lettre, de mot et de phrase.

6.2. La compréhension orale et écrite

La compréhension peut être définie comme l'acte de construire un sens à partir d'un texte écrit ou oral (Duke & Carlisle, 2011). Pour comprendre, l'auditeur ou lecteur doit tout d'abord accéder au sens des mots, puis traiter la syntaxe de la phrase et former une cohérence locale en faisant le lien avec les phrases précédentes (Duke & Carlisle, 2011). Pour former une cohérence locale il est nécessaire de comprendre les informations présentées explicitement dans le texte mais également de comprendre les informations qui peuvent en être déduites c'est-à-dire faire des inférences (*e.g.* déduire à qui fait référence un pronom dans le texte) (Kintsch & Kintsch, 2005). Les informations qui viennent d'être mises en lien doivent ensuite être stockées en mémoire sous forme d'une représentation mentale de la situation, ou modèle mental (Johnson-Laird, 1983). Pendant la lecture, des représentations mentales sont construites de façon cyclique car l'information est continuellement traitée (Kintsch, 1998; Zwaan & Madden, 2004). Au fur et à mesure que le lecteur progresse dans le texte, le modèle mental est mis à jour. Cette mise à jour est obtenue en intégrant et en éliminant des éléments du modèle mental afin qu'il corresponde à la situation (Glenberg & Langston, 1992).

Les processus de compréhension n'ont pas été étudiés en détail chez les enfants non-voyants en partie parce que l'on suppose qu'ils sont identiques à ceux des voyants (Edmonds & Pring, 2006). La compréhension est axée sur deux processus principaux : l'accès au sens des mots et à la syntaxe des phrases et les capacités à faire des inférences. Les premiers mots appris sont souvent utilisés dans un contexte sémantique inadapté (*e.g.* utiliser le mot « chien » pour désigner tous les animaux à 4 pattes) (De Temple & Snow, 2003). Les enfants apprennent de nouveaux mots en manipulant des objets de façon conjointe avec une personne qui leur mentionne le nom de l'objet (Tomasello & Farrar, 1986). Au fur et à mesure des interactions les enfants apprennent un vocabulaire plus large. L'accès au sens des mots est plus compliqué pour les enfants non-voyants. En effet, ces derniers peuvent se construire des représentations

erronées sur des sujets très présents chez leur pairs voyants mais difficiles d'accès sans la vision (e.g. assimilation de la larve à l'insecte pour le mot papillon) (Lewi-Dumont, 2000).

Chez les enfants voyants ou non-voyants avec de faibles performances en compréhension, on observe que la capacité à répondre à des questions nécessitant de faire des inférences est plus faible que pour les enfants ayant de bonnes compétences en lecture. Cependant, les capacités à répondre à des questions sur des informations explicites du texte sont similaires (Edmonds & Pring, 2006). Les auteures ont observé ce même résultat pour des textes lus ou écoutés et n'ont pas observé de différence de performance entre les enfants voyants et non-voyants pour des questions nécessitant de faire des inférences. Les auteures n'ont pas observé de différence entre les d'enfants voyants et non-voyants pour les questions sur des informations explicites, lors de la compréhension écrite. Cependant, pour la compréhension orale, il semble que les enfants non-voyants aient de meilleures performances que les enfants voyants. Selon les auteures, les enfants non-voyants ne pouvant pas acquérir de l'information par la vision auraient plus l'habitude de traiter des informations transmises verbalement. De ce fait, les informations transmises verbalement pourraient être plus saillantes pour les enfants non-voyants que pour les enfants voyants. Dans cette étude, les groupes d'enfants non-voyants et voyants sont appariés selon leur capacité de décodage en lecture (décodage). Cependant, au niveau de l'âge chronologique, les enfants non-voyants sont plus âgés que les enfants voyants (environ 2 ans). Ce décalage est en lien avec le retard observé d'environ 2 ans dans le développement des capacités de lectures chez les enfants non-voyants (Nolan & Kederis, 1969).

6.3. Importance des images dans la compréhension de l'histoire

De nombreuses recherches avec des enfants voyants montrent que les illustrations permettent une meilleure compréhension du texte (Gambrell & Jawitz, 1993; Glenberg & Langston, 1992; Orrantia, Múñez, & Tarin, 2014; Pike, Barnes, & Barron, 2010). Peu de recherches ont été menées sur l'effet des illustrations pour la compréhension de texte chez les

enfants non-voyants. [Bara et al. \(2018\)](#) ont observé un meilleur rappel de l'histoire lors de séance de lecture à haute voix de livre avec un livre illustré par rapport aux lectures d'histoires sans illustrations. Cependant, cet effet est faible. L'auteure fait l'hypothèse que le fait de traiter des informations à la fois verbales et tactiles a pu augmenter la charge cognitive et diminuer l'effet bénéfique des images.

Différentes hypothèses sont avancées pour expliquer l'effet bénéfique des images observé dans les études chez les voyants. Tout d'abord, les enfants apprécient plus les livres illustrés et sont donc plus impliqués dans les activités de lecture ([O'keefe & Solman, 1987](#)). Cet effet est également observé avec les livres tactiles chez des enfants avec une déficience visuelle ([Bara et al., 2018](#); [Norman, 2003](#)).

L'utilisation d'images pour illustrer les informations importantes permet aux enfants de traiter deux fois l'information : sous forme d'image et de texte. Cette répétition de l'information peut améliorer le rappel ([Gyselinck & Tardieu, 1999](#); [Levie & Lentz, 1982](#)). De plus, l'illustration fournit une information imagée non verbale. Selon la théorie de double codage de Paivio ([Paivio, 1971](#)), les informations verbales et imagées sont traitées par deux canaux indépendants. Ce double traitement en parallèle peut également favoriser le rappel des informations.

L'utilisation d'images pour illustrer un texte s'inscrit également dans la théorie de l'apprentissage multimédia de [Mayer \(2014\)](#). La présentation de mots et d'images permet de construire des modèles mentaux verbaux et imagés et de créer des liens entre eux. Lorsque le texte seul est présenté, les lecteurs doivent construire un modèle mental imagé à partir d'informations verbales uniquement ce qui demande plus d'effort.

Les images peuvent donc faciliter le processus de construction du modèle mental ([Glenberg & Langston, 1992](#)) qui est crucial dans la compréhension des textes ([Fang, 1996](#);

Glenberg, Meyer, & Lindem, 1987; Trabasso & Suh, 1993). Les lecteurs s'appuient sur des indices contextuels pour déterminer quelles informations doivent être ajoutées ou supprimées du modèle au fur et à mesure de la lecture (Ackerman, 1988; Gernsbacher, Varner, & Faust, 1990). Les illustrations font partie de ces indices, en particulier pour les jeunes lecteurs (Glenberg & Langston, 1992; Gyselinck & Tardieu, 1999) qui dépendent davantage du contexte pour traiter des informations du texte (Ackerman, 1988; Cain, Oakhill, Barnes, & Bryant, 2001). Les jeunes lecteurs sont capables de connecter les informations nécessaires pour maintenir la cohérence locale du texte, notamment les informations qui relient les causes à leurs effets immédiats (Casteel, 1993). Cependant, ils n'associent pas systématiquement des informations distantes dans le texte comme le font des lecteurs plus expérimentés (*e.g.* faire le lien entre le pronom « il » et le personnage auquel il fait référence) (Cain et al., 2001; van der Schoot, Reijntjes, & van Lieshout, 2012). La capacité à établir ce type de connexion atteint celle de bons lecteurs à la fin de l'école élémentaire (den Broek, Lynch, Naslund, Ievers-Landis, & Verduin, 2003; Trabasso & Nickels, 1992).

L'utilisation des illustrations dans la production de représentations mentales est donc importante pour les jeunes lecteurs (Orrantia et al., 2014; Pike et al., 2010). En effet, la nécessité de faire le lien entre des informations distantes dans le texte peut impliquer une demande en mémoire de travail trop importante pour les jeunes enfants. Les illustrations peuvent les aider à intégrer et à réactiver les informations pertinentes (Orrantia et al., 2014). De plus, les illustrations rendent la relation entre les informations du texte plus évidente (*e.g.* l'image peut illustrer la relation entre deux personnages faisant une action, on rappelle alors les deux personnages impliqués dans la scène et l'action qu'ils sont en train de mener) (Gyselinck & Tardieu, 1999). La mise en évidence des relations entre les informations du texte peut réduire les exigences en mémoire de travail lors de la lecture de texte (Marcus, Cooper, & Sweller, 1996).

Cependant, il faut être précis dans le choix des illustrations. Une illustration incohérente avec le texte peut perturber les enfants (Pike et al., 2010). De plus des enfants ayant une faible capacité de mémoire de travail peuvent ne pas ressentir les effets bénéfiques des illustrations (Pike et al., 2010). En effet, l'intégration des informations imagées demande tout de même un traitement par la mémoire de travail. Selon le principe de cohérence de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014), seul le concept clé doit apparaître dans l'image.

6.4. Le livre tactile en France et dans le monde

Le livre d'Yvonne Eriksson (2008) retrace l'histoire des images et du livre tactile dans le monde. Pendant de nombreuses années la création de livres tactile dépendait d'initiatives ponctuelles menées par des professionnels travaillant dans des instituts spécialisés. Ces personnes faisaient face à d'importantes difficultés pour produire les images que ce soit d'un point de vue financier ou institutionnel (Claudet, 2014).

On observe au XIXe siècle la naissance d'instituts pour aveugles dans toute l'Europe et aux Etats-Unis. Le premier livre tactile illustré publié en série date de 1918 (*A toy boy with imitation of verse*) aux Etats-Unis. A l'époque, les illustrations étaient très majoritairement utilisées à des fins pédagogiques.

Selon Claudet (2014), on peut attribuer à l'intégration scolaire en école ordinaire dans les années 1980 le début du livre tactile illustré moderne. En effet, la rencontre des deux communautés d'enfants voyants et déficients visuels fait remonter un manque évident en matière d'accès à la lecture chez les enfants avec une déficience visuelle. Les premiers livres tactiles illustrés par les éditeurs Four & Chardon sont alors édités en France.

La plupart des concepteurs, des parents ou enseignants, ont avancé dans une démarche empirique pour la création d'images tactiles sans formation préalable (Claudet, 2014). Les images tactiles étaient de simples mises en relief d'images pour voyants sans travail

d'adaptation. Ce sont des images qui « parlaient la langue de l'œil mais pas la langue des doigts » (Pierre, 1914) et sont également qualifiés de « coloriage tactile » (Valente & Gentaz, 2019).

En 1992, l'ouvrage *Tactile Graphics* de Polly Edman (Edman, 1992) permet pour la première fois de définir à grande échelle les composants du livre tactile illustré et de proposer des conseils pour leur conception. Dès les années 1990 en France, les ministères de la Culture et de l'Éducation ont mené des actions déterminantes permettant de soutenir les structures produisant des livres tactiles et d'aider les bibliothèques à se les fournir. C'est dans ce contexte qu'a été créée l'association Les Doigts Qui Rêvent (LDQR) en 1992. À l'époque l'association était constituée de 4 personnes ; elle est actuellement leader sur le marché du livre tactile français. Une équipe de 20 personnes produit chaque année huit à douze titres pour environ 3000 à 4000 exemplaires vendus.

En 1992, LDQR organise la première rencontre internationale sur le livre tactile illustré. On y fait alors la distinction entre les images tactiles éducatives et scolaires et images tactiles de littérature jeunesse. L'année suivante, la maison d'édition permet de lancer le concours européen de livre tactile *Typhlo & Tactus* auquel plus de 16 pays participent. Chaque année, ce concours donne un état des lieux de la création de livres tactiles en Europe et de l'évolution des techniques d'illustration. L'association International Board on Books for Young children (IBBY) organise également chaque année un concours international dont l'une des catégories « Outstanding Books » récompense des livres adaptés, accessibles ou parlant du handicap. Enfin, très récemment, « Mes mains En Or », une deuxième association française d'édition de livres tactiles a été créée. Il existe aujourd'hui une communauté de chercheurs et de professionnels se réunissant chaque année autour de journées d'études, colloques ou conférences afin de mettre en commun et partager les résultats de recherche et l'expérience de professionnels dans le domaine du livre tactile.

En résumé

Les livres illustrés occupent une place particulière dans le développement de la littéracie précoce des enfants. De plus, bien que peu de recherches aient été menées avec des enfants non-voyants, de nombreuses recherches avec des enfants voyants montrent que les illustrations permettent une meilleure compréhension du texte.

La création d'images tactiles prend du temps et repose sur un savoir-faire spécifique. Peu de ces livres sont disponibles et certains enfants peuvent entrer à l'école sans jamais avoir eu accès à un livre (Claudet, 2014). Ces différences d'accès à des livres font remonter la question des différences de compétences et connaissances qu'un enfant non-voyant se constitue avant l'apprentissage de la lecture et de son accès à la lecture pendant son apprentissage par rapport à un camarade voyant. Cependant, les domaines de la recherche et de l'édition de livre tactile restent en constante évolution et les contenus tactiles sont de plus en plus nombreux et accessibles.

7. L'utilisation de nouvelles technologies pour illustrer les livres tactiles : les dispositifs à écran déformable

7.1. Les tablettes à écran déformable

Les livres tactiles illustrés sont particulièrement encombrants du fait de leur mise en relief. L'utilisation de nouvelles technologies pourrait offrir la possibilité de créer plusieurs illustrations pour plusieurs livres avec le même dispositif. Les enfants n'auraient qu'à brancher la tablette pour obtenir les illustrations d'un livre. La tablette se mettrait à jour lorsque l'enfant tourne les pages et les personnages pourraient apparaître et disparaître au fil des pages et de

l'histoire. De plus, les enfants, les enseignants ou les parents pourraient créer leurs propres images facilement à l'aide d'un logiciel associé.

Dans le cadre de ces travaux de doctorat, nous nous sommes concentrée sur les tablettes à picots rétractables (« *pin-array technology* »). Ces tablettes sont basées sur des matrices de picots qui montent et descendent dynamiquement en fonction du contenu à afficher (Figure 15).

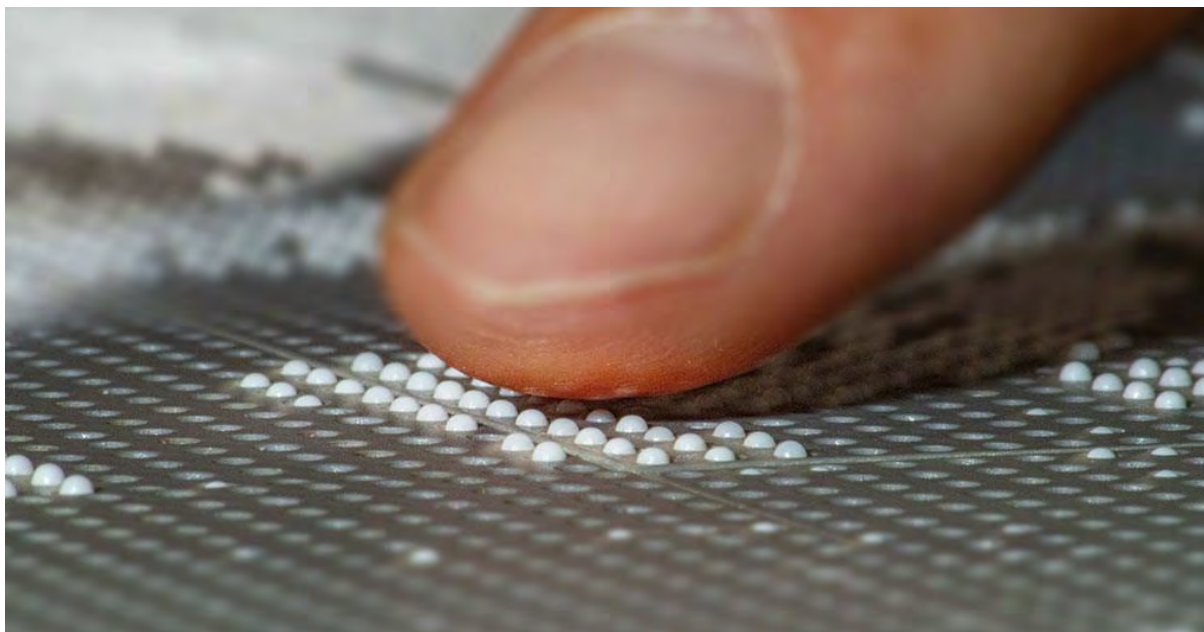


Figure 15 : Tablette "Hyperbraille" Photo: Ernst Kaczynski.

7.2. Utilisation de tablettes à picots rétractables

La reconnaissance d'images tactiles d'objets communs (*e.g.* bouteille, pomme, main, poisson, fourchette) sur une matrice de picots rétractables a été étudiée par Shimizu, Saida et Shimura (1993) avec des adultes voyants et non-voyants (tardifs et précoces). Les chercheurs ont proposé deux arrangements de picots (1827 picots de 2.75 mm espacés de 3mm picots soit une matrice d'environ 43x43 et 3927 picots de 1.75mm espacés de 2mm soit une matrice d'environ 63x63 picots). Ils n'ont observé aucune différence significative entre ces arrangements. Les auteurs ont également comparé des images pleines et en contours (Figure

16). Les formes pleines ont été mieux reconnues que les formes en contours (respectivement : taux de reconnaissance moyen = 83,66% vs 85,8%).

Les taux de reconnaissance dans cette étude étaient élevés et montraient un effet du statut visuel. Les participants non-voyants tardifs et voyants ont montré de meilleures performances que les participants non-voyants précoces (taux de reconnaissance moyen respectifs = 88%, 96,75%, 66,4%).

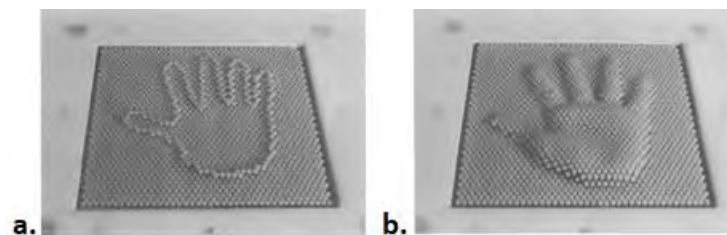


Figure 16 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Shimizu et al. (1993)

Il semble donc que la reconnaissance d'images tactiles affichées sur une matrice à picot soit possible. Cependant, le dispositif utilisé dans cette étude ne présentait aucune technologie électronique et les picots étaient déplacés manuellement.

Depuis, différentes tablettes dynamiques à picot rétractables ont été développées. Cependant, du fait de contraintes technologiques ces tablettes présentent des résolutions (taille des points et espace entre les points) différentes pouvant être faibles.

Plusieurs chercheurs ont observé les taux et temps de reconnaissance de formes plus ou moins complexes affichées sur des tablettes dynamiques à picots rétractables. Les résultats et stimuli utilisés dans ces études sont résumés dans le [Tableau 4](#).

[Bellik et Clavel \(2017\)](#) ont utilisé un dispositif proposant une matrice de 60x60 picots de 1 mm espacés de 1,5 mm avec des participants voyants. Dans cette étude, les participants devaient reconnaître des formes géométriques simples ([Figure 17](#)). Toutes les formes sont

particulièrement bien reconnues. Cependant, les participants ont tendance à reconnaître les croix, les carrés les triangles à angle droit plus rapidement que les triangles simples, les losanges et les cercles.



Figure 17 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Bellik et Clavel (2017)

Velazquez, Pissaloux, Hafez, et Szewczyk (2008), ont utilisé un dispositif constitué d'une matrice de 8x8 picots de 1 mm espacés de 2.5 mm avec des adultes travaillant sans voir. Dans leur étude, les participants devaient reconnaître des formes géométriques simples en contours ou pleines (Figure 18). Il semble que les formes pleines aient été moins bien reconnues et explorées plus longtemps que les formes avec contours. Ce résultat va à l'encontre de l'étude de Shimizu et al. (1993) qui observent que les images pleines sont mieux reconnues que les images en contours. Cependant, la moyenne du taux de reconnaissance a pu être largement influencée par les performances sur le cercle plein qui a été confondu pour le carré plein par tous les participants.

Dans un second temps, les participants devaient toucher des formes plus complexes puis les dessiner sur papier. Les dessins étaient assez similaires aux formes touchées (Figure 19).

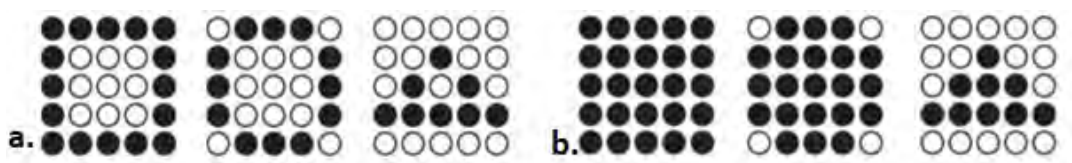


Figure 18 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Velazquez et al. (2008)

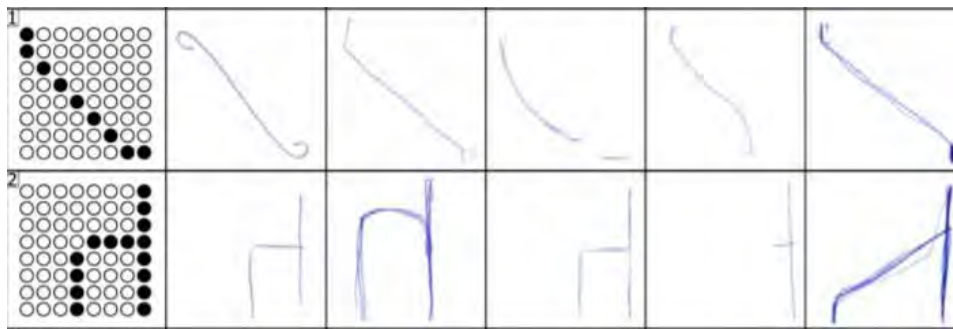


Figure 19 : Exemple de dessins produits dans l'étude de Velazquez et al. (2008)

Leo, Baccelliere, Waszkielewicz, Cocchi, et Brayda (2018) ont utilisé un dispositif constitué d'une matrice de 30x32 picots de 1mm espacés de 1.5mm pour afficher des symboles tactiles selon deux conditions : des symboles créés sur une matrice de 3x3 ou de 4x4 picots (Figure 20). L'étude incluait des participants voyants travaillant sans voir, non-voyants et malvoyants. Après une phase de familiarisation avec les 16 symboles tactiles, les participants devaient retrouver un symbole cible présenté en haut du dispositif parmi les 16 symboles présentés sur la partie basse du dispositif. Les participants reconnaissaient aussi bien les symboles de taille 3x3 que les symboles de taille 4x4. Tous les participant ont montré des taux de reconnaissance élevés. Cependant, les participants non-voyants et voyants ont montré de meilleures performances que les participants malvoyants. Au niveau des temps de reconnaissances, les participants non-voyants étaient plus rapides que les participants malvoyants et les voyants.

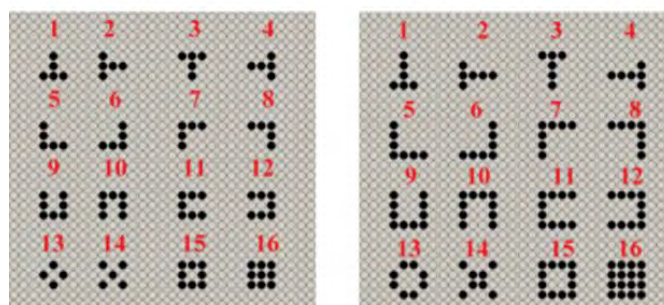


Figure 20 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Frabrizio et al. (2018)

Maucher, Meier, et Schemmel (2001) ont utilisé un dispositif proposant une matrice de cinq cellules brailles de 2x4 picots soit au total 12x4 picots de 1mm espacés de 3.21mm en largeur et 2.15mm en hauteur. L'étude incluait des participants voyants travaillant sans voir et des participants non-voyants. Dans leur étude, les formes proposées (Figure 21) ont été toutes reconnues par les participants non-voyants et voyants. Cependant, les participants non-voyants ont reconnu les formes proposées deux fois plus vite que les participants voyants.



Figure 21 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Maucher et al. (2001)

Zárate et Shea (2016) ont demandé à des participants voyants travaillant sans voir de reconnaître différentes configurations de points sur une matrice de 4x4 picots de 4 mm avec 4mm d'écartement (Figure 22). Dans cette étude, toutes les configurations ont été reconnues par les participants.

Dans une seconde étude, Zarate et al. (2017) ont observé l'utilisation de la même technologie sur une matrice de 12 x 16 picots. Les auteures ont proposé plusieurs scénarios d'utilisation complets à des participants voyants travaillant sans voir. Par exemple, l'utilisation de la tablette dans le cadre du jeu de *Pong* où les joueurs devaient déplacer une planche représentée par 3 picots surélevés pour attraper une balle représentée par un picot surélevé. Les auteurs ont également observé l'utilisation de la tablette pour représenter et naviguer dans le plan d'une chambre (Figure 23). Dans cette étude, les participants arrivaient à utiliser la tablette dans tous les scénarios proposés.

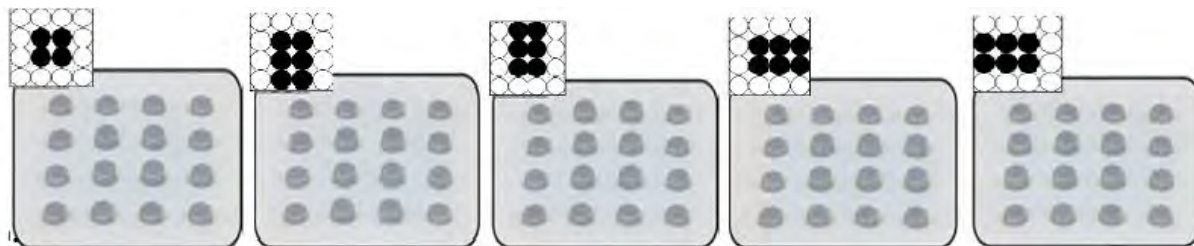


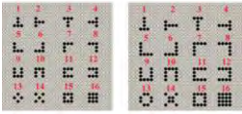


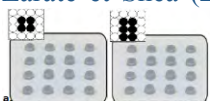


Figure 22 : Configurations proposées par Zarate et Shea (2016)



Figure 23 : Plan d'une chambre affiché sur le dispositif étudié par Zarate et al. (2017)

Tableau 4 : Etudes sur des dispositifs à picots mobiles (V : voyants, NV : non-voyants)

Etude	Design des picots			Tâche	Participants	Mesures	
	Résolution	Espace	Taille			Taux	Temps
Shimizu et al. (1993)	43x43	3 mm	2,75 mm	Reconnaissance	V NV tardifs NV précoces	97% 88% 64%	
							
Bellik et Clavel (2017)	60x60	1,5 mm	1 mm	Reconnaissance	V	88%	~5 s
							
Leo et al. (2018)	30x32	1,5mm	1mm	Appariement	NV Malvoyants V	~92% ~85% ~90%	17 s 26 s 50 s
							
Maucher et al. (2001)	12x4	1 mm	Longueur 3.21 mm Hauteur 2.15 mm	Reconnaissance	V NV	100% 100%	26 s 10 s
							
Velazquez et al. (2008)	8x8	1mm	2,5mm	Reconnaissance	V	60%	24,5 s
							
Zárate et Shea (2016)	4x4	4mm	4mm	Détection de configuration	V	100%	
							

Les performances rapportées dans ces études sont élevées pour les participants voyants, non-voyants tardifs et non-voyants précoces avec des stimuli plus ou moins complexes (taux de reconnaissance moyen = 88%). Il semble donc que ce type de dispositif puisse permettre de reconnaître la majorité des formes affichées. Cependant, les temps de reconnaissance semblent varier considérablement entre la reconnaissance de formes géométriques simples (moyenne des études = 17s allant de 4s à 30s) et les formes géométriques plus complexes (Leo et al. (2018) :

32s). Il est donc possible que l’affichage de formes plus complexes demande plus de temps de traitement (exploration et intégration) que les formes géométrique simples.

Dans les études ayant observé différentes résolutions pour afficher les images, aucune différence n’a été observée. De plus, les performances sont assez similaires entre les études qui utilisent pourtant des dispositifs avec des tailles de points et d’espaces entre les points différents.

Cependant, toutes les études présentées ont été menées avec des adultes. Il est donc nécessaire de vérifier que ce type de simili est adapté pour des enfants avec des capacités d’exploration et de mémoire de travail limitées par rapport aux adultes.

En résumé

Les nouvelles technologies sur le marché telles que les tablettes à écran déformable offrent la possibilité de créer plusieurs illustrations pour plusieurs livres avec le même dispositif. La tablette se mettrait à jour lorsque l’enfant tourne les pages et les personnages pourraient apparaître et disparaître ou se déplacer au fil des pages et de l’histoire. Les enfants n’auraient qu’à brancher la tablette pour obtenir les illustrations d’un livre. De plus, les enfants, les enseignants ou les parents pourraient facilement créer leurs propres images.

Différentes tablettes dynamiques à picot rétractables ont été développées. Chez des adultes voyants et non-voyants les taux d’identification de formes géométriques simples affichées sur des tablettes à picots rétractables sont assez élevés (entre 60% et 90%). Cependant, toutes ces études ont été menées avec des adultes et des formes géométriques simples. Si les tablettes à picots rétractables ouvrent des perspectives intéressantes, rien ne permet pour l’instant d’affirmer qu’elles pourraient être efficaces pour créer des illustrations tactiles.

8. Problématique de la thèse de doctorat et questions de recherche

8.1. Problématique

Les livres illustrés jouent un rôle dès le plus jeune âge dans le développement de la conscience de l'écrit. De plus, ils sont un objet d'échange et de partage que ce soit dans la famille, la fratrie ou à l'école. Dans un contexte d'inclusion scolaire, il est important que les enfants avec une déficience visuelle puissent profiter de livres illustrés de la même façon que leurs camarades voyants avec des images accessibles et faciles à comprendre.

Au travers de notre revue de littérature, nous avons identifié certaines problématiques pouvant entraîner des difficultés d'accès aux images dans les livres tactiles : les contraintes liées à la création des images tactiles, les spécificités du système haptique, les représentations mentales différentes en fonction du statut visuel et l'utilisation de conventions visuelles.

Le système haptique a un fonctionnement spécifique qui ne lui permet pas d'être aussi efficace que le système visuel dans le traitement de propriétés structurelles telles que la forme. En effet, le toucher est un sens de contact dont le champ perceptif est limité. Il est donc nécessaire de mettre en place une exploration mobilisant le système main-épaule. La récupération des informations est alors séquentielle et dépend de la qualité de l'exploration et de la capacité à intégrer les fragments d'informations récupérés en une représentation globale. Ce processus qui implique la mémoire de travail est particulièrement coûteux. Il est possible d'améliorer les capacités de traitement haptique avec de l'entraînement. En effet, il semble que la familiarité avec le matériel tactile influence la reconnaissance des images tactiles. Les personnes non-voyantes, plus exposées à du contenu tactile ont tendance à mettre en place une exploration haptique plus efficace que les personnes voyantes.

Cependant, la privation de la vision a un effet sur la représentation que l'on se fait du monde qui nous entoure. Les représentations mentales créées par les personnes non-voyantes et en particulier non-voyantes précoces et voyantes semblent être différentes dans leur contenu : les représentations mentales des personnes voyantes sont majoritairement visuelles tandis que les représentations mentales des personnes non-voyantes sont majoritairement basées sur leur expérience haptique. Les images tactiles sont généralement des mises en relief direct d'images créées pour des personnes voyantes. Ce type d'images contient alors des conventions purement visuelles telles que la perspective qui sont difficilement comprises par des personnes n'ayant jamais vu. De même, les normes de représentation iconographiques utilisées par les voyants peuvent ne pas être comprises par les personnes non-voyantes qui n'y sont pas exposées régulièrement.

Il existe différentes techniques d'illustration qui présentent des avantages et des inconvénients et peuvent être plus ou moins adaptées selon le contexte d'utilisation. Ce travail de doctorat avait pour but de proposer des techniques d'illustrations simplifiées qui pourraient permettre de lever certaines des difficultés que nous avons identifiées. En particulier, nous avons proposé de simplifier la forme des images afin d'améliorer la perception haptique (*e.g.* réduire les mouvements d'exploration complexe et le travail d'intégration mentale) et le processus de création des images (*e.g.* réduire le matériel utilisé et le temps nécessaire à la fabrication).

Nous nous sommes également intéressée aux nouvelles technologies permettant d'afficher des images simplifiées de type pictogrammes. Nous avons discuté des avantages et inconvénients de l'utilisation de ces dispositifs et allons proposer des conseils de conception pour ces outils.

8.2. Questions de recherche

Les recherches menées dans le cadre de cette thèse permettent de répondre aux questions suivantes : La forme est-elle nécessaire pour la reconnaissance des images dans les livres tactiles ? Des pictogrammes tactiles peuvent-ils être utilisés pour illustrer un livre tactile ? Les nouvelles technologies de type tablettes à picots rétractables peuvent-elles être utilisées pour illustrer des livres tactiles ?

Chapitre 2 : Les images en rond de texture

1 Contexte

Dans la plupart des livres illustrés les éditeurs utilisent de la texture pour concevoir les images tactiles. Les images texturées peuvent permettre de faire un lien avec les vraies propriétés matérielles des objets (*e.g.* de la fourrure pour représenter les poils d'un animal).

Theurel et al. (2013), ont observé le taux de reconnaissance d'images en contours en relief, d'images à plusieurs niveaux de relief et d'images texturées (en respectant une certaine congruence entre texture utilisée et caractéristique de l'objet) chez des enfants non-voyants de 7 à 13 ans. Dans cette étude, le taux de reconnaissance était plus élevé pour les images texturées que pour les deux autres conditions.

1.1 L'avantage des images texturées

Selon les auteurs, ce résultat peut être lié au fait que les images texturées transmettent des informations 3D plus riches que les images pleines ou avec plusieurs niveaux de relief. En effet, les différentes textures utilisées ne sont pas simplement juxtaposées les unes aux autres mais placées les unes sur les autres ce qui permet d'identifier la texture qui se trouve à l'arrière-plan ou au premier plan. Cette technique permettrait donc l'accès à des informations de profondeur qui faciliteraient la reconnaissance.

Nous pensons que la reconnaissance est également facilitée par l'utilisation d'informations matérielles de type texture. Nous proposons donc plusieurs hypothèses supplémentaires pour expliquer ce résultat : la redondance de l'information (forme et texture), l'importance de la texture dans la perception haptique, l'utilisation de procédures d'exploration

plus simples à mettre en place pour le traitement de la texture, l'utilisation du modèle de l'appréhension haptique direct pour le traitement de propriétés matérielles, et l'accès à des représentations plus proches des représentations mentales des personnes non-voyantes.

1.1.1 La redondance de l'information

Les images en forme texturées fournissent de l'information sur la forme de l'objet et sur sa texture. Les enfants ont alors accès à deux indices pour reconnaître l'image. Les images en contours, pleines ou à plusieurs niveaux de relief ne fournissent que de l'information sur la forme. De ce fait, si l'enfant n'arrive pas à extraire la forme de l'image par le toucher, il n'a accès à aucun autre indice pour faciliter la reconnaissance de cette image.

1.1.2 L'utilisation de procédures d'exploration plus simples à mettre en place

L'exploration d'une forme ou d'une texture ne fait pas appel aux mêmes mouvements d'exploration. La perception de la texture nécessite des mouvements plus simples (balayage, pression) qui sont maîtrisés très tôt par les enfants tandis que l'identification de la forme requiert la mise en place de mouvements d'explorations plus complexes (suivi de contour : [Lederman & Klatzky, 1987](#)). Ce type de mouvements nécessite de la coordination des mains et des doigts et donc un développement plus important du système moteur chez l'enfant. Lorsque la forme est complexe les mouvements de suivi de contour pourraient devenir trop compliqués à mettre en place d'où une focalisation sur la texture plutôt que sur la forme.

1.1.3 L'utilisation du modèle de l'appréhension haptique direct

Selon les modèles de traitement de l'information haptique proposés par [Lederman et al. \(1990\)](#), lorsque l'information matérielle est perçue celle-ci est traduite directement en représentation haptique : modèle de l'appréhension haptique directe.

L'utilisation de texture pourrait permettre l'utilisation du système d'appréhension haptique directe moins coûteux. Dans le modèle d'appréhension haptique direct, le système haptique est considéré comme un système perceptuel distinct. Ce système a son propre appareil physiologique et son propre mode de traitement adapté à l'intégration d'informations matérielles. De ce fait, lorsque de l'information matérielle est perçue, celle-ci est traduite directement en représentation haptique.

Cependant, les images en contours, pleines ou à plusieurs niveaux de relief ne proposent pas d'informations matérielles, et ne donnent accès qu'à des informations structurelles liées à la forme. Ces informations restreintes pourraient contraindre le système haptique à fonctionner par le biais du modèle de la médiation visuelle. L'individu doit alors extraire les segments locaux du contour par le biais de mouvement d'exploration complexes (*e.g.* suivi de contour), les intégrer sous forme de représentation unifiée, et comparer la représentation ainsi créée avec ce qu'il sait de l'objet. Cette extraction lente et séquentielle de l'information structurelle par le toucher impose une forte charge en mémoire de travail (Loomis et al., 1991).

1.1.4 Des représentations plus proches des représentations mentales des personnes non-voyantes

Les images en formes texturées pourraient également être mieux reconnues car elles sont plus proches des représentations mentales des personnes non-voyantes, et en particulier des personnes non-voyantes précoces. En effet, il semble que les représentations mentales des personnes non-voyantes soient majoritairement basées sur leurs expériences haptiques (Chapitre 1 Partie 4). L'utilisation de texture peut donc faire le lien avec leur expérience haptique et faciliter l'accès à la représentation mentale de l'objet.

1.1.5 L'importance de la texture dans la perception haptique

Lorsque des informations sur la forme et la texture sont fournies, les participants ont tendance à se concentrer sur la texture plutôt que sur la forme (**Chapitre 1 Partie 2.5**). Il est possible que l'utilisation d'images texturées permette de limiter l'utilisation de procédure d'exploration plus complexe et le travail d'intégration en se focalisant sur la texture plus que sur la forme. Il est possible que les enfants ne se basent que sur la texture sans traiter la forme lors de l'exploration des images texturées.

En résumé

L'utilisation de textures semble pouvoir contourner certaines contraintes dans la reconnaissance d'images tactiles : utilisation de mouvements d'exploration plus simples, utilisation du système d'appréhension direct et représentations plus proches de l'expérience haptique. Cependant, avec l'utilisation d'images texturées il est difficile de savoir si la texture vient comme un indice supplémentaire enrichir l'information extraite sur la forme, si c'est un indice complémentaire qui permet de mieux comprendre la forme explorée, ou si les personnes ne se basent que sur une seule dimension qui est la texture en délaissant le traitement de la forme.

2 Etude 1 : effet de la forme sur la reconnaissance des images texturées

2.1 Question de recherche

La forme est-elle nécessaire à la reconnaissance lorsque la texture est présente ?

Dans cette étude, nous avons cherché à observer l'effet de la forme figurative sur la reconnaissance des images texturées.

Si la forme figurative n'est pas nécessaire pour la reconnaissance d'images texturées, l'utilisation de textures sans forme permettrait de contourner les difficultés liées à la mise en place de mouvements d'exploration complexes, de limiter le travail d'intégration des informations en un et tout d'éviter l'utilisation de conventions visuelles ou de représentations iconographiques mal comprises.

2.2 Participants

36 enfants voyants (19 filles et 17 garçons) avec un âge moyen de 7.5 ans (91 mois, de 84 à 98 mois, SD = 9.25) et 18 enfants non-voyants (9 filles et 9 garçons) d'âge moyen 8.1 ans (98 mois, de 72 à 120 mois, SD = 15.12) ont participé à cette étude. Parmi les enfants non-voyants 13 étaient nés non-voyants ou avaient perdu la vue dans leur première année de vie.

Toutes les études menées dans le cadre de ces travaux de thèse incluent des participants voyants et non-voyants. Les participants voyants bénéficient de représentations visuelles mais, contrairement aux participants non-voyants, ils sont peu habitués à explorer des images par le toucher uniquement. D'un point de vue théorique, les résultats de la comparaison de ces deux populations peuvent permettre d'apprécier le rôle relatif de l'accès à des représentations mentales plus visuelles et du savoir-faire haptique. D'un point de vue pratique, le fait d'intégrer des personnes voyantes dans nos études nous permet de discuter de la pertinence des illustrations proposées dans un contexte d'inclusion. En effet, nous souhaitons que les images proposées soient accessibles à la fois à un public de voyants et de non-voyants.

L'utilisation du livre illustré joue un rôle dans le développement de la conscience de l'écrit dès le plus jeune âge. Cependant, chez les enfants voyants les images sont particulièrement utilisées par les jeunes lecteurs comme des indices supplémentaires pour comprendre l'histoire. Nous avons donc mené nos études chez de jeunes lecteurs scolarisés. Des classes de CE1-CE2 (7 à 8 ans) pour les enfants voyants et des enfants de 6 à 10 ans en inclusion scolaire ayant appris, ou en train d'apprendre, le braille pour les enfants non-voyants.

Nous nous sommes rendue dans des classes de CE1 d'écoles de l'Académie de Toulouse avec l'accord des inspecteurs de l'Education Nationale afin de réaliser nos études avec les enfants voyants. Les passations ont été menées sur place de façon individuelle dans une pièce isolée. Pendant la durée de la tâche, les enfants portaient des lunettes de sécurité peintes avec de la peinture opaque afin de ne pas voir les images. Ils pouvaient retirer les lunettes à tout moment en prévenant l'expérimentateur en amont.

Nos recherches ont été soutenues par six centres ressources pour la déficience visuelle : l'Institut des Jeunes Aveugles (IJA) de Toulouse, le centre CIVAL Lestrade de Toulouse, l'Union Nationale des Aveugles et Déficients Visuels (UNADEV) de Toulouse, l'Institution Régionale des Sourds et des Aveugles (IRSA) de Bordeaux, le Centre de Rééducation pour Déficients Visuels (CRDV) de Clermont-Ferrand et l'Institut Montéclair d'Angers. Ces centres nous ont accueillie pour réaliser les passations avec des enfants correspondants aux critères d'inclusions suivants : de 6 à 10 ans, en cécité légale (acuité visuelle $< 1/20$) et sans troubles associés.

Toutes les études réalisées avec des enfants ont été validées par le Comité d'Éthique sur les Recherches de Toulouse.

2.3 Matériel

Pour réaliser cette tâche nous avons créé un ensemble de trois listes de dix mots français selon leur indice de fréquence standard (IFS) en utilisant la base de données Manulex ([Lété, Sprenger-Charolles, & Colé, 2004](#)).

Nous avons limité les types de mots à trois catégories sémantiques : la faune, la flore et les objets manipulables et les plantes ([Figure 24](#)). Ces catégories correspondent à des objets ayant pu être touchés par les enfants (à la maison, au musée, à la ferme, etc.).

Liste 1		Liste 2		Liste 3	
Mots	SFI	Mots	SFI	Mots	SFI
Chat	68,95	Oiseau	68,82	Mouton	59,2
Fraise	54,62	Poisson	63,62	Fleur	61,72
Sac	63,24	Lunettes	59,27	Chapeau	62,81
Collier	56,71	Ceinture	55,32	Crayon	58,5
Poupée	58,77	Ballon	62,24	Sapin	58,9
Bourdon	42,17	Hot Dog	40,2	Python	42,27
Chou-fleur	44,88	Espadrille	38,8	Manette	36,53
Poignard	45,5	Nectarine	35,32	Jogging	43,93
Cintre	37,51	Enceinte	43,1	Balayette	41,51
Sparadrap	37,57	Caddie	42,55	Epuisette	44,78
IFS moyen	50,992	IFS moyen	50,924	IFS moyen	51,015

Figure 24 : Liste de mots et IFS

Nous avons illustré ces listes avec des images texturées et des images en ronds de texture. Cette première étude nous a également permis de questionner l'intérêt d'un autre type de représentation : des pictogrammes en points. Ces pictogrammes pourraient être affichés sur des dispositifs à picots rétractables proposés dans le commerce. Ce type d'illustration et son intérêt font l'objet du [Chapitre 3](#).

Nous avons illustré les trois listes de mots selon trois conditions : des images en forme texturée, des ronds de texture et des pictogrammes en points en relief ([Figure 25](#)). Les résultats et le protocole de création des pictogrammes seront abordés dans le [Chapitre 3](#).

Les matériaux utilisés pour les textures ont été sélectionnés en fonction de leur similitude avec les textures des éléments originaux. Les images en formes texturée ont été inspirées des images présentes dans les livres tactiles de maisons d'édition telles que "Les doigts qui rêvent" ou "Mes mains en or". Chaque image a été présentée au centre d'une feuille de carton de 10 x 8 cm.

Liste 1				Liste 2				Liste 3			
Mots	Forme texturée	Rond de texture	Picto	Mots	Forme texturée	Rond de texture	Picto	Mots	Forme texturée	Rond de texture	Picto
Sac				Oiseau				Fleur			
Poupée				Poisson				Chapeau			
Collier				Ballon				Mouton			
Fraise				Lunettes				Sapin			
Couteau				Ceinture				Crayon			
Chou-fleur				Enceinte				Epuisette			
Chat				Caddie				Jogging			
Python				Hot dog				Bourdon			
Sparadrap				Espadrille				Balayette			
Cintre				Nectarine				Manette			

Figure 25 : Matériel utilisé

2.4 Tâche

Les performances d'identification d'images tactiles peuvent être affectées par la nécessité d'accéder au nom de l'objet (Heller et al., 1996). De plus, le contexte d'un livre tactile, la reconnaissance de l'image est guidée par l'histoire et l'on retrouve les personnages dans les différentes pages du livre. L'identification des images est donc guidée par l'histoire qui donne un contexte pour la récupération du nom des objets présentés sur l'image. L'histoire permet alors aux enfants de mieux identifier les images (Orlandi, 2015). De ce fait, proposer une tâche d'identification simple sans aucun indice sémantique pour évaluer la pertinence de l'utilisation

d'une technique d'illustration pour un livre tactile ne serait pas représentative. De plus, la problématique de simplification des images peut rendre l'image ambiguë de prime abord (e.g. une boule de poil peut représenter n'importe quel animal à poil).

Dans ce contexte, nous avons utilisé une tâche d'apprentissage d'associations (paired-associate learning) en présentant des paires de mots-images. Cette tâche comprenait deux étapes : (i) Une phase d'apprentissage dans laquelle les mots et leurs images associées étaient présentés dans un ordre aléatoire. Le mot était indiqué à l'oral au participant qui était ensuite libre d'explorer l'image. La consigne donnée aux participants était d'explorer l'image librement jusqu'à ce qu'ils pensent être capables de la reconnaître dans la phase suivante. (ii) Une phase de rappel dans laquelle les images présentées lors de la première phase ont été proposées aléatoirement une par une. La consigne donnée aux participants était d'explorer l'image tactile et de l'identifier aussi rapidement et précisément que possible. La liste de mots pouvait être redonnée à tout moment si le participant le demandait.

2.5 Analyse de données

Pour chaque image et méthode d'illustration, nous avons mesuré la précision de réponses afin d'observer le taux de reconnaissance des images. La réponse donnée pour chaque image tactile a été notée 0 pour incorrect et 1 pour correct. La précision des réponses a été analysée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé à effets mixtes. Les variables du modèle comprenaient la méthode d'illustration, les images et les participants. La méthode d'illustration était considérée comme effet fixe. Nous avons inclus les participants et les images comme effets aléatoires. Ce modèle a été utilisé pour considérer les sources de variabilité liées aux participants et aux items.

Nous avons également mesuré les temps d'exploration pendant la phase d'apprentissage des associations et les temps de réponse pour les réponses correctes durant la phase de rappel. Ces temps nous ont permis de compléter les observations sur le taux de reconnaissance. Nous

faisons l'hypothèse que plus les participants passent de temps à reconnaître ou à explorer une image plus cette dernière est difficile à percevoir. Un effet de la compétence haptique peut également être observé à travers les temps d'exploration et de reconnaissance. Il est possible que les participants non-voyants ayant une plus grande compétence et familiarité avec les contenus tactiles passent moins de temps à explorer les images pour les apprendre et les reconnaître.

Les temps d'exploration durant la phase d'apprentissage des associations et les temps de réponse ont été analysés à l'aide de modèles linéaires à effets mixtes. Nous avons d'abord effectué une estimation BoxCox pour trouver la transformation optimale pour normaliser les distributions (Osborne, 2010). Nous avons appliqué une transformation logarithmique pour les temps d'apprentissage et de réponse. Le modèle pour les temps d'apprentissage et de réponse comprenait la méthode d'illustration comme effet fixe : et les images et participants comme effets aléatoires. Les résultats pour le temps d'exploration durant la phase d'apprentissage sont présentés en [Annexe](#).

Pour les différentes analyses, le meilleur modèle a été sélectionné sur la base du critère d'information Akaike (AIC). Les effets principaux et d'interaction ont été évalués à l'aide de Likelihood ratios. Nous avons utilisé des comparaisons par paires ajustées de Tukey pour évaluer les contrastes entre les modalités de nos variables à effets fixes. Les tailles d'effets ont été calculées à l'aide du d de Cohen pour les temps d'apprentissage et d'exploration et à l'aide des rapports de cotes (*odds ratio*) pour le taux de reconnaissance.

Les données et scripts d'analyses statistiques peuvent être consultés sur ce lien¹.

¹ https://osf.io/4d7kb/?view_only=c045cc8685ef4a248c95adebc60588a5

8.3. Hypothèses

Nous pensons observer un taux de reconnaissance des ronds de texture similaire ou supérieur à celui des images texturées. De plus, les images en ronds de texture devraient être apprises et reconnues plus rapidement que les images en texture car il y a moins d'exploration et d'intégration à mettre en place.

2.6 Résultats

L'analyse comprend 2 variables à effet fixe. Le statut visuel à deux niveaux comprend 36 enfants voyants et 18 enfants non-voyants et la condition à trois niveaux comprend les images en formes texturées, les images en ronds de texture et les pictogrammes en points. Afin d'observer la pertinence de ce type d'image pour des enfants malvoyants, nous avons également proposé ces illustrations à cinq enfants malvoyants à qui l'on a laissé accès à la vue. Cependant le groupe n'étant constitué que de cinq enfants nous ne l'avons pas inclus dans les modèles d'analyse statistique et présenterons seulement des moyennes et intervalles de confiance.

2.6.1 Taux de reconnaissance

Les analyses montrent un effet principal de la condition (type d'illustration) et un effet d'interaction entre la condition et le statut visuel. L'effet principal du statut visuel est au seuil d'être significatif (Figure 26, Tableau 5).

Tableau 5 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	3.439	1	.063
Condition	76.660	2	<.001
Condition * Statut visuel	7.462	2	.023

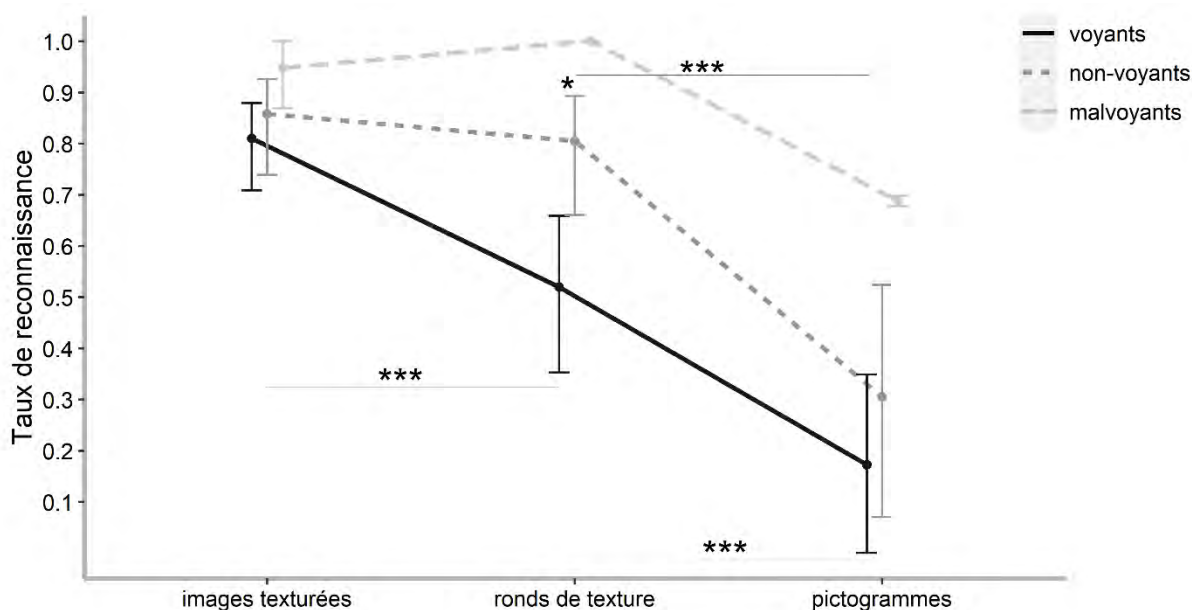


Figure 26 : Effet de la condition et du statut visuel sur la reconnaissance

Effet simple du statut visuel selon la condition (Tableau 6, Figure 26) : Les enfants non-voyants reconnaissent significativement mieux les images en rond de texture que les enfants voyants. Nous n’observons pas de différence significative entre les enfants voyants et non-voyants pour les deux autres conditions (images texturées et pictogrammes)

Effet simple de la condition chez les enfants voyants (Tableau 7, Figure 26) : Les images texturées sont significativement mieux reconnues par les enfants voyants que les images en rond de texture. Les pictogrammes sont significativement moins bien reconnus que les ronds de texture et les images texturées

Effet simple de la condition chez les enfants non-voyants (Tableau 8, Figure 26) : Pour les enfants non-voyants, nous n’observons pas de différence significative entre les images en formes texturées et les images en rond de texture. Les pictogrammes en points sont moins bien reconnus que les images en forme texturées et les ronds de texture

Les taux de reconnaissance pour les enfants malvoyants sont particulièrement élevés. Cependant il semble que les pictogrammes en points soient moins bien reconnus que les images texturées et ronds de textures.

Tableau 6 : Effet simple du statut visuel selon la condition

Comparaisons Non-voyants - Voyants	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>OR [IC_{95%}]</i>
Formes texturées	0.326	0.375	3.11	.410	1.38[0.63, 3.01]
Ronds de texture	1.136	0.397	3.03	.002	3.11[1.49, 6.49]
Pictogrammes	0.341	0.347	0.98	.326	1.40[0.71, 2.77]

Tableau 7 : Effet simple de la condition chez les enfants voyants

Comparaisons groupe Voyants	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>OR [IC_{95%}]</i>
Formes texturées - Ronds de texture	1.165	0.263	4.436	<.001	3.141 [1.882, 5.255]
Formes texturées - Pictogrammes	2.096	0.264	7.79	<.001	7.692 [4.761, 14.285]
Ronds de textures - Pictogrammes	0.931	2.444	3.819	<.001	2.564 [1.562, 4.166]

Tableau 8 : Effet simple de la condition chez les enfants non-voyants

Comparaisons groupe Non-voyants	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>OR [IC_{95%}]</i>
Formes texturées - Ronds de texture	1.165	0.263	4.436	<.001	0.694 [0.300, 1.464]
Formes texturées - Pictogrammes	2.096	0.264	7.79	<.001	9.090 [4.347, 20]
Ronds de textures - Pictogrammes	0.931	2.444	3.819	<.001	6.666 [3.125, 14.258]

2.6.2 Temps d'exploration pendant la phase d'apprentissage

Les analyses montrent un effet principal du statut visuel, de la condition et un effet d'interaction entre ces variables (Tableau 9, Figure 27).

Tableau 9 : Effet des variables étudiées sur le temps d'exploration durant la phase d'apprentissage

Variable	χ^2	df	p
Statut visuel	3.995	1	.046
Condition	123.238	2	<.001
Condition * Statut visuel	64.526	2	<.001

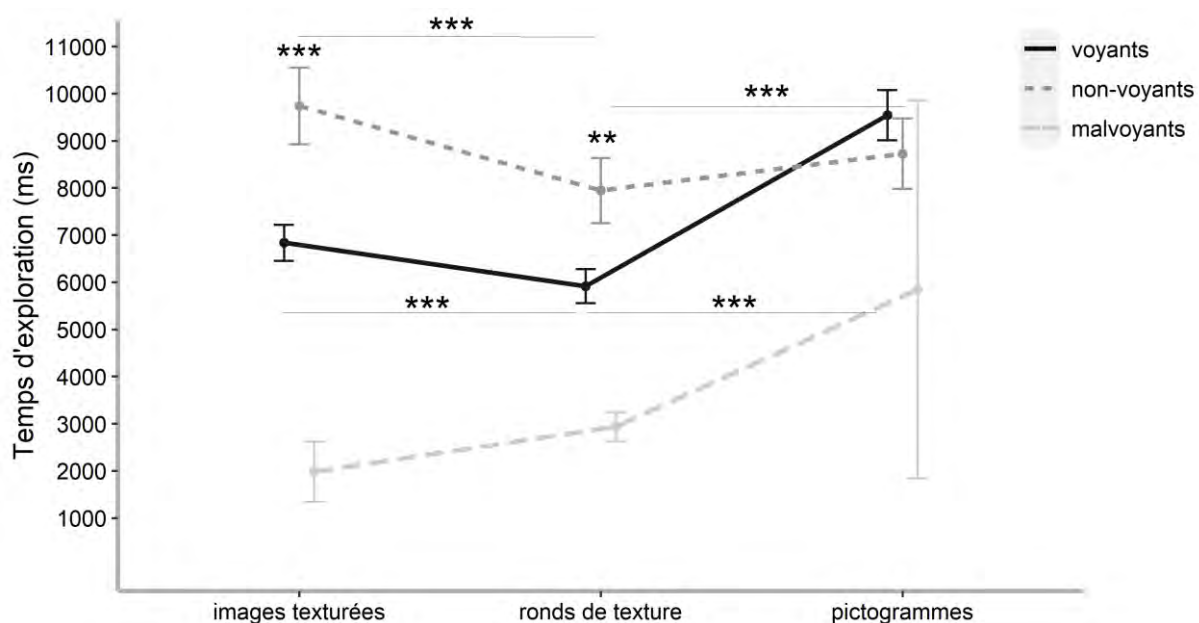


Figure 27 : Effet du statut visuel et de la condition sur le temps d'exploration durant la phase d'apprentissage

Effet simple du statut visuel selon la condition (Tableau 10) : Les enfants non-voyants passent significativement plus de temps que les enfants voyants à explorer les images en formes texturées et les images en rond de texture. Nous n'observons pas de différence significative entre les enfants voyants et non-voyants pour la condition pictogramme.

Effet simple de la condition chez les enfants voyants (Tableau 11) : les enfants voyants passent significativement moins de temps à explorer les ronds de texture que les images texturées. Ils passent significativement plus de temps à explorer les pictogrammes que les ronds de texture et les images texturées.

Effet simple de la condition chez les enfants non-voyants (Tableau 12) : les enfants non-voyants passent significativement moins de temps à explorer les images texturées et les pictogrammes. Nous n’observons pas de différence significative entre la condition pictogramme et la condition image texturée pour le temps d’exploration.

Les temps d’exploration durant la phase d’apprentissage sont particulièrement faibles chez les enfants malvoyants. Cependant, la variabilité est très importante pour les pictogrammes en points.

Tableau 10 : Effet du statut visuel sur le temps d'exploration selon la condition

Comparaisons Non-voyants - Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Formes texturées	0.326	0.098	67.3	3.341	.001	0.596
Ronds de texture	0.605	0.098	67.5	3.123	.002	0.522
Pictogrammes	-0.089	0.098	68.0	0.905	.368	0.171

Tableau 11 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les enfants voyants

Comparaisons Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Formes texturées - Ronds de texture	0.174	0.038	145	4.527	<.001	0.331
Formes texturées - Pictogrammes	-0.325	0.038	151	-8.416	<.001	0.602
Ronds de textures - Pictogrammes	-0.533	0.089	99.000	-6.002	<.001	0.881

Tableau 12 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les enfants non-voyants

Comparaisons Non-voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Formes texturées - Ronds de texture	0.195	0.519	444	3.767	<.001	0.352
Formes texturées - Pictogrammes	0.089	0.052	449	1.715	0.200	0.176
Ronds de textures - Pictogrammes	-0.500	0.039	151	-12.922	<.001	0.185

2.6.3 Temps de reconnaissance

Les analyses montrent un effet principal du statut visuel et de la condition. Nous n'observons pas d'effet d'interaction entre ces variables (Figure 28, Tableau 13).

Tableau 13 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	15.981	1	<.001
Condition	40.496	2	<.001
Condition * Statut visuel	0.570	2	.751

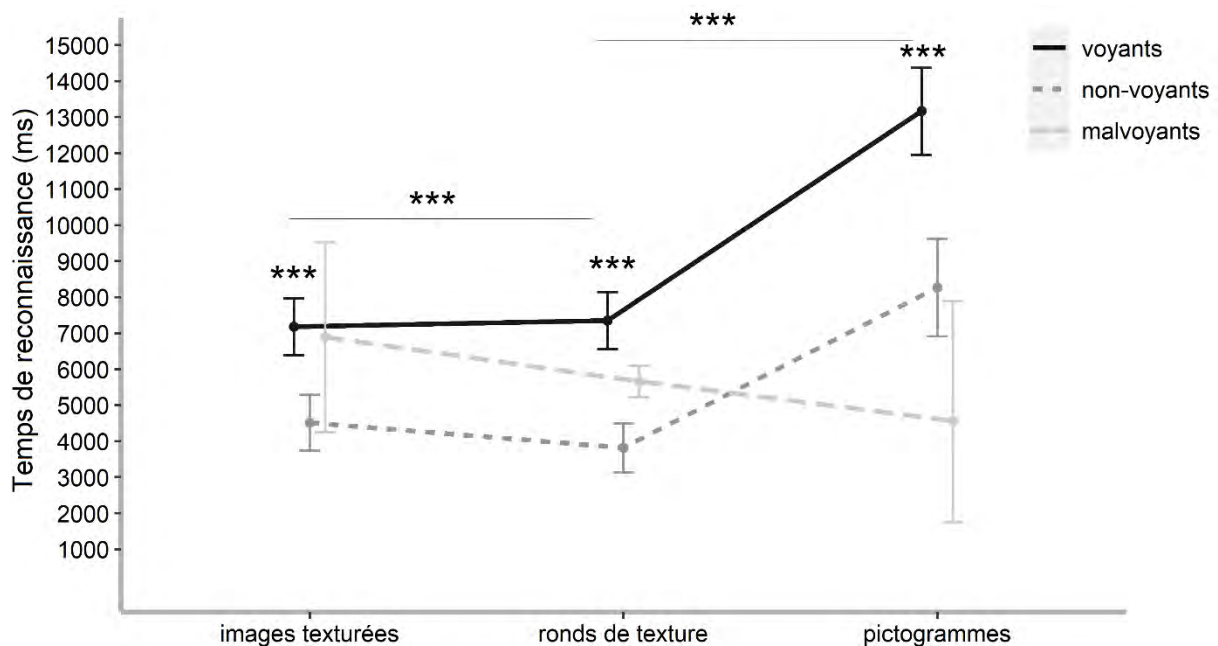


Figure 28 : Effet du statut visuel et de la condition sur le temps de reconnaissance

Effet principal du statut visuel (Figure 28) : les enfants non-voyants reconnaissent plus vite les images.

Effet principal de la condition (Figure 28, Tableau 14): les temps de reconnaissance pour les pictogrammes sont significativement plus longs que pour les images texturées et les ronds de texture. Nous n’observons pas de différence significative pour les temps de reconnaissance des ronds de texture et des images texturées.

Les temps de reconnaissance des enfants malvoyants semblent assez similaires aux deux autres groupes.

Tableau 14 : Comparaisons des temps de reconnaissance selon la condition

Comparaisons	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Formes texturées - Ronds de texture	0.085	0.083	77.700	1.031	.559	0.156
Formes texturées - Pictogrammes	-0.447	0.087	93.600	-5.118	<.001	0.557
Ronds de textures - Pictogrammes	-0.533	0.089	99.000	-6.002	<.001	0.713

2.7 Discussion

Conformément à notre hypothèse, une forme figurative n'est pas nécessaire pour associer une image en texture à un objet, en tout cas pour les enfants non-voyants. Cela semble également être le cas pour les enfants malvoyants. Pour les enfants non-voyants, les ronds de texture ont été reconnus aussi bien et reconnus plus rapidement que les images en forme texturées qui combinent forme et texture.

Cependant, chez les enfants voyants travaillant sans voir, le taux de reconnaissance était plus faible pour les ronds de textures. Nous proposons plusieurs hypothèses complémentaires pour expliquer ces résultats : des représentations mentales différentes, des modes de traitement

de l'information haptique différents et une plus grande familiarité des enfants non-voyants avec le matériel tactile.

Il semble que les images texturées et en ronds de texture soient plus adaptées que les pictogrammes en point. Ce type d'image fait l'objet du [Chapitre 3](#) dans lequel nous discuterons des avantages, limites et améliorations possibles de ce type d'image

2.7.1 Des représentations mentales différentes

Les représentations mentales sont différentes chez les enfants non-voyants et voyants ([Chapitre 1 Partie 4](#)). Ainsi, la reconnaissance d'images chez les enfants voyants pourrait dépendre plus de la forme que de la texture. Les personnes non-voyantes s'appuient moins sur l'imagerie visuelle et différentes études suggèrent que leurs représentations mentales sont principalement basées sur l'expérience haptique. De ce fait, la texture serait une propriété clé de la reconnaissance d'images tactiles pour les enfants non-voyants.

De plus, le traitement de la forme repose sur des procédures d'exploration complexes et implique une intégration mentale coûteuse ([Gentaz et al., 2000](#)). Les enfants non-voyants se concentreraient donc principalement sur la discrimination de la texture même lorsque la forme est disponible. Nos résultats semblent indiquer que la présence d'une forme figurative ne fournit pas d'informations supplémentaires pour identifier une image. En effet, les enfants non-voyants ne passent pas plus de temps à explorer les images en formes texturées durant la phase d'apprentissage bien qu'il y ait plus d'informations à explorer.

2.7.2 Des modes de traitements différents

Ces résultats peuvent également refléter des modes de traitement différents entre enfants voyants et non-voyants. Les enfants voyants utiliseraient le modèle de la médiation visuelle pour reconnaître les images tactiles et auraient donc des performances plus faibles pour la reconnaissance de ronds de texture pouvant difficilement être traduits en représentations

visuelles. Les enfants non-voyants utiliseraient le modèle d'appréhension direct ce qui leur permettrait de traiter aussi bien les images en formes texturées que les ronds de texture sans besoin de passer par une représentation visuelle.

2.7.3 *La familiarité avec le matériel tactile*

La dernière hypothèse repose sur la familiarité avec le matériel tactile qui permettrait une meilleure discrimination des textures. Certaines études n'observent pas de différence significatives pour la discrimination des textures entre des enfants non-voyants et voyants et des adultes non-voyants et voyants (Ballesteros et al., 2005; Heller, 1989b; Mazella et al., 2016). D'autres ont observé de meilleures performances des adultes non-voyants par rapport aux adultes voyants (Alary et al., 2009; Goldreich & Kanics, 2006). Nous avons discuté plus en détail les différences entre ces études dans le [Chapitre 1 Partie 3.2](#). Les enfants non-voyants pourraient mieux distinguer les textures que les enfants voyants car ils sont plus familiers avec le matériel tactile. Dans notre étude, l'apprentissage des ronds de texture nécessite de discriminer dix textures entre elles sans aucun indice supplémentaire et nous avons remarqué que certaines textures étaient confondues. En particulier dans l'une des listes qui a été proposée à 12 enfants voyants et 6 non-voyants dans la condition ronds de texture. Le « sapin » était confondu avec la « balayette » chez 6 enfants voyants alors qu'aucun des enfants non-voyants n'a fait cette erreur. Les deux textures sont constituées de lignes verticales similaires (aiguilles de sapin pour le sapin et poils de balayette pour la balayette, [Figure 29](#)). Il est possible que les enfants voyants se soient focalisés uniquement sur la caractéristique « ligne verticale » sans percevoir les différences d'épaisseur et d'orientation entre les deux textures.

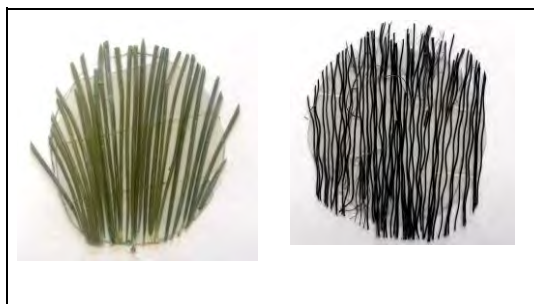


Figure 29 : Texture utilisée pour le sapin à gauche et la balayette à droite

Dans notre étude nous n’observons pas de différence significative entre les ronds de textures et les images texturées chez les non-voyants. Il serait intéressant d’observer les mouvements d’exploration des enfants sur les formes texturées afin de déterminer s’ils utilisent la forme comme un indice pour la reconnaissance ou s’ils ne traitent qu’une seule dimension qui est la texture. Si les enfants ne réalisent pas de mouvement de suivi de contour sur les images en forme texturées et ne réalisent que des mouvements d’explorations permettant d’extraire la texture il paraît cohérent d’obtenir un taux de réponses correctes similaire à celui obtenu pour des ronds de texture. L’observation des mouvements d’exploration fait partie des perspectives de nos recherches et sera abordée dans le. Les résultats des enfants voyants font remonter une difficulté dans la discrimination de texture. De ce fait, les effets bénéfiques de l’utilisation de ce type d’image peuvent contrebalancés par la difficulté à discriminer les textures.

2.8 Conclusion

Il nous semble que l’utilisation de ronds de texture peut être une bonne alternative pour l’illustration de livres tactiles. Ce type d’image est facile à réaliser que ce soit par une maison d’édition, un enseignant, un parent ou un enfant. Certains livres pour enfants voyants utilisent des formes non figuratives en couleur pour illustrer les personnages et l’histoire. Parmi ces livres, au moins trois ont été adaptés en texture par la maison d’édition « Les Doigts Qui Rêvent » : *Petit-Bleu et petit-Jaune* de Leo Lionni, *Le petit chaperon rouge* de Warja Lavater

et *Quatre petits coins de rien du tout* de Jérôme Ruillier (Figure 30). Cette maison d'édition propose également des adaptations en utilisant de simples formes géométriques texturées.

Lors de la première étude, nous avons observé la capacité d'association entre un rond de texture et un mot. Cependant, ces observations ne nous permettent pas de connaître l'effet de l'utilisation de ce type de représentation dans un livre tactile en situation de lecture. Nous avons donc mené une deuxième étude afin d'observer l'effet de ce type d'image dans un contexte d'utilisation réel. Le passage d'un contexte expérimental à un contexte écologique nous permettra de discuter de la pertinence de ce type d'image pour l'illustration de livres tactiles.

Nous avons observé l'utilisation de ce type de livre lors de séances de lecture avec des enfants non-voyants et malvoyants.

Versions originales



Petit-Bleu et Petit-Jaune



Quatre petits coins de rien du tout



Le Petit Chaperon Rouge

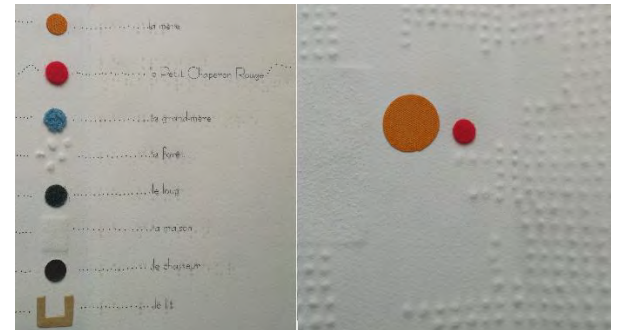
Versions adaptées



Petit-Bleu et Petit-Jaune



Quatre petits coins de rien du tout



Le Petit Chaperon Rouge

Figure 30 : : Exemple de livre originaux adaptés par la maison d'édition Les Doigts Qui Rêvent

3. Etude 2 : L'utilisation de ronds de texture pour illustrer un livre tactile

3.1. Question de recherche

Peut-on utiliser des ronds de texture pour illustrer un livre pour enfant ?

Dans cette étude, nous avons observé la reconnaissance d'images en rond de texture dans un livre tactile. Nous faisons l'hypothèse que ces images seront bien reconnues par des enfants non-voyants et malvoyants.

3.2. Participants

Sept enfants de 6 à 10 ans avec une déficience visuelle dont une fille et un garçon malvoyants et deux filles et trois garçons non-voyants ont participé à notre étude. Les enfants étaient en binômes, dont deux binômes avec un enfant malvoyant et un enfant non-voyant, un binôme avec deux enfants non-voyants et un enfant seul car son binôme a arrêté la séance en cours. Ces binômes étaient composés d'enfants qui ont l'habitude de travailler ensemble car déjà ensemble lors des séances avec leur enseignant spécialisé ou auxiliaire de vie journalière.

3.3. Matériel

Nous avons mené les séances de lecture avec le livre *Le petit Chaperon rouge* édité par « Les Doigts Qui Rêvent ». Ce livre est une adaptation directe de l'œuvre de Warja Lavater qui utilise des ronds de couleurs pour illustrer l'histoire. Dans l'adaptation tactile proposée par « Les Doigts Qui Rêvent », des ronds de texture avec les mêmes couleurs que dans l'œuvre de Lavater sont utilisés. Ce livre a donc été adapté pour les enfants avec une déficience visuelle en rajoutant des textures tout en gardant les mêmes caractéristiques visuelles (les couleurs) que la version originale. Le livre propose une légende au début de l'histoire pour présenter tous les

personnages. Les personnages sont représentés par des ronds de texture. Pour représenter la maison et la forêt, la technique du gaufrage a été utilisée. Cette technique consiste à mouler différentes formes dans la feuille papier. Ces formes sont alors surélevées sur le papier. La maison est représentée par un rectangle et la forêt par des ronds. Le dernier objet présent dans l'histoire est le lit. Il est représenté en forme de U avec du papier cartonné (Figure 31).

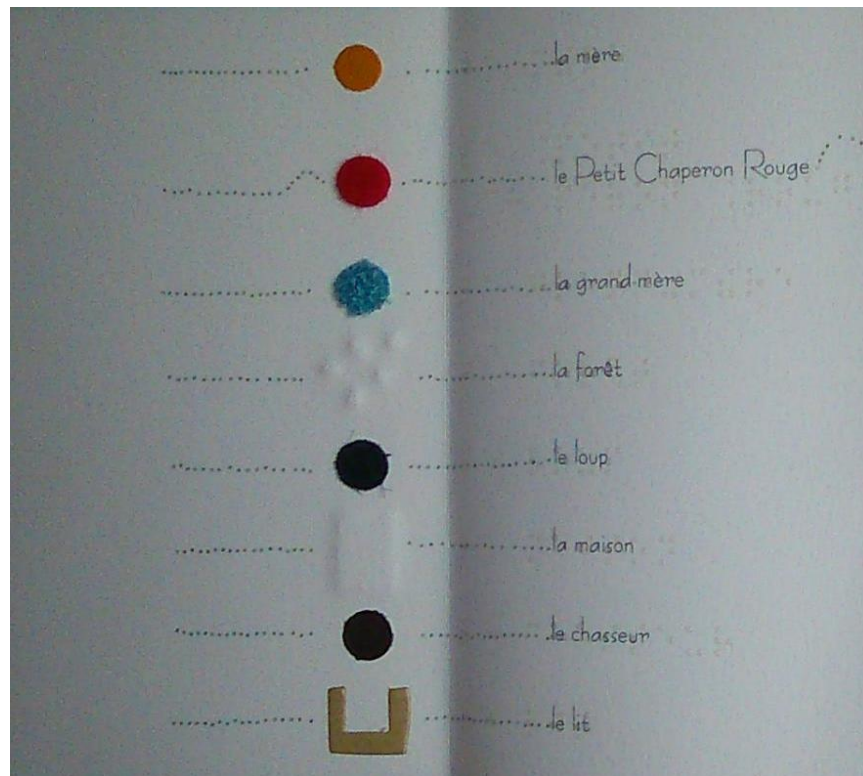


Figure 31 : Légende de l'adaptation du Petit Chaperon Rouge de Warja Lavater par la maison d'édition « Les Doigts Qui Rêvent »

L'œuvre de Lavater ne contient pas de texte mais est basée sur la version du conte *Le Petit Chaperon Rouge* des frères Grimm. Nous avons donc récupéré le texte du conte et fait la correspondance entre les images et les paragraphes du texte (le découpage texte-images est présenté en [Annexe](#)).

3.4. Procédure

Les séances de lecture se déroulaient en deux temps. Tout d'abord une phase de lecture conjointe avec l'adulte et le binôme d'enfants : l'adulte racontait le conte et posait des questions aux enfants par rapport aux images. Cette phase était directement suivie d'une phase d'entretien entre l'expérimentatrice et chaque enfant individuellement lors de laquelle les enfants devaient rappeler et désigner les personnages de l'histoire avec support du livre.

Les séances ont été menées dans deux centres ressource pour la déficience visuelle. Ces centres proposaient déjà des lectures conjointes aux enfants. Nous avons proposé aux enseignants spécialisés et auxiliaires de vie journalière de faire des lectures conjointes dans les mêmes conditions (dans la mesure du possible) tout en utilisant l'adaptation tactile du livre *Le petit Chaperon Rouge*. Les lectures conjointes se sont déroulées par binôme comme c'est le cas habituellement dans ces centres. Les deux premières lectures ont été réalisées par un enseignant spécialisé, les deux suivantes par l'expérimentatrice reprenant les mêmes questions et explications que l'enseignant spécialisé. Pour l'une des lectures, l'enseignant spécialisé était absent le jour des observations. Pour la dernière lecture, l'un des enfants était trop dissipé et fatigué. Il n'a pas pu participer à la lecture et l'auxiliaire de vie journalière a dû s'isoler dans une autre pièce pour rester avec lui. L'enfant du binôme étant resté est donc le seul à avoir participé à la séance de lecture.

Durant la lecture conjointe, l'enseignant spécialisé ou l'expérimentatrice racontait la partie de l'histoire correspondant à la page puis discutait des images de cette page avec les enfants. Pour les images qui présentaient une difficulté (*e.g.* changement de forme ou de taille) l'enseignant ou l'expérimentatrice guidait les enfants pour comprendre l'image si nécessaire.

Cette phase était suivie d'une phase d'entretien durant laquelle les enfants étaient interrogés de façon individuelle par l'expérimentatrice. Elle demandait aux enfants de reprendre chaque page du livre une à une et de raconter ce qui se passait dans la scène illustrée. Un guidage

pouvait être proposé pour aider l'enfant à raconter l'histoire : avec des questions de type « Où sont les personnages ? », « Que font les personnages ? ».

3.5. Analyse des données

Les séances de lectures conjointes et les entretiens avec les enfants ont été filmés en cadrant la caméra sur le livre et les doigts des enfants. Ces séances ont ensuite été transcrites par une personne extérieure à l'étude

Les données ont également été analysées de manière quantitative. Pour les lectures conjointes et les entretiens, la personne ayant réalisé les retranscriptions a également relevé sur les vidéos et pour chaque page si l'enfant a reconnu les personnages. On considère que l'enfant a reconnu le personnage lorsqu'il mentionne son nom pendant qu'il le touche (*e.g.* « Ça c'est le loup », « Ici il y a le Petit Chaperon Rouge »).

Les données peuvent être consultées sur OSF² :

3.6. Résultats

3.6.1. Résultats généraux : taux de reconnaissance des personnages et compréhension de l'histoire

Lors des lectures conjointes, les erreurs de reconnaissance concernant Le loup, le Petit Chaperon Rouge, la grand-mère et le chasseur n'ont été observées que dans certaines pages complexes qui vont être décrites dans la partie suivante. Ces personnages ont ensuite été reconnus par tous les enfants dans toutes les pages lors des entretiens. Il semble donc qu'après avoir guidé les enfants et expliqué les pages plus complexes, les enfants sont capables de reconnaître facilement ces personnages. Ces quatre personnages sont les personnages principaux de l'histoire, les enfants étaient capables de les reconnaître et de rappeler l'action se déroulant dans la scène pour toutes les pages de l'histoire lors des entretiens. Au total, nous

² https://osf.io/guzdx/?view_only=9648d4d306fe4380ac79fcc1e34494e1

observons un taux de reconnaissance des personnages et objets de 90.3% lors des lectures conjointes.

3.6.2. Taux de reconnaissance des objets

La reconnaissance de certains objets de l'histoire a présenté plus de difficultés. La technique du gaufrage est utilisée pour représenter la maison et la forêt. Cette technique consiste à mouler différentes formes dans la feuille papier. Ces formes sont alors surélevées sur le papier. La maison est représentée par un rectangle et la forêt par des ronds.

Les enfants ont montré des difficultés à reconnaître la maison. Lorsqu'elle n'est pas mentionnée dans l'histoire mais présente sur l'image seuls deux enfants la sentent lors de la lecture conjointe et l'entretien. Lorsqu'elle est mentionnée dans l'histoire ce nombre augmente avec six enfants la mentionnant lors de la lecture et quatre lors des entretiens. Dans l'une des pages la maison est mentionnée dans le texte mais contient le lit et le loup. Elle peut donc être plus difficile à repérer. Seuls quatre enfants la mentionnent lors de la séance de lecture et un seul lors des entretiens.

La forêt est mieux reconnue par les enfants. Bien qu'elle ne soit pas toujours mentionnée dans le texte, il n'y a qu'un seul enfant qui ne la trouve pas sur une des pages lors de la séance de lecture et un autre qui ne la trouve pas sur l'une des pages lors de l'entretien. Contrairement à la maison, la forêt est constituée de nombreux ronds en gaufrage représentant les arbres. Il est donc plus difficile de ne pas la sentir en parcourant la page. Cela pourrait expliquer ces différences de résultats.

Le dernier objet présent dans l'histoire est le lit. Il est représenté en forme de U avec du papier cartonné. Le lit est reconnu par tous les enfants lors de la lecture et des entretiens dans toutes les pages à l'exception d'une où le lit change de forme. Ce changement de forme est discuté dans la partie suivante.

3.6.3. *Modification de taille ou de forme*

Dans la page 3 du livre il y a un changement de taille de tous les personnages (Figure 32a). Le changement de taille du Petit Chaperon Rouge étant assez limité, sa reconnaissance n'a pas posé de problème. Cependant pour la reconnaissance du loup et de la forêt les enfants ont montré des difficultés : quatre enfants ne reconnaissent pas le loup. Les deux enfants malvoyants reconnaissent le loup mais semblent étonnés par sa taille. Ces enfants sont les premiers à prendre la parole concernant le loup et ne semblent pas influencer leur binôme non-voyant qui ne comprennent toujours pas l'image (Encadré 1). Deux des enfants non-voyants reconnaissent le loup malgré le changement de taille « Je ne sais pas ce que c'est... Ah c'est le loup », l'un d'eux comprend directement la raison du changement de taille, cet enfant a perdu la vue à l'âge de 3 ans : « Le loup... On s'est rapprochés ! » et son binôme non-voyant semble convaincu de l'interprétation : « oui ».

<p>Binôme 1</p> <p>Enfant malvoyant « C'est bizarre ce truc, c'est un gros gros Loup » Enfant non-voyant : « Le Petit Chaperon Rouge et un énorme truc ! » Enfant malvoyant : « c'est le Loup » Enfant non-voyant « Le loup ? » Enfant malvoyant : « Ben je sais pas moi » Enfant non-voyant « oui, je sais pas ... »</p> <p>Binôme 2</p> <p>Enfant malvoyant : « Oh là le Loup est géant ! » Enfant non-voyant : « Moi j'ai trouvé ça, c'est quoi ça ?! »</p>
--

Encadré 1

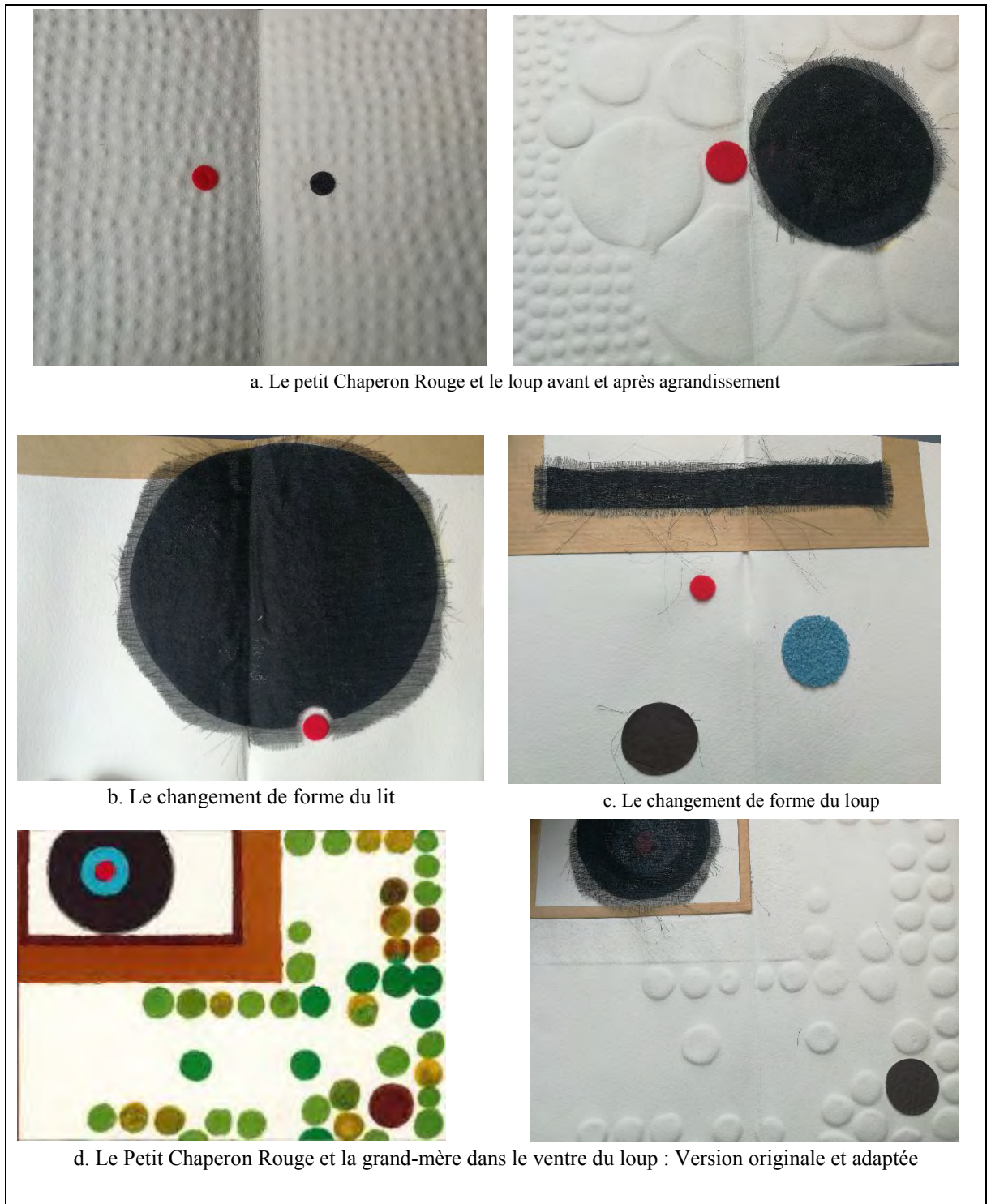


Figure 32 : Exemple de page du *Petit Chaperon Rouge* de Warja Lavater et de l'adaptation par la maison d'édition « Les Doigts Qui Rêvent »

Cette scène a été expliquée de la façon suivante aux enfants « Je vous explique. \retourne page précédente/ Dans la scène précédente, il y avait la forêt, le loup et le Petit Chaperon Rouge. On voit beaucoup d'arbres mais de loin et au centre on a le Petit Chaperon Rouge et le loup qui

sont petits. On tourne la page et ici on s'est approché pour regarder la scène. On a décidé de se rapprocher pour les écouter parler. Le loup et le Petit Chaperon Rouge sont devenus plus grand et le loup est beaucoup plus grand que le Petit Chaperon Rouge. Et ça ce sont les arbres qui sont plus grands aussi ». Lors de la phase d'entretien tous les enfants ont reconnu le loup sur cette page.

D'autres changements de taille sont présents dans l'histoire mais ne posent plus de problème de reconnaissance bien que les enfants rapportent ces changements à l'oral : « Oh le gros loup ! Il est devenu encore plus grand on dirait », « Elle est grosse ! C'est la grand-mère », « Le lit, il est devenu grand le lit », « Oh le loup il est devenu petit », « Oh il est redevenu gros le loup ! », « Le loup... Ah mais il est devenu tout petit », « Ooooh le loup il est grand », « Il est immense ! », « Oh le lit il est immense », « Un immense loup ! », « Le loup j'ai l'impression qu'il est de plus en plus gros », « Il est trop gros », « le loup il est de plus en plus énorme ». Il semble donc qu'une fois que les enfants ont compris que les personnages pouvaient changer de taille ces changements ne posent plus de problème par la suite.

Sur la page 9 du livre la forme de U du lit devient une simple barre horizontale (Figure 32b). Ce changement de forme semble avoir posé problème aux enfants. La barre étant placée tout en haut de la page, la plupart des enfants ne l'ont pas explorée et n'en ont donc pas parlé. Pour cette page, seuls deux enfants ont reconnu le lit lors de la lecture mais n'ont pas compris pourquoi il était représenté de cette façon « Le lit, il est cassé, c'est parce que le loup il est trop gros ? », « Là y a le lit mais du coup il n'y a pas de rebords, c'est bizarre ». Nous pensons que l'artiste a utilisé cette représentation pour montrer que le « loup bondit hors du lit ». Cependant, n'étant pas sûre de la raison de ce choix nous ne l'avons pas expliqué aux enfants.

Dans la dernière page du livre, un changement de forme est observé. Le loup n'est plus un rond de texture mais un rectangle (Figure 32c). Il est mentionné dans l'histoire que le chasseur

découpe le ventre du loup et garde sa peau. Tous les enfants ont remarqué et compris ce changement de forme (Encadré 2).

Binôme 1
Enfant 1 : « Qu'est-ce qu'ils ont fait du loup, ils l'ont mis en couverture ou quoi ? »
Enfant 2 : « Mais oui ok ça y est j'ai compris ! En fait ça c'est la peau du loup »

Binôme 2
Enfant 1 : « Ah le loup il est en carquette ou quoi ? »
Enfant 2 : « Mais c'est parce qu'on l'a coupé »

Binôme 3 :
Enfant 1 : « Et ça c'est la peau du loup »
Enfant 2 : « oui »

Enfant seul : « Le loup... Ah parce que le ventre il est coupé ! »

Encadré 2

3.6.4. Compréhension et mémorisation de la légende

La mère n'apparaît qu'une fois dans l'histoire et sur la première page. Les enfants viennent donc de découvrir la légende avec tous les personnages et la texture correspondante. Cependant, deux enfants ne reconnaissent pas la mère lors de la séance de lecture et la confondent avec la galette : « On voit la galette », « C'est la galette ? ». Il est possible que les enfants habitués à des images en forme texturée interprètent le rond de texture comme quelque chose de rond (e.g. une galette). En effet, la mère est présente sur la première page de l'image et les enfants peuvent avoir besoin d'un temps d'adaptation à ces nouvelles illustrations.

Cependant, ces deux enfants ne reconnaissent toujours pas la mère lors de l'entretien : « Le petit chaperon rouge avec sa grand-mère » « Le loup ? » « Le chasseur ? ». Au moment de

l'entretien ils semblent avoir bien compris que c'est un personnage et non la galette. Cependant, ils ne la reconnaissent pas. La texture choisie pour représenter la mère est décrite par les enfants de la façon suivante : « C'est un peu rugueux », « Ça fait un peu bizarre », « c'est lisse un peu creux », « Ça ressemble à du liège, ça fait doux avec un peu de bosses », « Elle est ronde, c'est du plastique ». Les enfants font des descriptions assez différentes de la texture de la mère en utilisant beaucoup d'approximations : « un peu ». Pour les autres personnages ils s'accordent plus à dire que le Petit Chaperon Rouge est « doux », la Grand-mère « doux et grattant », « doux mais moins que le Petit Chaperon Rouge » et le loup est « grattant », « gratte » ou « pas très doux ». Il est possible que la texture choisie pour la mère ne soit pas bien reconnue. Cependant, ce personnage n'est présent que sur une page il est donc difficile d'interpréter les erreurs des enfants.

Le chasseur n'arrive qu'à la page 10 or les personnages sont présentés dans la légende au tout début de l'histoire. Il peut donc être difficile de se souvenir du chasseur après 10 pages d'histoire. Cependant, tous les enfants reconnaissent le chasseur pendant la séance et pendant les entretiens.

3.6.5. Compréhension d'inférences

Dans certaines pages du livre le nom du personnage n'est pas mentionné et est remplacé par le pronom « il » ou « elle ». Les enfants ont reconnu tous les personnages même lorsque leur nom n'était pas mentionné dans le texte.

La page 5 présente une certaine complexité narrative. Le loup se fait passer pour le Petit Chaperon Rouge afin d'entrer chez la grand-mère : « C'est moi, le Petit Chaperon Rouge, dit le loup ; je t'apporte de la galette et du vin, ouvre-moi ! ». Lors de la séance de lecture un enfant confond le loup et le Petit Chaperon Rouge. Les autres enfants semblent avoir compris sans difficulté que les personnages présents sur la scène sont le loup et la grand-mère bien que

le texte mentionne le Petit Chaperon Rouge. Pendant les entretiens tous les enfants reconnaissent le loup et la grand-mère.

Dans les pages 7 à 10 le loup mange successivement la grand-mère (p7) et le Petit Chaperon Rouge (p9). Dans la version originale du livre, les ronds de couleur représentant la grand-mère et le Petit Chaperon Rouge sont dessinés sur le rond noir représentant le loup une fois mangés (Figure 32 d.). Les enfants ont donc accès aux mêmes informations que dans les autres pages du livre. Dans la version des « Doigts qui rêvent », ces personnages sont représentés à l'intérieur du ventre du loup. Les enfants peuvent sentir une bosse dans le ventre du loup mais n'ont plus accès à la texture ou à la couleur des personnages. Il n'est pas directement mentionné dans le texte que les personnages sont dans le ventre du loup. Pour comprendre l'image, les enfants doivent donc faire l'inférence : le loup a mangé la grand-mère/le Petit Chaperon Rouge donc le personnage est dans son ventre. Lorsque le loup mange la grand-mère cinq enfants sur sept comprennent tout de suite que la bosse correspond à la grand-mère mangée par le loup. Dans un des binômes un des enfants remarque la bosse et mentionne la grand-mère et l'autre enfant se contente d'acquiescer. Dans un autre binôme l'un remarque la bosse, l'autre mentionne la grand-mère (Encadré 3). L'enfant ayant réalisé la séance seul comprend de lui-même « « Oh C'est la grand-mère dans l'estomac du loup ! ». Le dernier binôme n'a pas senti la bosse. Cependant, lorsque le Petit Chaperon Rouge se retrouve dans le ventre du loup la bosse devient plus grande et les enfants qui ne l'avaient pas sentie auparavant la remarquent et comprennent tout de suite ce que la bosse représente (Encadré 4).

Binôme 1

Enfant 1 « Le lit il est là, le loup il est là. Oh le loup il est obèse parce qu'il a mangé la grand-mère »

Enfant 2 « oui »

Binôme 2 :

Enfant 1 : « Ya une bosse »

Enfant 2 : « C'est la grand-mère parce qu'il l'a mangée »

Enfant 1 : « oui ! »

Encadré 3

Enfant 1 : « Le chasseur, le loup et en fait le loup dans le ventre il y a la grand-mère et le petit chaperon rouge »

Enfant 2 : « Ça fait une bosse là »

Enfant 1 : « C'est normal c'est la grand-mère et le petit chaperon rouge »

Enfant 2 « Ah oui ! »

Encadré 4

3.7. Discussion

Les images en rond de texture proposées dans le livre le *Petit Chaperon Rouge* ont été bien reconnues. Les enfants reconnaissent les images rapidement et comprennent les scènes illustrées pendant les lectures conjointes. Ils sont ensuite capables de reconnaître les personnages et de rappeler les scènes illustrées sans que l'on raconte l'histoire à nouveau lors des entretiens individuels. L'utilisation de ronds de texture a permis d'illustrer des scènes complexes nécessitant de faire des inférences par rapport au texte (e.g. la grand-mère et le Petit Chaperon Rouge dans le ventre du loup). Les changements de forme liés à l'histoire ont également été facilement compris (e.g. peau du loup). L'utilisation de formes texturées non

figuratives peut donc permettre de représenter des changements d'état du personnage avec des formes géométriques simples.

L'utilisation de changement de taille ajoute une difficulté. Seul un enfant a compris le premier changement de taille du loup dans l'histoire. Les autres enfants semblent simplement avoir intégré l'idée que les personnages pouvaient changer de taille sans forcément en comprendre la raison. En effet, les enfants explicitent les changements de tailles des personnages mais sans jamais en mentionner les raisons possibles. Enfin, les confusions sur le personnage de la mère et les difficultés à trouver la maison sur certaines images mettent en avant l'importance du choix des textures dans ce type d'illustration.

4. Conclusions

Dans ce chapitre, nous proposons une simplification des images texturées en utilisant uniquement des ronds de texture afin de contourner les difficultés liées à la mise en place de mouvements d'explorations complexes, la synthèse de fragments d'information en un tout et le risque d'utilisation de conventions visuelles ou de représentations iconographiques mal comprises. De plus, cette simplification rend les images très faciles à créer que ce soit par une maison d'édition, un enseignant, un parent ou un enfant. Nous avons mené deux études dont l'une observait l'effet de l'utilisation de ces images simplifiées par rapport à des images classiques proposant une forme figurative en texture. L'autre reposait sur des séances d'observation de lecture conjointe en contexte écologique avec un livre tactile proposant ces images simplifiées. Les observations menées lors de ces deux études, l'une de type « laboratoire » plus contrôlée et l'autre de type « écologique », en contexte, semblent converger. La mise en place d'une première étude de type « laboratoire » nous a permis d'évaluer la capacité d'association d'un rond de texture à un mot de façon contrôlée en limitant les biais expérimentaux tels que le choix des mots, leur ordre d'apparition, les participants, la

complexité de l'histoire etc. Cette étude a montré que les enfants sont capables d'associer un rond de texture à un mot. La seconde étude, en contexte, a permis de mettre en évidence l'effet de ce type de représentation lors de séances de lecture conjointes. Ces observations ont été menées dans les conditions les plus proches des conditions habituelles. Ces deux études complémentaires montrent que les enfants non-voyants arrivent à reconnaître les images en ronds de texture.

Dans la première étude, nous avons observé des confusions chez les enfants voyants ou travaillant sans voir lorsque deux textures étaient proches. Nous avons également observé des confusions sur le personnage de la mère dans le livre *Le Petit Chaperon Rouge* ainsi qu'une difficulté à sentir la maison en gaufrage. Les textures utilisées doivent donc être assez différentes du papier pour être senties au toucher mais également assez différentes entre elles pour ne pas être confondues.

Chapitre 3 : Les pictogrammes tactiles

1 Contexte et état de l'art

1. Utilisation de pictogrammes

Les images en contours en relief sont largement utilisées dans le domaine éducatif pour rendre accessible des schémas, graphiques ou cartes (Rowell & Ungar, 2003). De nombreux livres tactiles utilisent également ce type d'images qui permettent une mise en relief plus rapide et moins coûteuse que l'utilisation de texture. De plus, ces techniques rendent les images plus robustes que les images texturées. En effet, à force d'être touchées et manipulées les textures collées sur le livre peuvent être abimées et se décoller.

Si ces images présentent un certain nombre d'avantages lors de leur conception, elles sont cependant, difficile à reconnaître. Le taux de reconnaissance moyen d'images en relief observé dans la littérature est de 42% (SD = 21) (méta-analyse de 15 études : Picard et Lebaz, (2012)). Dans le Chapitre 1 nous avons rapporté plusieurs hypothèses émises pour expliquer ces difficultés : l'expérience visuelle (non-voyants précoces, tardifs ou voyants) et l'utilisation de conventions visuelles dans les images ou encore la compétence et la familiarité avec les contenus bidimensionnels en relief. De plus, chez les enfants, les capacités motrices sont encore en développement. La mise en place de mouvements d'exploration adaptés peut donc être plus difficile. La mémoire de travail est également en développement. L'intégration mentale des fragments d'information extraits par le système haptique lors des mouvements d'exploration peut donc être plus difficile à réaliser pour les enfants.

Dans les études présentées dans ce chapitre nous avons proposé de simplifier les images en contours en relief en utilisant des pictogrammes pour représenter les personnages ou objets. Les pictogrammes sont utilisés dans la vie quotidienne (panneau de signalisation, étiquettes de danger des substances chimiques, étiquetage pour l'entretien des textiles...). De plus, différentes banques de données de pictogrammes ont été créées pour aider des personnes en situation de handicap. Par exemple les systèmes ARASAAC et PACS pour les personnes avec des troubles du spectre autistique ou les pictogrammes MAKATON ou BLISS pour les personnes sans communication verbale. Les pictogrammes MAKATON ont également été utilisés dans le cadre du handicap auditif. Nous pensons que ce type de représentation peut également être adapté pour le handicap visuel. De plus, des pictogrammes ont déjà été utilisés dans certains livres pour enfants voyants (Figure 33).



Figure 33 : *Le petit Chaperon Rouge*, Collection « raconte à ta façon » chez « Flammarion jeunesse »

Nous pensons que l'utilisation de pictogrammes peut également être pertinente dans le contexte du handicap visuel. Des pictogrammes de petite taille peuvent permettre de limiter les

mouvements d'exploration. De plus, les pictogrammes présentent un nombre limité d'informations tactiles à percevoir. Nous faisons l'hypothèse que moins le nombre d'information tactiles à percevoir est important, moins le travail mental d'intégration sera coûteux en mémoire de travail.

2. Utilisation de tablettes à picots rétractables

L'utilisation de pictogrammes peut également permettre l'utilisation de nouvelles technologies telles que des tablettes à écran déformable de type « pin-array display » : picots mobiles qui montent et descendent en fonction du contenu à afficher comme illustré dans le [Chapitre 1 Partie 7](#).

Le blindpad ([Zarate et al., 2017](#)) est un dispositif créé à bas coût et programmable facilement. Cependant, il présente la plus grosse taille de point ainsi que le plus gros espace entre les points. Ce dispositif a été évalué pour la perception de groupements de points (à droite, à gauche, en haut, en bas) et dans certains scénario d'usages décrits précédemment ([Chapitre 1 Partie 7.2](#)). Cependant, à notre connaissance, il n'a pas été évalué pour l'affichage de formes géométriques (simples ou complexes). Nous avons donc proposé d'évaluer l'utilisation de pictogrammes en points pouvant être affichés sur ce dispositif.

2. Etude 1 bis : Reconnaissance de pictogrammes en points

Cette étude correspond en fait à la condition « pictogrammes » de l'étude 1 déjà décrite dans le [Chapitre 2 Partie 2](#).

2.1. Questions de recherche

Peut-on utiliser des pictogrammes affichés sur des tablettes à picots rétractables pour illustrer des livres pour enfants ?

Cette étude nous a permis d'observer l'utilisation de pictogrammes en points sur la reconnaissance des images et de discuter de l'utilisation de tablettes à picots rétractables chez des enfants voyants et non-voyants. En effet, aucune étude n'avait encore évalué l'utilisation de formes en points distincts sur la reconnaissance d'images tactiles chez des enfants.

2.2. Méthode de création des pictogrammes

Les pictogrammes sont basés sur le design du Blindpad ([Zarate et al., 2017](#)) : points de 4mm espacés de 4mm.

Tout d'abord, nous avons créé des pictogrammes en points sur une matrice de 5x5 car : (i) il semble que ce soit la taille minimale pour créer un set de 30 pictogrammes figuratifs différents et (ii) cela permet d'afficher quatre pictogrammes en même temps sur la tablette (ce qui permet d'illustrer une scène avec plusieurs personnages ou objets, [Figure 34](#)). Pour chaque mot illustré, nous avons conservé au moins une caractéristique discriminante de l'objet, plante ou animal (*e.g.* les oreilles du chat, les ailes de l'oiseau, etc.) Nous avons mené une pré-étude avec ces pictogrammes auprès de huit adultes voyants travaillant sans voir et de deux enfants voyants de 8 ans travaillant sans voir. Nous avons utilisé la tâche d'apprentissage associatif présentée dans le chapitre précédent ([Chapitre 2 Partie 2.4](#)). Lors de la phase de rappel le taux de réponses correctes était de 73%. Au cours de la session, les participants ont été invités à expliquer leurs difficultés et à indiquer les pictogrammes qui leurs avaient posé problème. Les pictogrammes non reconnus ou signalés par les participants lors des séances ont ensuite été reconçus avec ces onze participants. Nous leur avons demandé de remplir une matrice 5x5 points pour représenter chaque pictogramme. Nous avons ensuite retravaillé les pictogrammes en nous basant sur les points communs dans les représentations proposées par les participants. Enfin, nous avons testé tous les pictogrammes avec un adulte non-voyant qui a pu identifier toutes les images. La tablette n'a pas été utilisée pendant l'expérimentation, les picots étaient simulés par des points en relief thermogonflés

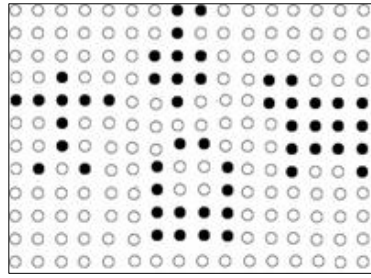


Figure 34 : Exemple de scène illustrée avec 4 pictogrammes sur une tablette à picots

2.3. Participants et protocole

Les participants et le protocole sont décrits dans le chapitre précédent ([Chapitre 2 Partie 2](#))

2.4. Hypothèses

L'utilisation de pictogrammes peut permettre de limiter les mouvements d'exploration et le travail d'intégration mentale. De plus, il semble que l'utilisation de points distincts pour représenter une forme ne pose pas de problème de reconnaissance majeur ([Chapitre 1 Partie 7.2](#)). Nous avons fait l'hypothèse que les pictogrammes en points seront bien reconnus par les enfants.

2.5. Discussion

La condition correspondant aux pictogrammes en points a été présentée dans le [Chapitre 2 Partie 2](#), en comparaison avec les illustrations en ronds de textures. Nous avons observé que les pictogrammes en points étaient moins bien reconnus que les images texturées et les images en ronds de texture. Nous discutons ce résultat dans cette partie.

Chez les enfants voyants, nous avons observé un taux de reconnaissance de des pictogrammes en points 46,9% ($IC_{95\%} = [35.9, 58.3]$). Chez les enfants non-voyants nous avons observé un taux de reconnaissance des pictogrammes en points de 54,0% ($IC_{95\%} = [46.3, 61.8]$)

Ces résultats sont cohérents, avec la moyenne des taux de reconnaissance d'images en relief retrouvée dans la littérature (Picard et Lebaz (2012) : méta analyse de 15 études : moyenne = 42%, SD = 21). À noter que notre étude consistait en une tâche d'apprentissage d'associations contrairement à la plupart des études qui mettent en place des tâches de reconnaissance plus ou moins guidées. Cependant, nous nous attendions à ce que l'utilisation de pictogrammes facilite la reconnaissance des images. En effet, les pictogrammes sont des formes simplifiées qui seraient donc, selon nos hypothèses, plus faciles à explorer et à intégrer. Nous proposons plusieurs hypothèses pour expliquer ces résultats : l'utilisation de pictogrammes ne serait pas adaptée pour des enfants, l'espace entre les points serait trop important, l'utilisation de formes en points distincts ne serait pas adaptée pour des enfants.

Il est possible que l'utilisation de pictogrammes ne soit pas adaptée pour la perception tactile des enfants. En effet, les enfants ont tendance à mettre en place des stratégies de « devinette » lors de l'identification haptique d'images en relief en se basant sur une seule caractéristique de l'objet comme par exemple les cornes de la girafe (Overvliet & Krampe, 2018). Les pictogrammes que nous proposons ne reprennent que certaines caractéristiques spécifiques de l'objet représentés (e.g. les ailes pour l'oiseau qui n'a alors pas de bec ni de pattes). Il est possible que les pictogrammes ne soient pas assez détaillés pour permettre aux enfants de se raccrocher à des caractéristiques locales de l'objet (e.g. si l'enfant ne comprend pas que ce sont les ailes de l'oiseau il n'a pas d'autres indices locaux lui permettant de reconnaître l'image). L'utilisation de pictogrammes ne permettrait donc pas de faciliter la reconnaissance pour les enfants.

Les résultats observés dans notre étude sont également très inférieurs aux performances observées dans les études utilisant des tablettes à picots (taux de reconnaissance moyen = 88%). Pour saisir la forme de ces pictogrammes, il est nécessaire de percevoir les points distincts comme formant un tout. Ce principe de proximité a été décrit dans la théorie de perception de

la Gestalt (Goldstein, 1999; Kubovy, Holcombe, & Wagemans, 1998). Différentes études ont montré que le principe de proximité de la Gestalt est applicable au toucher (Chang et al., 2007; Gallace & Spence, 2011). Cependant, Hatwell et al. (1990) montrent que le toucher est moins sensible que la vision au principe de proximité. Ces études ne mentionnent pas de seuil critique à partir duquel l'écart entre les points peut rendre difficile la perception de formes distinctes comme appartenant à un tout. Selon les recommandations pour la transcription de documents édités par l'Institut national supérieur formation et recherche handicap et enseignements adaptés (INSHEA), l'espacement entre deux éléments (point ou tiret) peut être compris entre 0,5 mm et 4mm, valeur au-delà de laquelle la notion de trait n'est plus perçue. Dans notre étude l'espacement entre les points est de 4mm soit la borne maximale des recommandations. L'espacement entre les points pour les autres études utilisant des tablettes à picots rétractable présentées précédemment (1.7.2) était compris entre 1.5 et 2.75 mm. L'espacement entre les points a donc pu être un frein à la reconnaissance tactile entraînant de moins bonnes performances dans notre étude.

Lorsque nous avons proposé les pictogrammes en point à cinq enfants malvoyants qui pouvaient voir les pictogrammes le taux de réponses correcte était de 80% ($IC_{95\%} = [79.232, 80.60]$). Nous pensons que les 20% d'échec reflètent les capacités en mémoire encore en développement chez l'enfant. Il est possible qu'ils ne parviennent pas à stocker les dix pictogrammes en mémoire. Il semble donc que lorsque les enfants ont la possibilité de voir les pictogrammes, ces images ne présentent plus de difficultés du point de vue perceptif. L'espacement entre les points ne poserait pas de problème lors de la perception visuelle, plus sensible au principe de proximité que la perception haptique (Hatwell et al., 1990)

Enfin, les études proposant des stimuli en points dans le cadre de l'utilisation de tablettes à picots rétractables n'ont été réalisées qu'auprès d'adultes. Il est possible que ce type de stimuli ne soit pas adapté pour les enfants. Il est possible que l'utilisation de points distincts rende plus

difficile la mise en place de mouvements d'exploration et le travail mental d'intégration chez des enfants ayant déjà des capacités en mémoire de travail limitées comparé aux adultes.

Nous avons fait l'hypothèse que l'utilisation de pictogramme pourrait permettre une meilleure reconnaissance. Dans cette étude avons observé des taux de reconnaissance équivalents aux taux de reconnaissance d'image en contours en relief observés dans la littérature qui semblent aller à l'encontre de notre hypothèse. De plus, nos résultats semblent inférieurs aux résultats observés dans la littérature sur les tablettes à picots mobiles (taux de reconnaissance moyen = 88%). Cependant, nous avons identifié trois facteurs, ayant pu influencer la reconnaissance : l'utilisation de pictogrammes, l'espacement entre les points, et l'âge des participants (enfants vs. adultes). Nous avons donc mené une seconde étude afin de vérifier l'influence de ces facteurs sur la reconnaissance des pictogrammes.

3. Etude 3 : l'utilisation de pictogrammes en points vs. en lignes

3.1. Questions de recherches

Peut-on utiliser des pictogrammes tactiles pour illustrer des livres pour enfants ? Ces pictogrammes peuvent-ils être affichés sur des tablettes à picots rétractables ?

Les objectifs de cette étude sont multiples. Tout d'abord étudier l'effet des trois facteurs identifiés précédemment sur la reconnaissance des pictogrammes en lignes et en points : l'utilisation de pictogrammes, l'espacement entre les points, et l'âge des participants (enfants vs. adultes). Nous évaluerons de nouveau l'effet du statut visuel (voyants ou non-voyants) sur la reconnaissance des pictogrammes. Cette étude nous permettra également d'étudier l'effet de nouveaux facteurs.

Peters, Hackeman et Goldreich (2009) ont observé que les participants ayant les plus gros doigts avaient tendance à avoir une acuité tactile plus faible. Les auteurs font l'hypothèse que les mécanorécepteurs sont plus éparpillés dans les plus gros doigts. Cependant, à notre connaissance, aucune étude sur les images tactiles n'a évalué cet effet. Nous proposons donc d'observer l'effet de la taille du doigt sur la reconnaissance des pictogrammes.

Enfin, les pictogrammes en points sont des stimuli pouvant se rapprocher du braille (points distincts) nous proposons donc d'étudier l'effet de l'utilisation régulière du braille sur la reconnaissance.

3.2. Participants

Cette étude inclut 8 enfants non-voyants d'âge moyen 7.6 ans (90 mois, SD=9) et 20 enfants voyants travaillant sans voir d'âge moyen 8 ans (97 mois, SD = 6). Afin de vérifier l'hypothèse selon laquelle les résultats plus faibles obtenus dans l'étude 1 (en comparaison aux études sur les tablettes à picots présentées dans le [Chapitre 1 Partie 7.2](#)) sont liés à l'âge des participants étudiée (enfant vs. adultes) nous avons également inclus des adultes. Au total, 36 adultes voyants aux yeux bandés d'âge moyen 25 ans (SD = 10) et 18 adultes non-voyants dont 9 non-voyants précoces et 9 non-voyants tardifs d'âge moyen 40 ans (SD = 15) ont pris part à l'étude.

3.3. Matériel

Nous avons créé des pictogrammes en lignes en reliant tous les points des pictogrammes étudiés dans la première étude et nous avons lissé les courbes créées par les points ([Figure 35](#)). En effet, la représentation de pictogrammes sur une matrice de 5x5 ne permet pas de suggérer des courbes lisses mais plutôt des changements abrupts de direction.

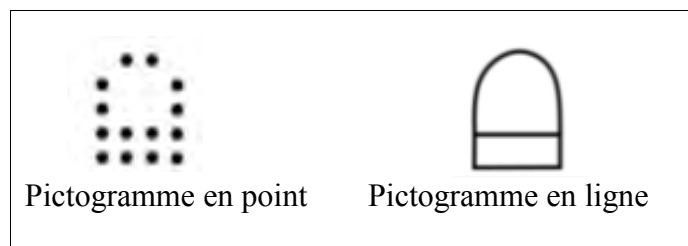


Figure 35 : Exemple de pictogramme présentant un arrondi

Nous avons créé des pictogrammes en petits points basés sur le format braille (même taille et espacement entre les points). Ces pictogrammes sont les mêmes que dans la première étude mais avec des points en relief de 1 mm au lieu de 4 mm et un espacement entre les points de 1 mm au lieu de 4 mm. Ce format est proche du format des tablettes utilisées dans les études de [Bellik et Clavel \(2017\)](#) et [Leo et al. \(2018\)](#) (voir [Chapitre 1 Partie 7.2](#)). Nous avons conservé les mêmes pictogrammes sur une matrice de 5x5 afin de ne pas modifier le nombre de points entre les pictogrammes des deux conditions. Cependant, le passage de pictogrammes en points de 4mm espacés de 4mm à des pictogrammes en points de 1mm espacés de 1mm a une influence sur la taille du pictogramme. La matrice de 5x5 points mesure 5x5cm dans la première étude, alors qu'elle mesure 1,5x1,5 cm pour les pictogrammes en petits points ([Figure 36](#)).

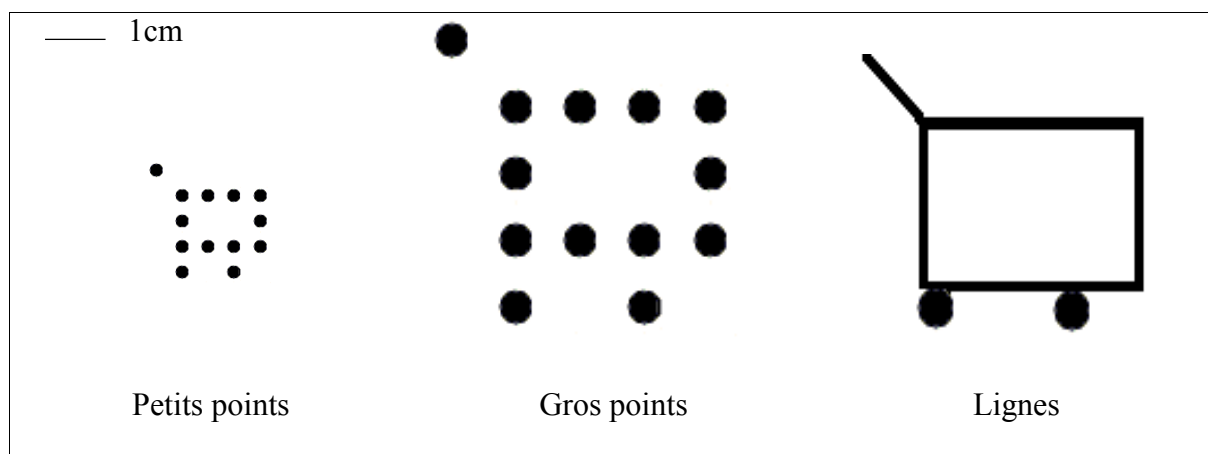


Figure 36 : Exemple de pictogrammes à l'échelle

Cette étude comprend donc trois conditions d'illustration dont deux nouvelles : des pictogrammes en lignes et des pictogrammes en petits points (points de 1mm espacés de 1mm) et une troisième reprenant les pictogrammes de la première étude que nous appellerons pictogrammes en gros points (points de 4mm espacés de 4mm) (Figure 37).

Pictogrammes liste 1			Pictogrammes liste 2			Pictogrammes liste 3		
Mot	Points	Lignes	Mot	Points	Lignes	Mot	Points	Lignes
Chat			Oiseau			Mouton		
Fraise			Poisson			Fleur		
Sac			Lunettes			Chapeau		
Collier			Ceinture			Crayon		
Poupée			Ballon			Sapin		
Bourdon			Hot dog			Python		
Chou-fleur			Espadrille			Manette		
Poignard			Nectarine			Jogging		
Cintre			Enceinte			Balayette		
Sparadrap			Caddie			Epuisette		

Figure 37 : Matériel expérimental utilisé

3.4. Méthode

Nous avons repris la méthodologie (tâche et analyse de données) utilisée dans l'étude 1 (Chapitre 2 Partie 2).

Nous avons également demandé aux adultes voyants de dessiner ce qu'ils avaient perçu du pictogramme après la tâche d'association. Ces dessins peuvent permettre de mieux comprendre les difficultés liées à la perception des images tactiles (Kalia & Sinha, 2011). Nous n'avons pas pu proposer cette tâche aux adultes non-voyants car la plupart avaient un mauvais souvenir du dessin ou ne savaient pas dessiner. Le fait de devoir dessiner entraînait donc un stress important chez ces personnes.

Suite aux prétests que nous avons menés avec deux enfants voyants, nous avons fait le choix de ne proposer que deux conditions expérimentales aux enfants : les pictogrammes en lignes et les pictogrammes en petits points. En effet, l'étude durait déjà une trentaine de minutes avec deux conditions et les pictogrammes en gros points ont déjà été étudiés sur une population d'enfants voyants et non-voyants lors de l'étude 1. Pour la même raison, nous n'avons pas proposé la tâche de dessins aux enfants.

Malgré le fait d'avoir réduit la durée de l'étude au maximum, certains enfants n'ont pas réussi à se concentrer jusqu'à la fin ou ont voulu arrêter l'étude avant la fin. Nous avons considéré que l'enfant n'était plus concentré lorsqu'il montrait des signes de fatigue : dire qu'il est fatigué, demander plusieurs fois de suite le nombre d'images ou le temps restant, proposer toujours le même mot pour chaque pictogramme sans les avoir touchés. Ces participants ont été retirés de l'étude (2 enfants non-voyants et 4 enfants voyants).

Nous avons mesuré la largeur des index droit des participants au niveau de la pulpe du doigt (Moyenne = 1.589 cm, SD = 0.150, min = 1.33cm, max = 1.86cm).

Les données et scripts des analyses statistiques peuvent être consultés sur OSF³ :

³ https://osf.io/c7n2z/?view_only=dc2094f64bee459b96f3fe3b1ae255cd

3.5. Hypothèses

1.1.1 La taille du doigt

En se reposant sur l'étude de [Peters et al. \(2009\)](#), nous faisons l'hypothèse 1 : La taille du doigt affecte négativement la reconnaissance . Selon cette hypothèse, les participants avec les plus gros doigts auront un taux de reconnaissance plus faible.

1.1.2 Le statut visuel

Hypothèse 2 : l'entraînement et la familiarité avec du contenu tactile permettent d'améliorer la reconnaissance des pictogrammes. Selon cette hypothèse, le taux de reconnaissance des pictogrammes pour les participants non-voyants (précoces ou tardifs) sera supérieur à celui des participants voyants.

Hypothèse 3 : l'utilisation de formes figuratives basées majoritairement sur des représentations visuelles (*e.g.* un V pour représenter l'oiseau) est un frein à la reconnaissance pour les personnes non-voyantes précoces. Selon cette hypothèse le taux de reconnaissance des pictogrammes pour les participants non-voyants précoces sera inférieur au taux de reconnaissance des pictogrammes par les participants non-voyants tardifs et voyants.

Les hypothèses 2 et 3, bien qu'ayant des effets opposés, sont complémentaires. Il est possible que l'utilisation de formes figuratives basées majoritairement sur des représentations visuelles soit un frein à la reconnaissance mais ce frein est compensé par l'entraînement et la familiarité des personnes non-voyantes avec du contenu tactile.

1.1.3 L'utilisation régulière du braille

Dans la condition petits points, les pictogrammes sont basés sur le format braille (même taille de point et espace entre les points). Nous faisons donc l'hypothèse 4 suivante : l'entraînement à la lecture en braille influence positivement les performances ([Axelrod, 1959](#)). Selon cette hypothèse, les participants brailleuses (qui utilisent le braille) auront de meilleures

performances dans la condition pictogrammes en petits points que les participants non-brailleistes (qui n'utilisent pas le braille).

Nous n'avons pas évalué l'utilisation du braille chez les enfants car les enfants non-voyants ont des niveaux d'utilisation du braille très différents (certains commencent juste à l'apprendre tandis que d'autre le lisent depuis plusieurs mois ou années).

1.1.4 L'âge (enfants ou adultes)

Enfin, les enfants ayant des capacités d'exploration et d'intégration mentale plus limitées nous faisons l'hypothèse 5 suivante : l'âge a une influence positive sur la reconnaissance des pictogrammes. Selon cette hypothèse, les enfants auront un taux de reconnaissance inférieur à celui des adultes.

1.1.5 La condition

Nous faisons différentes hypothèses sur l'effet de la condition (pictogrammes en gros points, en petits points et en ligne sur le taux de reconnaissance) :

- Hypothèse 6 : L'utilisation de pictogrammes affecte négativement la reconnaissance. Selon cette hypothèse le taux de reconnaissance des pictogrammes en lignes, en points et en gros points sera faible.
- Hypothèse 7 : l'utilisation de points distincts pour représenter des pictogrammes peut rendre la reconnaissance de ces pictogrammes plus difficile. Selon cette hypothèse le taux de reconnaissance des pictogrammes en lignes sera supérieur à celui des pictogrammes en gros points et en petits points.
- Hypothèse 8 : la taille et l'écartement des points dans la condition gros point rend la reconnaissance des pictogrammes plus difficile. Selon cette hypothèse le taux de reconnaissance des pictogrammes en petits points sera supérieur à celui des pictogrammes en gros points.

Nous avons également analysé le temps de reconnaissance qui nous permettra d'évaluer l'efficacité de la technique d'illustration. Les résultats sur les temps de reconnaissance nous permettront d'affiner les résultats des taux de reconnaissance afin de discuter des différentes hypothèses proposées.

3.6. Résultats

3.6.1. Effet de La taille du doigt

Nous avons évalué l'effet de la taille du doigt sur le taux de reconnaissance. Nous avons d'abord mené une analyse chez les personnes non-voyantes séparées en deux groupes : non-voyants précoces et non-voyants tardifs. Nous n'observons pas d'effet de l'interaction entre la taille du doigt et le statut visuel (non-voyant précoce ou tardif), $\chi^2(1) = 0.010, p = .919$. Nous avons donc réuni ces deux groupes en un groupe de personne non-voyantes pour l'analyse.

L'analyse comprend trois variables à effet fixe : la taille du doigt (variable continue), le statut visuel (deux niveaux, comprenant 18 non-voyants et 36 voyants), la condition d'illustration (trois niveaux : pictogrammes en petits points, gros points et lignes).

L'effet de la taille du doigt est significatif $\chi^2(1) = 5.106, p = .023$. Les effets de l'interaction entre la variable taille du doigt et condition d'illustration et de la variable taille du doigt et statut visuel ne sont pas significatifs (respectivement : $\chi^2(2) = 1.879, p = .390$; $\chi^2(2) = 2.6714, p = .262$).

Plus les participants ont de gros doigts moins ils réussissent la tâche $\beta = -2.299$ (SE=1.0174), $t = -2.260, p = .024$, OR=0.564 IC 95% = [0.110, 0.289] (Figure 38).

Dans la suite des analyses chez les adultes, nous avons inclus la taille du doigt en tant que variable aléatoire.

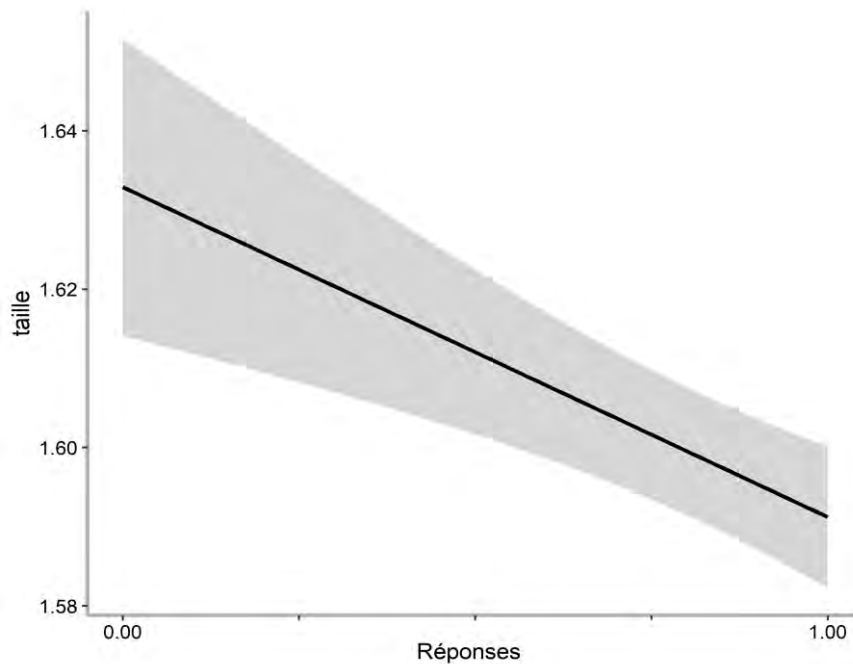


Figure 38 : Effet de la taille du doigt sur la reconnaissance (0 réponses erronée, 1 réponse correcte)

3.6.2. *Effet du statut visuel et de la condition*

Nous avons évalué l'effet du statut visuel en trois temps afin avoir des groupes de taille homogène. En effet, notre étude comprend 9 adultes non-voyants tardifs, 9 adultes non-voyants précoces, 8 enfants non-voyants, 20 enfants voyants et 36 adultes voyants.

Nous avons d'abord comparé les enfants voyants et non-voyants. Nous avons ensuite comparé les adultes non-voyants tardifs et précoces. Si aucune différence n'a été observée, nous avons réuni ces participants en un groupe de 18 adultes non-voyants que nous avons comparé au groupe d'adultes voyants. Si une différence significative était observée entre les groupes, nous avons créé un script permettant la simulation de 10 000 analyses statistiques en incluant pour chacune d'elles 10 adultes voyants choisis aléatoirement parmi les 36 ayant participé à

l'étude. Nous avons alors comparé les participants non-voyants tardifs, non-voyants précoces et voyants.

3.6.2.1. Effet du statut visuel et de la condition chez les enfants

Cette analyse porte sur le groupe d'enfants uniquement. L'analyse comprend deux variables à effet fixe. Le statut visuel à deux niveaux comprend 8 enfants non-voyants et 20 enfants voyants et la variable condition à deux niveaux comprend les pictogrammes en petits points et les pictogrammes en lignes.

Taux de reconnaissance

L'analyse montre un effet principal du statut visuel et de la condition mais pas de l'interaction entre ces deux variables (Tableau 15, Figure 39)

Tableau 15 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance chez les enfants

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	5.502	1	.019
Condition	18.688	1	<.001
Condition * Statut visuel	0.176	1	.067

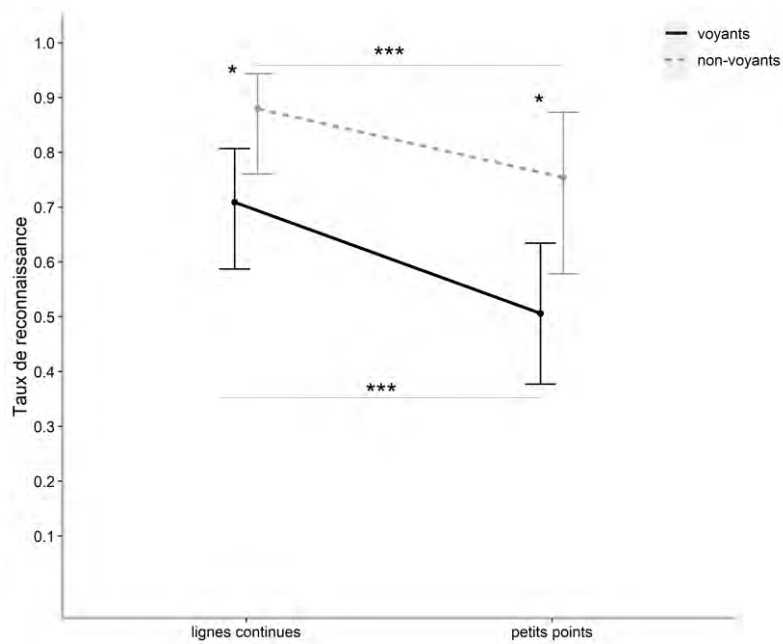


Figure 39 : Effet des variables étudiées sur la reconnaissance chez les enfants

Effet principal du statut visuel : Le taux de reconnaissance des pictogrammes est plus élevé chez les enfants non-voyants que chez les voyants (Figure 39).

Effet principal de la condition : Le taux de reconnaissance des pictogrammes en ligne est plus élevé que celui des pictogrammes en petits points (Figure 39).

Temps de reconnaissance

L'analyse montre un effet principal du statut visuel et un effet d'interactions entre la condition et la statut visuel mais pas d'effet principal de la condition. (Tableau 16, Figure 40)

Tableau 16 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance chez les enfants

Variable	χ^2	df	p
Statut visuel	26.165	1	<.001
Condition	0.971	1	.324
Statut visuel * Condition	10.130	1	<.001

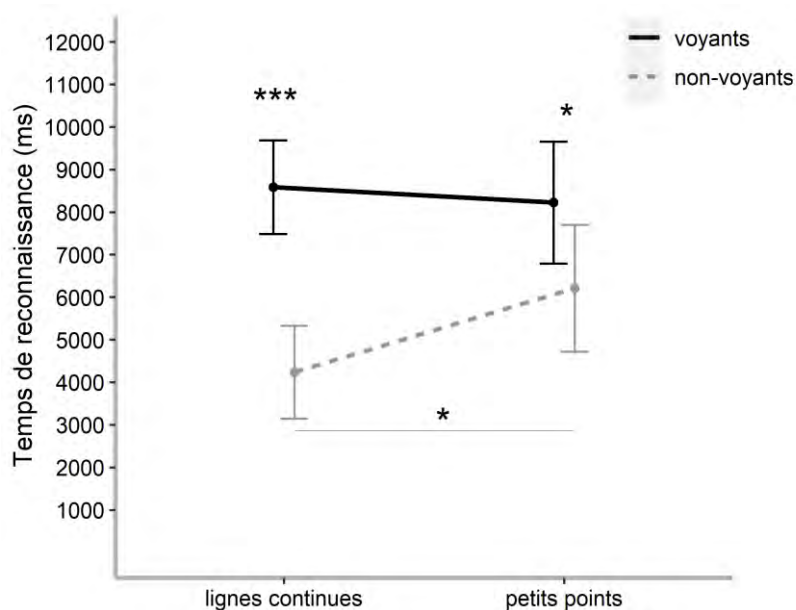


Figure 40 : Effet de la condition et du statut visuel sur le temps de reconnaissance chez les enfants

Effet simple du statut visuel selon la condition : Les enfants voyants mettent plus de temps à reconnaître les pictogrammes que les enfants non-voyants pour toutes les conditions (Tableau 17).

Effet simple de la condition chez les enfants voyants : les temps de réponse pour les pictogrammes en petits points sont plus élevés que ceux des pictogrammes en lignes (Tableau 18).

Effet simple de la condition chez les enfants voyants : les temps de reconnaissance semblent équivalents entre les conditions pictogrammes en lignes et pictogrammes en petits points (Tableau 19).

Tableau 17 : Comparaison du taux de reconnaissance par condition selon le statut visuel

Comparaisons Non-voyants - Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits points	0.342	0.161	125.8	2.128	.035	0.409
Lignes	0.795	0.154	106.9	5.171	<.001	1.150

Tableau 18 : Effet de la condition sur le temps de reconnaissance chez les enfants voyants

Comparaisons : Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Lignes - Petits points -	0.367	0.119	222	3.063	.002	0.338

Tableau 19 : Effet de la condition sur le temps de réponse chez les enfants non-voyants

Comparaisons : Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Lignes - Petits points -	0.089	0.089	105	0.954	.342	0.048

3.6.2.2. *L'effet du statut visuel et de la condition chez les adultes voyants et non-voyants*

Taux de reconnaissance

Effet du statut visuel chez les adultes non-voyants (précoces et tardifs)

Nous avons tout d'abord observé s'il y a un effet principal ou d'interaction du statut visuel chez les participants non-voyants précoces et tardifs. S'il n'y a pas d'effet ces participants pourront être regroupés dans un même groupe de participants non-voyants.

Dans cette analyse, nous avons donc inclus uniquement les adultes non-voyants. L'analyse comprend deux variables à effet fixe : le statut visuel à deux niveaux (9 non-voyants précoces et 9 non-voyants tardifs) et la condition d'illustration à trois niveaux (petits points, gros points et lignes).

L'analyse montre un effet principal de la condition et un effet d'interaction entre la condition et le statut visuel mais pas d'effet principal du statut visuel (Tableau 20, Figure 41).

Tableau 20 : Effet des variables étudiées sur le reconnaissance chez les participants non-voyants

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	0.620	1	.430
Condition	25.179	2	<.001
Condition * Statut visuel	3.330	2	.042

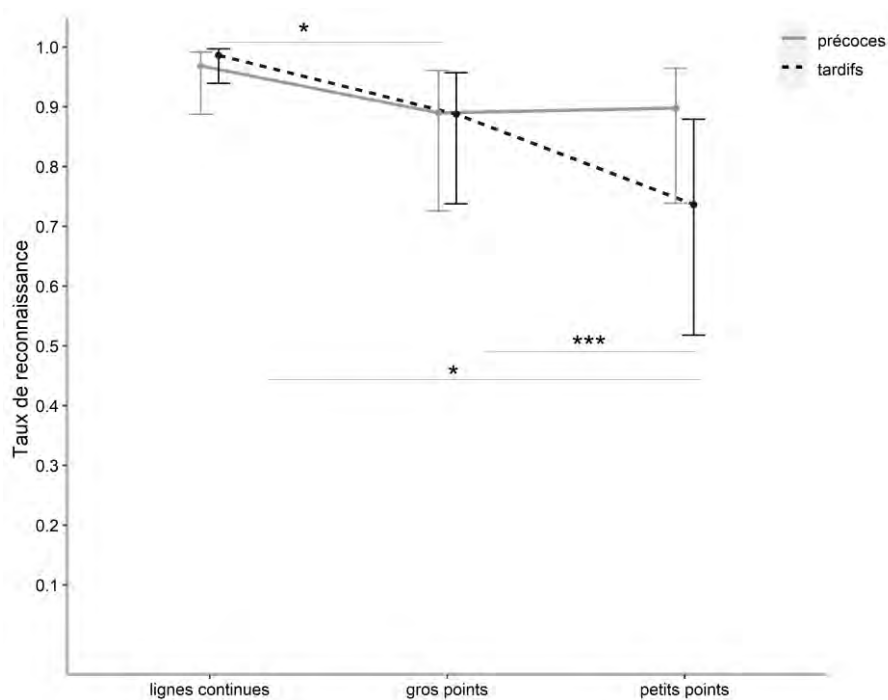


Figure 41 : Effet de la condition et du statut visuel sur la reconnaissance chez les participants non-voyants

Effet simple du statut visuel selon la condition : Les participants non-voyants tardifs et non-voyants précoces semblent montrer des taux de reconnaissance similaires pour toutes les conditions (Tableau 21).

Effet simple de la condition chez les participants non-voyants précoces : Chez les participants non-voyants précoces, les taux de reconnaissance semblent équivalents pour toutes les conditions. Cependant, la différence entre les pictogrammes en lignes et les pictogrammes en gros points est au seuil d'être significative (Tableau 22).

Effet simple de la condition chez les participants non-voyants tardifs : Les participants non-voyants tardifs reconnaissent mieux les pictogrammes en lignes que les pictogrammes en gros points et en petits points et reconnaissent mieux les pictogrammes en gros points que les pictogrammes en petits points (Tableau 23).

Tableau 21 : Effet simple statut visuel selon la condition

Comparaisons non-voyants précoces et tardifs	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>OR</i> [<i>IC</i> _{95%}]
Petits points	1.437	0.768	1.871	.061	0.82 [0.183, 3.676]
Gros points	0.198	0.765	0.258	.796	2.182 [0.298, 15.985]
Lignes	-0.768	1.016	-0.768	.442	0.23 [0.05, 1.071]

Tableau 22 : Effet de la condition sur le taux de reconnaissance chez les participants non-voyants précoces

Comparaisons non-voyants précoces	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>OR</i> [<i>IC</i> _{95%}]
Gros points – Petits points	-0.088	0.477	-0.185	.981	0.321 [0.844, 0.122]
Lignes - Gros points	1.335	0.583	2.292	0.057	10.526 [2.347, 47.619]
Lignes - Petits points	1.247	0.593	2.105	.089	33.333 [7.299, 100]

Tableau 23 : Effet de la condition sur le taux de reconnaissance chez les participants non-voyants tardifs

Comparaisons non-voyants tardifs	β	SE	t	p	OR [IC _{95%}]
Gros points – Petits points	1.040	0.376	2.765	.015	2.849 [1.355, 5.917]
Lignes - Gros points	2.1787	0.669	3.257	.032	8.849 [2.387 , 33.333]
Lignes - Petits points	3.2194	0.661	4.871	<.001	25.000 [6.850, 100]

Dans cette analyse, nous n’observons pas d’effet principal du statut visuel. Cependant, les participants non-voyants tardifs reconnaissent moins bien les pictogrammes en points et en particulier les pictogrammes en petits points que les pictogrammes en ligne. Nous observons également des résultats très hétérogènes pour les personnes non-voyantes tardives dans la condition petit point (Moyenne = 73.6 %, IC_{95%} = [51.8, 87.9]).

Nous pensons que le processus de recrutement des participants non-voyant a pu engendrer un biais. En effet, les personnes ont été recrutées auprès des centres ressources pour la déficience visuelle et ont majoritairement deux profils : des personnes travaillant dans les centres ou y venant pour des loisirs (belote, cuisine, tricot...) et des personnes en formation dans les centres. La majorité des personnes en formation avaient perdu la vue récemment. De ce fait, ces personnes sont non-voyantes tardives et ne connaissent pas le braille. Le groupe de participants non-voyants tardifs inclus dans notre étude est donc constitué en majorité de personnes n’utilisant pas le braille.

Effet du statut visuel chez les adultes voyants et non-voyants (précoces et tardifs)

Nous avons observé un effet de l’interaction entre la condition d’illustration et le statut visuel chez les participants non-voyants tardifs et précoces. Nous ne les avons donc pas regroupés pour l’analyse. Afin de mieux comprendre les différences observées entre les participants non-voyants tardifs et précoces nous avons également observé l’effet de

l'utilisation régulière du braille sur la reconnaissance. En effet, comme mentionné précédemment il semble que la majorité (sept sur neuf) des participants non-voyants tardifs ne sont pas braillistes.

Nous avons fait une simulation de 10 000 analyses statistiques en incluant pour chacune d'elles 10 adultes voyants choisis aléatoirement parmi les 36 ayant participé à l'étude.

L'analyse comprend trois variables à effet fixe : la variable statut visuel (à trois niveaux qui comprend 9 non-voyants précoces, 9 non-voyants tardifs et 10 voyants), la variable braille (à deux niveaux qui comprend 11 braillistes : 7 non-voyants précoces et 2 non-voyants tardifs, et 17 non-braillistes : 7 non-voyants tardifs et 10 voyants) et la variable condition (à trois niveaux qui comprend les pictogrammes en petits point, en gros points et en lignes).

Nous indiquerons dans les résultats les valeurs moyennes des analyses statistiques pour les 10 000 simulations ainsi que l'écart type.

Dans 99% des simulations, nous n'observons pas d'effet principal du statut visuel. Nous observons un effet principal de la condition dans 100% des simulations et un effet principal de l'utilisation du braille dans 91.29% des simulations. Nous observons un effet d'interaction entre condition et utilisation du braille dans 91.30% des simulations ([Tableau 24](#), [Figure 42](#))

Tableau 24 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance

Variable	χ^2 (SD)	<i>df</i>	<i>p</i> (SD)
Statut visuel	1.580 (0.804)	2	.485 (0.152)
Condition	33.261(3.909)	2	<.001 (<0.001)
Utilisation du braille	4.892 (0.789)	2	.030 (0.013)
Condition * Utilisation du braille	6.07 (2.14)	2	.030 (0.012)

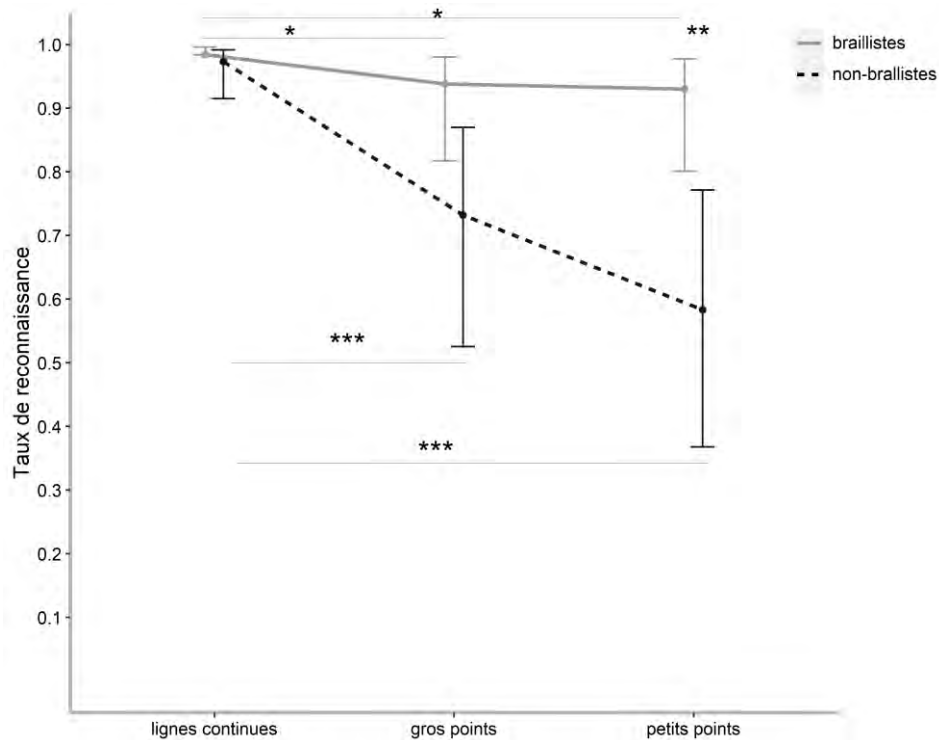


Figure 42 : Effet de la connaissance du braille sur la reconnaissance

Effet simple du statut visuel selon la condition (Tableau 25):

- Pictogrammes en lignes continues : pour 100% des simulations nous n’observons pas de différence significative entre les participants braille et non-braille.
- Gros points : pour 67% des simulations nous observons une différence significative entre les participants braille et non-braille
- Petits points : pour 99.98% des simulations nous observons une différence significative entre les participants braille et non-braille.

Effet simple de la condition chez les participants braille : la différence entre pictogrammes en gros points et pictogrammes en petits points n’est pas significative dans 100% des simulations. La différence entre pictogrammes en lignes et pictogrammes en gros points est

significative dans 97.60 % des simulations. La différence entre pictogrammes en lignes et pictogrammes en petits points est significative dans 100% des simulations (Tableau 26).

Effet simple de la condition chez les participants non-brailleistes : la différence entre pictogrammes en gros points et pictogrammes en petits points n'est pas significative dans 76% des simulations. La différence entre pictogrammes en lignes et pictogrammes gros points est significative dans 100% des simulations. La différence entre pictogrammes en lignes et pictogrammes en petits points est significative dans 100% des simulations (Tableau 27).

Tableau 25 : Comparaison des taux de reconnaissance par condition selon le statut visuel

Comparaisons brailleistes – non brailleistes	β (SD)	<i>SE</i> (SD)	<i>t</i> (SD)	<i>p</i> (SD)	<i>OR</i> (SD) [<i>IC</i> _{95%}] (SD)
Petits points	2.256 (0.140)	0.875 (0.083)	2.593 (0.022)	.011 (0.007)	4.657 (0.070) [1.16 (0.354), 13.556 (0.354)]
Gros points	1.717 (0.084)	0.889 (0.084)	1.945 (0.192)	.056 (0.024)	2.669 (0.51) [0.912 (0.191), 7.872 (1.743)]
Lignes	0.447 (0.334)	1.044 (0.078)	0.466 (0.331)	.635 (0.196)	0.809 (0.284) [0.183 (0.078), 3.616 (1.066)]

Tableau 26 : Effet de la condition sur la reconnaissance chez les participants brailleistes

Comparaisons brailleistes	β (SD)	<i>SE</i> (SD)	<i>t</i> (SD)	<i>p</i> (SD)	<i>OR</i> (SD) [<i>IC</i> _{95%}] (SD)
Petits points – Gros points	-0.130 (0.030)	0.174 (0.018)	-0.275 (0.059)	.957 (0.017)	1.410 (0.034) [0.449 (0.015), 2.896 (0.132)]
Lignes – Gros points	1.407 (0.042)	0.597 (0.018)	2.357 (0.415)	.040 (0.05)	4.113 (0.177) [1.275 (0.003), 13.276 (1.00)]
Lignes – Petits points	1.538 (0.57)	0.595 (0.018)	2.581 (0.048)	.027 (0.003)	4.665 (0.267) [1.449 (0.047), 15.039 (1.371)]

Tableau 27 : Effet de la condition sur la reconnaissance chez les participants non-brailleistes

Comparaisons non brailleistes	β (SD)	<i>SE</i> (SD)	<i>t</i> (SD)	<i>p</i> (SD)	<i>OR</i> (SD) [<i>IC</i> _{95%}] (SD)
Petits points – Gros points	0.670 (0.207)	0.346 (0.022)	1.930 (0.567)	.190 (0.187)	0.521 (0.109) [0.265 (0.060), 1.026 (0.205)]
Lignes – Gros points	3.318 (0.423)	0.557 (0.064)	5.958 (0.401)	<.001 (<0.001)	30.357 (13.296) [9.799 (3.189), 95.643 (54.563)]
Lignes – Petits points	2.648 (0.343)	0.555 (0.063)	4.769 (0.364)	<.001 (<0.001)	10.041 (5.420) [4.918 (1.254), 46.784 (22.976)]

Temps de reconnaissance

Effet du statut visuel chez les adultes non-voyants (précoces et tardifs)

Nous avons tout d’abord observé s’il y a un effet principal ou d’interaction du statut visuel chez les participants non-voyants précoces et tardifs. S’il n’y a pas d’effet ces participants pourront être regroupés dans un même groupe de participants non-voyants.

Dans cette analyse, nous avons donc inclus uniquement les adultes non-voyants afin d’étudier l’effet du statut visuel (non-voyant précoce ou tardif). L’analyse comprend deux variables à effet fixe : le statut visuel à deux niveaux (9 non-voyants précoces et 9 non-voyants tardifs) et la condition d’illustration à trois niveaux (petits points, gros points et lignes).

L’analyse ne montre pas d’effet principal du statut visuel (non-voyants précoces ou tardifs) ni de l’interaction entre le statut visuel et la condition (Tableau 28). Les adultes non-voyants précoces et tardifs seront donc regroupés dans un même groupe pour la suite des analyses.

Tableau 28 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance chez les participants non-voyants

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	2.928	1	.87
Statut visuel * Condition	1.673	1	.433

Effet du statut visuel chez les adultes voyants et non-voyants

Nous n'avons pas observé d'effet principal ou d'interaction du statut visuel sur le temps de reconnaissance chez les adultes non-voyants précoces et tardifs. Ils seront donc regroupés en un seul groupe de participants non-voyants pour cette analyse.

Dans cette analyse, nous avons donc inclus tous les adultes. L'analyse comprend deux variables à effet fixe : le statut visuel à deux niveaux (18 non-voyants et 36 voyants) et la condition d'illustration à trois niveaux (petits points, gros points et lignes).

L'analyse montre un effet principal du statut visuel et de la condition et un effet d'interaction entre ces deux variables. (Tableau 29, Figure 43).

Tableau 29 : Effet des variables étudiées sur le temps de reconnaissance chez les adultes

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	35.725	2	<.001
Condition	68.643	2	<.001
Statut visuel * Condition	26.161	4	<.001

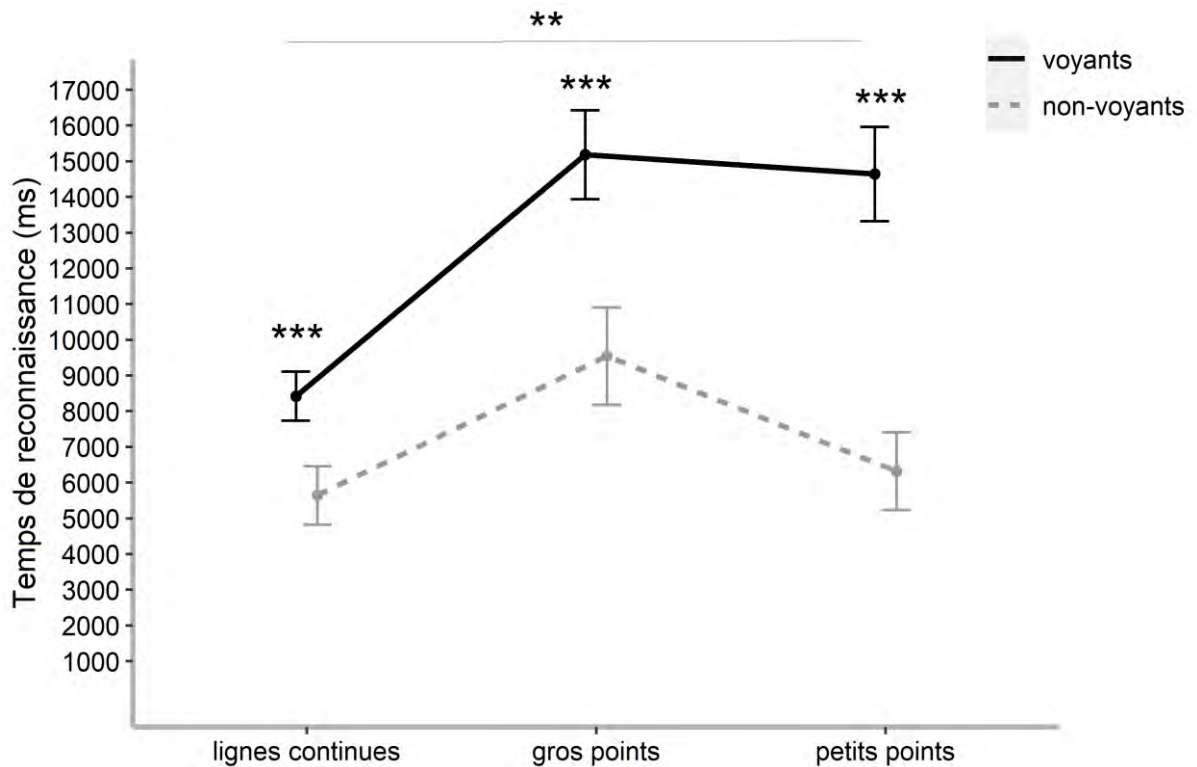


Figure 43 : Effet de la condition et du statut visuel sur le temps de reconnaissance chez les adultes

Effet simple du statut visuel selon la condition : Les participants non-voyants reconnaissent les pictogrammes plus rapidement que les voyants pour toutes les conditions (Tableau 30).

Effet simple de la condition chez les participants voyants : Les temps de reconnaissance sont plus courts pour les pictogrammes en lignes que pour les deux autres conditions (Tableau 31).

Effet simple de la condition chez les participants non-voyants : Les temps de reconnaissance sont plus longs pour les pictogrammes en gros points que pour les deux autres conditions. Les temps de reconnaissance pour les pictogrammes en ligne et en petits points semblent équivalents (Tableau 32).

Tableau 30 : Effet du statut visuel sur le temps de reconnaissance en fonction de la condition

Comparaisons Non-voyants - Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Gros points	0.609	0.119	75.9	5.116	<.001	0.931
Petits points	0.903	0.121	81.4	7.473	<.001	1.214
Lignes	0.473	0.116	67.4	4.065	<.001	0.676

Tableau 31 : Effet de la condition sur le temps de reconnaissance chez les participants voyants

Comparaisons voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Gros points – Petits points	0.039	0.087	125	0.0452	.893	0.131
Lignes – Gros points	0.624	0.085	114	7.360	<.001	0.760
Lignes – Petits points	0.663	0.084	108	7.938	<.001	0.547

Tableau 32 : Effet de la condition sur le temps de reconnaissance chez les participants non-voyants

Comparaisons Non-voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Gros points – Petits points	0.333	0.098	198	3.412	.002	0.538
Lignes – Gros points	0.527	0.093	173	5.618	<.001	0.673
Lignes – Petits points	0.194	0.096	186	2.022	.110	0.124

3.6.3. Effet de l'âge (enfant ou adultes)

Cette analyse inclut tous les participants. L'analyse comprend trois variables à effet fixe : la variable population à deux niveaux comprend 54 adultes et 28 enfants, la variable statut visuel à deux niveaux comprend 26 non-voyants (18 adultes et 8 enfants) et 56 voyants (36 adultes et 20 enfants) et la variable condition à deux niveaux comprend les pictogrammes en petits points et en lignes.

1.1.5.1 Taux de reconnaissance

L'analyse montre un effet principal de l'âge et un effet d'interaction entre les variables âge et condition. Nous n'observons pas d'effet d'interaction entre le statut visuel, l'âge et la condition ni d'effet d'interaction entre l'âge et statut visuel (Tableau 33, Figure 44).

Tableau 33 : Effet des variables étudiées sur le taux de reconnaissance chez les adultes et les enfants

Variable	χ^2	df	p
Âge	16.431	1	<.001
Âge * Condition	33.396	1	<.001
Âge * Statut visuel	2.275	1	.131
Âge * Condition * Statut visuel	2.567	1	.109

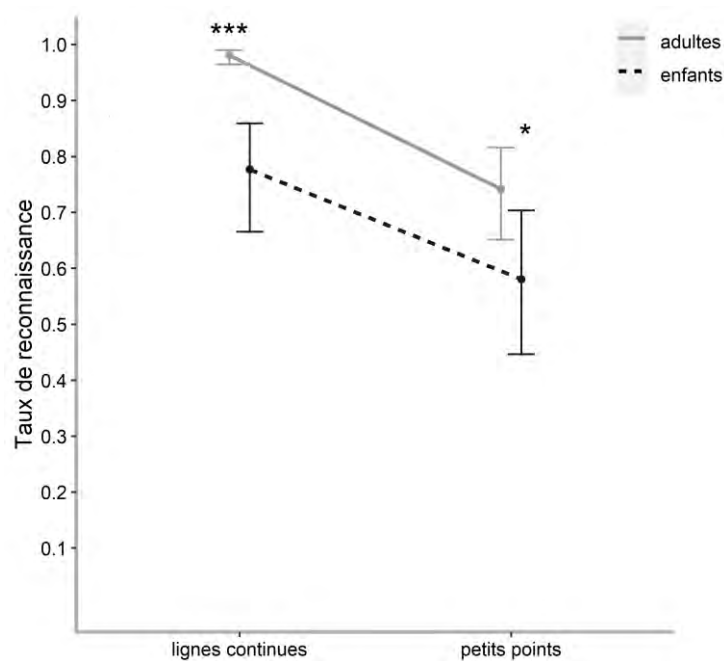


Figure 44 : Effet de la condition et de l'âge sur la reconnaissance

Effet simple de l'âge selon la condition : Les adultes reconnaissent mieux les pictogrammes que les enfants quelle que soit la condition (Tableau 34).

Tableau 34 : Comparaison des taux de reconnaissance selon l'âge

Comparaisons adultes – enfants	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	OR [IC _{95%}]
Petits points	0.703	0.309	2.271	.023	2.074 [1.114, 3.861]
Lignes	2.650	0.391	6.782	<.001	14.682 [4.744, 31.964]

1.1.5.2 Temps de reconnaissance

L'analyse montre un effet principal de l'âge, un effet d'interaction entre l'âge et la condition, un effet d'interaction entre l'âge, la condition et le statut visuel. Nous n'observons pas d'effet d'interaction entre l'âge et le statut visuel (Tableau 35, Figure 45).

Tableau 35 : Effet des variables étudiées sur le temps d'exploration

Variable	χ^2	<i>Df</i>	<i>p</i>
Âge	4.566	1	.032
Âge * Condition	21.512	1	<.001
Âge * Statut visuel	0.008	1	.928
Âge * Condition * Statut visuel	30.034	1	<.001

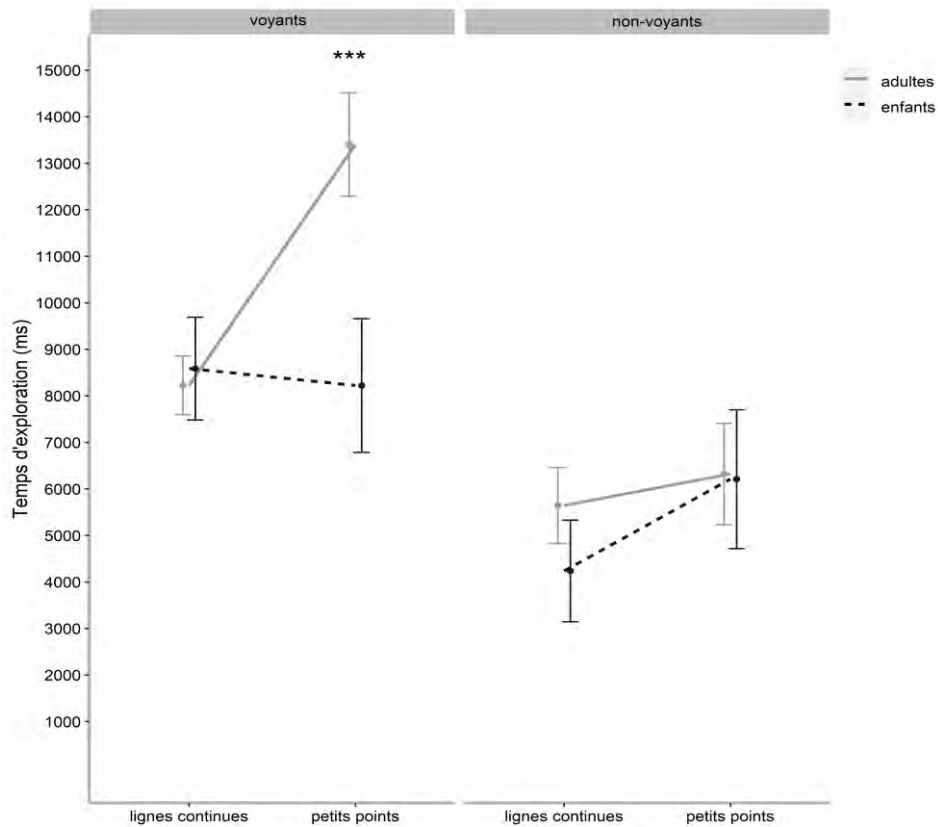


Figure 45 : Effet de la condition et de l'âge sur le temps d'exploration

Effet simple de l'âge chez les participants voyants selon la condition : chez les participants voyants, les temps de reconnaissance sont plus courts chez les enfants que chez les adultes pour les pictogrammes en petits points. Les temps de reconnaissance semblent équivalents pour les pictogrammes en lignes (Tableau 36).

Effet simple de l'âge chez les participants non-voyants selon la condition : Chez les participants non-voyants, les temps de reconnaissance pour les pictogrammes en petits points et les pictogrammes en ligne semblent équivalents (Tableau 37)

Tableau 36 : Comparaison des temps de reconnaissance chez les enfants et adultes selon la condition dans le groupe de voyants

Comparaisons Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits point : Enfants - adultes	0.568	0.112	147.7	5.073	<.001	0.791
Lignes : Enfants - adultes	-0.101	0.104	112.9	-0.954	.339	0.047

Tableau 37 : Comparaison des temps de reconnaissance chez les enfants et adultes selon la condition dans le groupe de non-voyants

Comparaisons Non-voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits point : Enfants - adultes	0.064	0.158	112.6	0.405	.686	0.017
Lignes : Enfants - adultes	0.255	0.153	98.2	1.671	.097	0.394

3.6.4. Récapitulatif des principaux résultats

Les pictogrammes en lignes sont mieux reconnus par tous les participants.

Chez les enfants, le taux de reconnaissance des non-voyants est supérieur à celui des voyants dans les deux conditions étudiées (lignes et petits points). Chez les adultes, aucun effet du statut visuel n'a été observé.

Cependant, nous observons un effet de l'utilisation du braille. Dans toutes nos simulations, les participants braillistes reconnaissent mieux les pictogrammes en petits points que les non braillistes. Dans 67% des simulations ils reconnaissent également mieux les pictogrammes en gros points que les participants non-braillistes.

Chez les participants braillistes, les pictogrammes en lignes sont mieux reconnus que les pictogrammes en gros points et en petits points dans toutes nos simulations et nous n'observons pas de différence significative entre les conditions gros points et petits points dans 76% des simulations.

Chez les participants non-brailleux les pictogrammes en lignes sont mieux reconnus que les pictogrammes en gros points qui sont mieux reconnus que les pictogrammes en petits points.

Enfin, quel que soit le statut visuel et la condition, les taux de reconnaissance observés chez les adultes sont supérieurs à ceux observés chez les enfants.

Au niveau des temps de réponse, les participants non-voyants (adultes ou enfants) reconnaissent les pictogrammes plus rapidement que les voyants. De plus, chez les participants non-voyants (adultes ou enfants) nous n'observons pas de différence significative pour les temps de réponse dans les conditions lignes et petits points. Chez les adultes non-voyants, les pictogrammes en gros points sont reconnus moins rapidement que les pictogrammes des deux autres conditions. Chez les participants voyants (adultes ou enfants) les pictogrammes en lignes sont reconnus plus rapidement que les pictogrammes en points (gros ou petits points).

3.7. Discussion

Cette étude avait pour but d'analyser les éventuels effets de la taille du doigt, de la condition, du statut visuel, de l'utilisation régulière du braille et de l'âge des participants (enfants ou adultes) sur la reconnaissance de pictogrammes en lignes continues et en points. Nous avons proposé huit hypothèses pouvant être complémentaires pour interpréter ces résultats ([Tableau 38](#)). Les résultats de cette étude nous permettront de discuter de l'influence de l'utilisation de point distinct pour représenter des pictogrammes et de l'espace entre les points sur la reconnaissance de pictogrammes.

Tableau 38 : Hypothèses proposées

Effet de la taille du doigt	
Hypothèse 1	La taille du doigt affecte négativement la reconnaissance des pictogrammes
Effet du statut visuel	
Hypothèse 2	L'entraînement et la familiarité avec du contenu tactile influence positivement la reconnaissance des pictogrammes
Hypothèse 3	L'utilisation de formes figuratives basées majoritairement sur des représentations visuelles affecte négativement la reconnaissance pour des participants non-voyants et en particulier non-voyants précoces
Effet de l'utilisation régulière du braille	
Hypothèse 4	L'utilisation régulière du braille influence positivement la reconnaissance de pictogrammes en points
Effet de l'âge	
Hypothèse 5	L'âge des participants influence positivement la reconnaissance des pictogrammes.
Effet de la condition	
Hypothèse 6	L'utilisation de pictogramme affecte négativement la reconnaissance
Hypothèse 7	L'utilisation de points distincts pour représenter des pictogrammes affecte négativement la reconnaissance
Hypothèse 8	La taille et l'écartement des points dans la conditions gros point affectent négativement la reconnaissance

3.7.1. Effet de la taille du doigt

Hypothèse 1 : La taille du doigt affecte négativement la reconnaissance des pictogrammes

Nous avons observé un effet de la taille de l'index chez les adultes : plus les personnes ont de larges index plus elles ont de difficultés à reconnaître les images. L'hypothèse 1 est donc vérifiée.

3.7.2. Effet du statut visuel

Hypothèse 2 : l'entraînement et la familiarité avec du contenu tactile influencent positivement la reconnaissance des pictogrammes

Les temps de réponses chez les participants non-voyants (enfants ou adultes) sont plus courts que chez les participants voyants (enfants ou adultes). De plus, chez les enfants les taux de reconnaissance sont également plus élevés chez les enfants non-voyants par rapport aux enfants voyants. Ces résultats montrent un effet de l'expérience haptique et confirment l'hypothèse 2.

Hypothèse 3 : L'utilisation de formes figuratives basées majoritairement sur des représentations visuelles affectent négativement la reconnaissance pour des participants non-voyants et en particulier non-voyants précoces

Chez les adultes aucun effet du statut visuel n'est observé et chez les enfants les non-voyants reconnaissent mieux les pictogrammes que les voyants. L'hypothèse 3 est donc réfutée.

3.7.3. Effet de l'utilisation régulière du braille

Hypothèse 4 : L'utilisation régulière du braille influence positivement la reconnaissance de pictogrammes en points.

Chez les adultes il semble que ce soit plutôt l'utilisation régulière du braille qui influence la reconnaissance des pictogrammes. Cependant, cet effet n'est observé que pour la condition pictogrammes en petits points pour laquelle les adultes non-voyants brailleuses ont de meilleures performances que les adultes non-brailleuses (voyants ou non-voyants). Pour les pictogrammes en gros points, les participants brailleuses montrent des performances significativement supérieures dans 67% de simulations. La familiarité avec ce type de stimuli a pu permettre aux personnes brailleuses de mieux extraire les informations liées aux pictogrammes en petits points. L'hypothèse 4 est donc vérifiée.

3.7.4. Effet de l'âge

Hypothèse 5 : L'âge des participants influence positivement la reconnaissance des pictogrammes.

Les enfants (voyants ou non-voyants) ont montré de moins bonnes performances que les adultes (voyants ou non-voyants). L'hypothèse 8 est donc vérifiée.

3.7.5. Effet de la condition

Hypothèse 6 : L'utilisation de pictogramme affecte négativement la reconnaissance

Les taux de reconnaissance pour les pictogrammes en lignes sont particulièrement bons : environ 80% pour les enfants et 98% chez les adultes. De plus, les participants ont passé moins de 10 secondes par pictogramme pour les apprendre et peuvent les reconnaître en moins de 15 secondes. Ces résultats réfutent l'hypothèse 6. Au contraire, l'utilisation de pictogrammes semble donc une méthode d'illustration efficace.

Hypothèse 7 : L'utilisation de points distincts pour représenter des pictogrammes affecte négativement la reconnaissance

Les pictogrammes en lignes ont été mieux reconnus que les pictogrammes en points par tous les groupes. Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse 7.

Hypothèse 8 : La taille et l'écartement des points dans la conditions gros point affectent négativement la reconnaissance

Chez les adultes, nous n'observons pas de différences significative pour le taux de reconnaissance des pictogrammes en gros points et en petits points. Cependant, chez les adultes non-voyants, le temps de reconnaissance des pictogrammes en gros point est plus élevé que celui des pictogrammes en petits points.

De plus, bien que nous n'ayons pas mené d'analyse statistique car les données ont été récoltées à des moments différents, il semble que les pictogrammes en gros point soient plus difficiles à traiter pour les enfants non-voyants (taux de reconnaissance : 54,0%, $IC_{95\%} = [46.3, 61.8]$) que les pictogrammes en petits points (taux de reconnaissance 78.7%, $IC_{95\%} = [60.8, 90.3]$).

Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse 8. Il est possible que les pictogrammes en petits points soient trop petits pour les adultes qui ont de plus gros doigts. Chez les enfants (qui ont de petits doigts), la taille des pictogrammes en petits points poserait moins de problème et permettrait aux enfants d'avoir de meilleures performances par rapport aux pictogrammes en plus gros points, plus difficiles à percevoir comme une forme globale.

Il est possible que le fait d'avoir des doigts plus larges limite les mouvements d'exploration à réaliser pour extraire les informations tactiles. La reconnaissance tactile implique alors plus la perception cutanée pour les personnes ayant de plus gros doigts que pour les personnes ayant des doigts plus fins. Ce résultat contredit l'hypothèse 4 selon laquelle accéder directement à la forme globale sous la pulpe du doigt peut améliorer la reconnaissance. Il est possible que les participants pouvant explorer tout le pictogramme sous la pulpe du doigt aient posé leur doigt sur le pictogramme de façon statique. Or différentes études observent que l'exploration passive sans aucun mouvement du système main-épaule est moins efficace (Austin & Sleight, 1952; Heller, 1980; Heller & Myers, 1983; Loomis, 1981; Nobuo 1990; Phillips et al., 1983). De ce fait, bien que les pictogrammes en gros points puissent être plus difficiles à appréhender, les performances resteraient meilleures qu'avec les pictogrammes en petits points.

Cette hypothèse est soutenue par les dessins produits par les adultes voyants. À la fin de chaque session (apprentissage-rappel) pour chaque condition, nous avons demandé aux adultes voyants de dessiner leur perception des pictogrammes. Nous avons observé des différences dans les réponses fournies pour les pictogrammes en points. Certains participants dessinent les pictogrammes avec des lignes (bien qu'ils aient été présentés en gros points ou en petits points) tandis que d'autres dessinent les pictogrammes avec des points distincts (Figure 46).


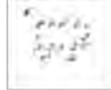

Pictogramme présenté	Exemple de dessins fournis	
	Dessin en point	Dessin en ligne
		

Figure 46 : Exemple de dessins de pictogrammes

Nous observons que 56% des participants fournissent des réponses en lignes et 44% des réponses en points (Figure 47). Parmi les participants ayant donné des réponses en points, 47% fournissent des réponses en points pour tous les pictogrammes dans les deux conditions (gros points et petits points) (Figure 47) et 53% fournissent des réponses en points pour un ou plusieurs pictogrammes dans la condition gros points uniquement (35% fournissent des réponses en points pour un ou deux pictogrammes et 18% fournissent des réponses en points pour tous les pictogrammes) (Figure 47).

Nous partons de l'hypothèse que les participants produisent des dessins en points lorsqu'ils ont eu des difficultés à percevoir la forme globale du pictogramme. Nous observons un total de 25% des participants qui ont fourni une réponse en points pour un ou plusieurs pictogrammes de la condition gros points alors qu'ils fournissent une réponse globale pour la condition petits points. Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse 3 selon laquelle la taille et l'écartement des points dans la conditions gros point influence négativement la reconnaissance. Ce qui expliquerait le fait que les enfants aient eu des difficultés lors de la première étude avec les pictogrammes en gros points.

Python	Fraise	Poignard	Chou-fleur	Sparadrap
Collier	Sac	Cintre	Chat	Poupée
Caddie	Lunettes	Oiseau	Nectarine	Hot Dog
Ballon	Espadrille	Poisson	Encinte	Ceinture
Bourdon	Épuiette	Manette	Fleur	Sapin
Mouton	Chapeau	Balayette	Jogging	Crayon

Réponses en lignes pour toutes les conditions

Python	Fraise	Poignard	Chou-fleur	Sparadrap
Collier	Sac	Cintre	Chat	Poupée
Caddie	Lunettes	Oiseau	Nectarine	Hot Dog
Ballon	Espadrille	Poisson	Encinte	Ceinture
Bourdon	Épuiette	Manette	Fleur	Sapin
Mouton	Chapeau	Balayette	Jogging	Crayon

Réponses en points pour les pictogrammes en gros et petits points

Python	Fraise	Poignard	Chou-fleur	Sparadrap
Collier	Sac	Cintre	Chat	Poupée
Caddie	Lunettes	Oiseau	Nectarine	Hot Dog
Ballon	Espadrille	Poisson	Encinte	Ceinture
Bourdon	Épuiette	Manette	Fleur	Sapin
Mouton	Chapeau	Balayette	Jogging	Crayon

Réponses en points dans la condition gros points

Python	Fraise	Poignard	Chou-fleur	Sparadrap
Collier	Sac	Cintre	Chat	Poupée
Caddie	Lunettes	Oiseau	Nectarine	Hot Dog
Ballon	Espadrille	Poisson	Encinte	Ceinture
Bourdon	Épuiette	Manette	Fleur	Sapin
Mouton	Chapeau	Balayette	Jogging	Crayon

Réponse en points pour un des pictogrammes de la condition gros points

Figure 47 : Exemple de dessins produits par les adultes voyants

4. Analyse par item

Afin de mieux comprendre les différences liées à la taille et à l'écartement des points et les difficultés liées à la perception des pictogrammes en points nous avons réalisé une analyse par item. En effet il semble que certains pictogrammes aient été mieux reconnus que d'autres (Tableau 39). Nous avons créé différentes variables permettant d'apprécier différentes caractéristiques des pictogrammes : le nombre de points utilisés pour représenter le pictogramme, le type d'image, le fait que le pictogramme suggère un arrondi et la similitude avec d'autres items de la liste.

4.1. Méthodes

Le nombre de points est une variable continue qui correspond au nombre de points en relief qui ont été utilisés pour créer le pictogramme allant de 5 à 18 pour une moyenne de 10. Nous avons également créé une variable « type d'image » (contour ou plein ; cf Figure 48) qui comprend 15 pictogrammes avec contours et 15 pictogrammes pleins.

La représentation de pictogrammes sur une matrice de 5x5 ne permet pas de suggérer des courbes lisses mais plutôt des changements abrupts de direction. Nous avons donc créé une variable arrondi avec un code binaire (0 absence d'arrondi, 1 : présence d'arrondi cf Figure 35 présentée précédemment). Cette variable comprend 14 pictogrammes avec un arrondi et 16 pictogrammes sans arrondi.

Enfin, pour évaluer la similitude entre pictogrammes, nous avons codé chaque matrice de pictogrammes avec un code binaire (1 : présence d'un point et 0 : absence de point). Nous avons compté le nombre de points communs entre un pictogramme et chaque pictogramme de la liste. Nous avons ensuite fait la moyenne de ces valeurs. Cette moyenne constitue le score de similitude. La similitude est une variable continue allant de 40 à 67 pour une moyenne de 55.

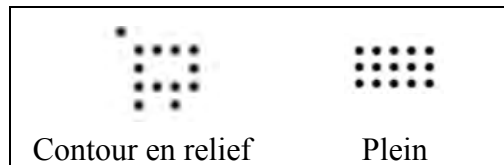


Figure 48 : Exemple de pictogramme avec contours en relief et plein

L'analyse statistique comprend donc quatre variables à effet fixe : la variable nombre de points, la variable type d'image, la variable arrondi et la variable similitude. Cette analyse a fait l'objet d'une publication (Mascle, Jouffrais, Kaminski, & Bara, 2020).

Nous avons observé précédemment que l'âge des participants a un effet sur la reconnaissance. Nous avons donc inclus la variable âge (adulte ou enfant) comme variable aléatoire dans le modèle. Les participants ont également été inclus comme variable aléatoire.

Nous avons séparé l'analyse des pictogrammes en gros points, des pictogrammes en petits points et des pictogrammes en lignes. En effet, nous avons observé des différences dans les temps d'exploration, de reconnaissance et les taux de reconnaissance entre ces 3 types de pictogrammes. Cette analyse peut nous permettre de mieux comprendre les différences entre ces conditions, et en particulier les différences entre pictogrammes en gros points et en petits points. Il est possible que le fait d'utiliser des petits points puisse diminuer l'effet de certaines variables comme par exemple le nombre de points. Enfin, les variables telles que le nombre de points et le type d'item (en contour ou plein) ne sont pas applicables aux pictogrammes en lignes. Nous avons donc analysé les pictogrammes en lignes à part.

Tableau 39 : Taux de reconnaissance par pictogramme selon la condition

Pourcentage de reconnaissance moyen			
Pictogramme	Gros points	Petits points	Lignes
balayette	45.9	47.0	82.1
ballon	45.9	68.4	96.1
bourdon	72.9	47.0	89.2
caddie	75.6	57.8	88.4
ceinture	62.1	68.4	84.6
chapeau	64.8	58.8	75.0
chat	50.0	42.8	75.0
chou-fleur	61.7	59.0	75.0
cintre	58.8	42.8	92.8
collier	55.8	47.6	85.7
crayon	94.5	100.0	96.4
enceinte	78.3	78.9	84.6
épuisette	59.4	82.3	89.2
espadrille	64.8	57.8	88.4
fleur	62.1	58.8	82.1
fraise	58.8	60.0	89.2
hot dog	56.7	50.0	100.0
jogging	56.7	76.4	92.8
lunettes	43.2	36.8	88.0
manette	75.6	58.8	89.2
mouton	72.9	76.4	89.2
nectarine	54.0	52.6	96.1
oiseau	91.8	78.9	88.4
poignard	61.7	71.4	92.8
poisson	43.2	68.4	92.3
poupée	52.9	80.9	82.1
python	79.4	85.7	96.4
sac	58.8	76.1	85.7
sapin	64.8	76.4	82.1
Sparadrap	52.9	80.9	92.8
Total	62.6	64.8	88.0

Nous avons tout d'abord mené l'analyse sur les pictogrammes en gros points. Pour cette analyse nous avons inclus les réponses des 36 enfants voyants et 18 enfants non-voyants de la première étude, ainsi que des 18 adultes non-voyants et 36 adultes voyants de la deuxième étude. L'analyse inclut donc 108 participants. Cependant chaque participant n'a exploré qu'une liste de dix pictogrammes. Un pictogramme a été exploré par au moins 37 participants (moyenne = 43).

Nous avons ensuite mené l'analyse sur les pictogrammes en petits points et les pictogrammes en lignes. Pour cette analyse nous avons inclus les réponses des 20 enfants voyants, 8 enfants non-voyants, 18 adultes non-voyants et 36 adultes voyants de la deuxième étude. L'analyse inclut donc 82 participants. Cependant, chaque participant n'a exploré qu'une liste de dix pictogrammes. Un pictogramme a été exploré par au moins 27 participants (moyenne = 32).

4.2. Résultats

4.2.1. Le type de pictogrammes (plein ou en contours en relief)

L'effet du type de pictogramme (forme pleine ou contours en relief) est significatif pour les pictogrammes en gros points et en petits points. Cet effet n'a pas été étudié pour les pictogrammes en lignes qui sont tous en contours en relief (Tableau 40, Figure 49).

Les pictogrammes en formes pleines sont mieux reconnus que les pictogrammes en contours. Ce résultat va dans le sens des études de Shimizu et al. (1993) et Thompson et al. (2003).

Tableau 40 : Effet du type de pictogramme sur la reconnaissance selon la condition

Type de pictogramme	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Gros points	5.033	1	0.025
Petits points	4.604	1	0.031

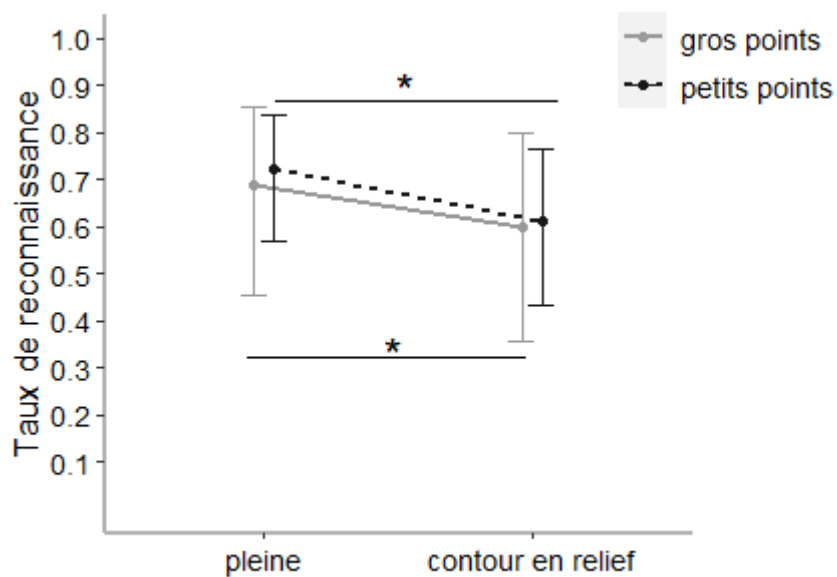


Figure 49 : Taux de reconnaissance en fonction du type de pictogramme selon la condition

4.2.2. L'utilisation d'arrondi

L'effet l'utilisation d'arrondi est significatif pour les pictogrammes en gros points et en petits points. Cet effet n'est pas significatif pour les pictogrammes en lignes. Les pictogrammes sans arrondis sont moins bien reconnus dans les conditions de pictogrammes en gros points et en petits points (Tableau 41, Figure 50)

Tableau 41 : Effet de l'utilisation d'arrondi sur la reconnaissance selon la condition

Utilisation d'arrondi	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Gros points	9.824	1	.002
Petits points	8.842	1	.003
Lignes	0.120	1	.729

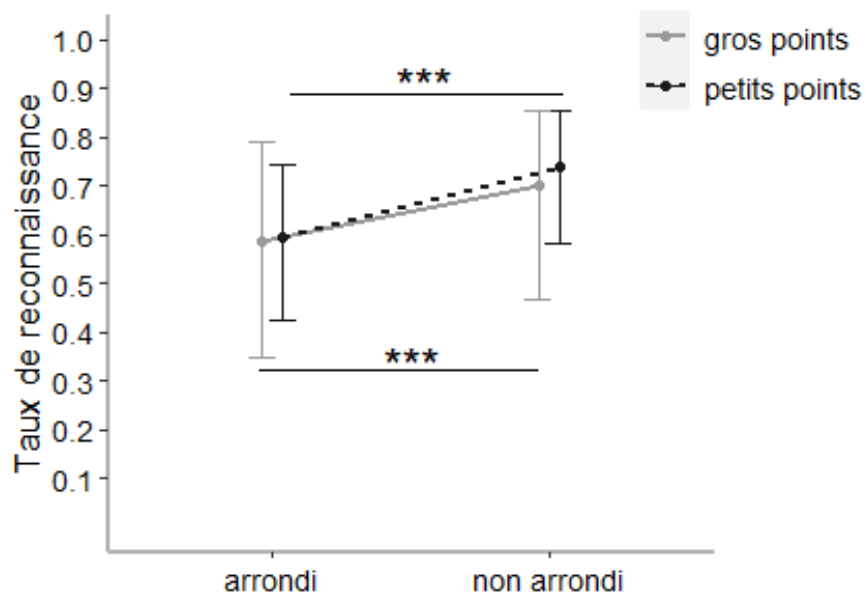


Figure 50 : Taux de reconnaissance en fonction de l'utilisation d'arrondi selon la condition

4.2.3. Le score de similitude

Nous observé un effet significatif du score de similitude pour les pictogrammes en gros points et en petits points. Cet effet n'est pas significatif pour les pictogrammes en lignes continues (Tableau 42, Figure 51)

Tableau 42 : Effet du score de similitude sur la reconnaissance selon la condition

Score de similitude	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Gros points	19.369	1	<.001
Petits points	2.816	1	.093
Lignes	0.784	1	.376

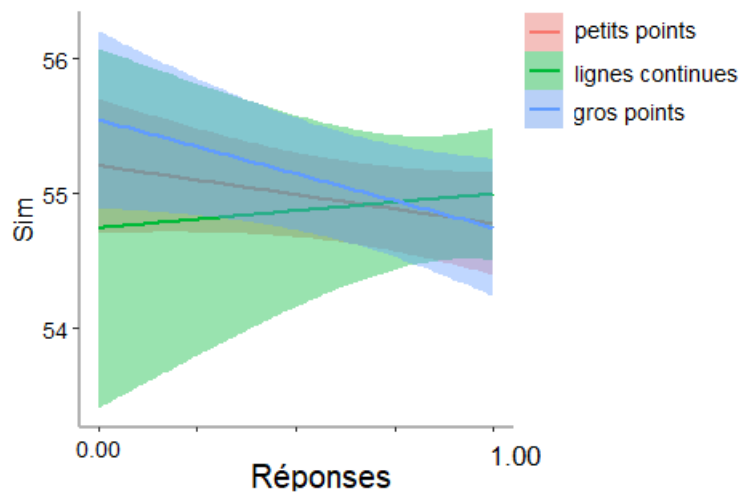


Figure 51 : Effet du score de similitude sur la reconnaissance en fonction de la condition
 (Réponses erronées : 0, réponses correctes : 1)

4.2.4. Le nombre de points

L'effet du nombre de points est significatif pour la condition pictogrammes en gros points. Nous n'observons pas d'effet significatif du nombre de points sur la reconnaissance des pictogrammes en petits points. Les pictogrammes avec un score de similitude plus élevé sont moins bien reconnus (Tableau 43, Figure 52).

Tableau 43 : Effet du nombre de points sur la reconnaissance selon la condition

Nombre de points	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Gros points	10.921	1	<.001
Petits points	3.357	1	0.67

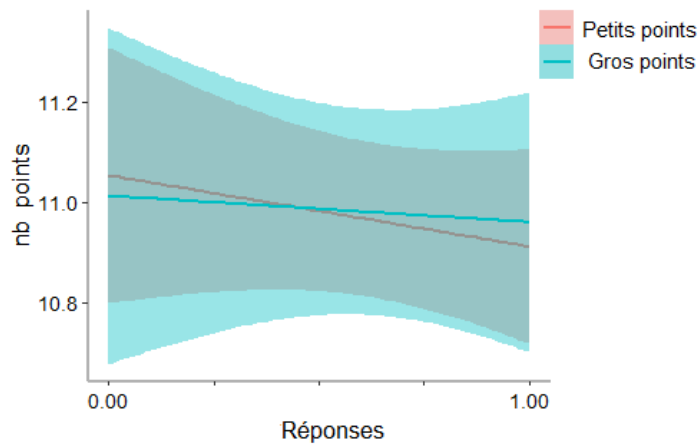


Figure 52 : Effet du nombre de points sur la reconnaissance en fonction de la condition

(Réponses erronées : 0, réponses correctes : 1)

4.3. Discussion

Nous n'observons aucun effet significatif de l'utilisation d'arrondi ou de la similitude pour les pictogrammes en lignes. Lors de la création des pictogrammes en lignes nous avons lissé les courbes créées par les points. Ce lissage permet de rendre les arrondis plus doux et moins abrupts que dans le cas des pictogrammes en points. Les arrondis ne poseraient alors plus de problèmes. De plus, nous n'observons plus d'effet de similitude. Il est possible que l'utilisation de lignes continues ait permis de rendre les pictogrammes plus faciles à discriminer entre eux.

Il est donc possible que les pictogrammes en lignes soient mieux reconnus car plus faciles à discriminer et sans arrondis abrupts.

Nous observons un effet de similitude et de l'arrondi pour les pictogrammes en gros points et en petits points. Cependant, nous n'observons pas d'effet du nombre de points pour les pictogrammes en petits points alors que cet effet est présent pour les pictogrammes en gros points. Le fait que les points soient plus petits et moins écartés peut réduire la charge liée à l'exploration et à l'intégration de nombreux points. Il est donc possible que les pictogrammes

en petits points soient mieux reconnus par les enfants ayant des capacités motrices et d'intégration (mémoire de travail) limitées alors que cet effet est moins important chez les adultes. En effet, nous n'observons pas de différence significative pour le taux de reconnaissance des pictogrammes en gros points et en petits points chez les adultes. Cependant, les adultes non-voyants passent plus de temps à explorer les pictogrammes en gros points que les pictogrammes en petits points.

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé une simplification des images tactiles avec des pictogrammes. Cette simplification semble une bonne solution d'illustration avec des taux de reconnaissance élevés. Il semble que l'utilisation de convention visuelle n'affecte pas la reconnaissance. En effet, nous n'observons pas d'effet du statut visuel chez les adultes et observons de meilleures performances chez les enfants non-voyants par rapport aux enfants voyants.

Nous avons également étudié l'utilisation de pictogrammes en points pouvant être affichés sur des tablettes à picots. En comparant les taux et temps de reconnaissance de pictogrammes en gros points et en petits points nous avons mis en avant un effet de la taille et de l'écartement entre les points sur la reconnaissance.

Nous avons également inclus de nouvelles variable dans nos études telles que l'utilisation régulière du braille et la taille du doigt. Nous avons observé que l'utilisation régulière du braille influence positivement la reconnaissance des pictogrammes en points. La taille du doigt a également un effet sur la reconnaissance de pictogrammes en lignes et en points. Les personnes ayant les doigts les plus larges ont de moins bonnes performances.

Chapitre 4 : Discussion et perspectives

1 Discussion

La littérature sur la perception tactile, les représentations mentales et la reconnaissance des images tactiles nous a permis d'identifier certaines problématiques pouvant entraîner des difficultés d'accès aux images dans les livres tactiles : les contraintes liées à la création des images tactiles, les spécificités du système haptique par rapport au système visuel, les représentations mentales différentes en fonction du statut visuel et l'utilisation de conventions visuelles.

Les recherches menées dans le cadre de ces travaux de thèse nous permettent de mieux comprendre les processus impliqués dans la reconnaissance des images tactiles et de proposer des conseils de conception pour les livres tactiles.

1.1 La simplification des images tactiles

La perception tactile repose sur un ensemble de mécanismes cognitifs complexes. Les différentes parties de l'objet doivent être explorées puis encodées et intégrées en une représentation mentale unifiée. Ce processus, décrit par [Lederman et al. \(1990\)](#), implique des capacités perceptives haptiques (exploration et encodage), ainsi que des capacités mnésiques en mémoire de travail. Les nouvelles informations doivent être rapidement analysées et intégrées aux connaissances préalables. Au fur et à mesure de l'exploration, il faut conserver les zones déjà explorées en mémoire de travail afin de pouvoir les intégrer en une représentation globale ([Overvliet & Krampe, 2018](#)).

Ce processus est encore plus difficile à mettre en place pour les jeunes enfants. L'âge des enfants influence la qualité de leurs perceptions haptiques (Vinter et al., 2012). Selon Gori et al. (2012) la mise en place volontaire de mouvements exploratoires constitue une forme de bruit pour le système haptique en développement qui ne peut être compensé avant l'adolescence. Les capacités mnésiques en mémoire de travail pour le stockage d'informations tactiles évoluent également avec l'âge (Ballesteros et al., 2005; Mazella et al., 2016). Il est possible que les enfants récoltent moins d'informations en raison de leurs capacités d'exploration tactile limitées et qu'ils aient plus de difficultés que les adultes à intégrer les informations en une représentation unifiée de l'objet.

Dans nos travaux, nous proposons de simplifier la forme des images tactiles. Cette simplification peut permettre de limiter les mouvements d'exploration à mettre en place et de limiter le nombre d'informations à intégrer en mémoire de travail. Nous avons étudié la simplification des formes de deux techniques d'illustrations : les images texturées et les images en contours.

1.1.1 Utilisation de ronds de texture

Pour les images en texture, nous avons proposé l'utilisation de ronds de texture. Ces images, non figuratives, permettent de limiter l'exploration haptique à des procédures liées à l'extraction d'informations de type matériel (e.g. mouvement latéral pour le traitement de la texture, pression pour le traitement de la dureté). De plus, ces images permettent d'éviter l'utilisation de représentations visuelles qui peuvent ne pas être comprises par les enfants non-voyants.

1.1.1.1 *Effet de l'utilisation de ronds de texture chez les enfants avec une déficience visuelle*

Nos résultats ont montré que des ronds de texture peuvent être aussi bien reconnus que des images texturées chez des enfants non-voyants (taux de reconnaissance : 87.8%, $IC_{95\%}$ [81.3, .92.2]). De plus, dans notre étude, les ronds de texture étaient reconnus plus rapidement que les images texturées. Nous pensons que les enfants non-voyants n'ont pas traité la forme des images même lorsqu'elle était disponible avec les images texturées. En effet, plusieurs études ont montré que même lorsque des informations sur la forme et la texture sont fournies, les participants ont tendance à se concentrer sur la texture plutôt que sur la forme (Berger & Hatwell, 1993, 1996; Gliner et al., 1969; Lederman & Klatzky, 1997; Siegel & Vance, 1970). De ce fait, les images texturées ou les ronds de texture seraient équivalents pour les enfants non-voyants qui ne traiteraient que la texture. Cependant, les images en ronds de texture permettraient de se repérer dans l'image plus facilement que les images en texturées et sont donc reconnues plus rapidement.

Nous avons également étudié l'effet de l'utilisation de ronds de texture pour l'illustration de livres grâce à des observations de séances de lecture avec des enfants malvoyants et non-voyants. Lors de la lecture, les enfants comprenaient facilement les images. Ils pouvaient ensuite rappeler l'histoire et identifier les personnages présents sur chaque image. Seules quelques difficultés liées à l'utilisation de la technique du gaufrage et à l'utilisation de changements de taille ont été observées. Les images ont permis de représenter des situations qui ne sont pas forcément explicites dans le texte (*e.g.* les pronoms « il » ou « elle » utilisés pour parler des personnages ou bien le fait que la grand-mère soit dans le ventre du loup après qu'il l'a eu mangée). Les inférences ont été correctement faites par les enfants pour toutes ces images. Le taux d'identification des personnages et objets de l'histoire est de 90.3%. L'utilisation de ronds de texture semble donc être une technique d'illustration efficace pour

représenter et illustrer une histoire simplement. Les enfants se repèrent facilement dans l'histoire et peuvent reconnaître tous les personnages.

1.1.1.2 *Effet de l'utilisation de ronds de texture chez les enfants voyants*

Les enfants voyants travaillant sans voir ont eu plus de difficultés à reconnaître les images en ronds de texture par rapport aux images texturées. Cependant, en ayant accès à la vision, ces enfants pourraient facilement distinguer les ronds par leur couleur.

1.1.1.3 *L'utilisation de ronds de texture comme outil d'inclusion*

L'utilisation de ronds de texture permet de contourner le problème de l'utilisation de représentations différentes entre enfants voyants et non-voyants. En effet, la privation de la vision a un effet sur la représentation que l'on se fait du monde. Les représentations mentales créées par les enfants non-voyants et les enfants voyants ou malvoyants semblent être différentes dans leur contenu : les représentations mentales des enfants voyants et malvoyants sont majoritairement visuelles tandis que les représentations mentales des enfants non-voyants sont majoritairement basées sur leur expérience haptique. De même, les normes de représentation iconographique utilisées par les voyants peuvent manquer de sens pour les enfants non-voyants qui n'y sont pas exposés régulièrement. Le fait d'utiliser des images non figuratives comme des ronds de texture permet de contourner ce problème. Les enfants voyants et non-voyants peuvent avoir facilement accès à la texture de l'objet (poils du chat, douceur de la laine du mouton). Cette propriété est donc partagée par les enfants contrairement à la forme globale de l'objet qui peut être difficile d'accès pour les enfants non-voyants.

L'utilisation de ronds de texture permet de simplifier l'image tout en rendant possible l'évolution des personnages de l'histoire. Nous avons observé lors des séances de lecture qu'un changement de forme lié à l'histoire peut être très bien compris par les enfants (e.g. le rectangle pour la peau du loup). Il est donc possible de faire évoluer le personnage en changeant la forme

géométrique utilisée pour le représenter. Les enfants peuvent alors reconnaître le personnage par sa texture ou sa couleur et faire le lien entre l’histoire et le changement de forme du personnage. Des situations d’interactions complexes entre les personnages peuvent également être représentées avec ce type d’image (e.g. la grand-mère et le Petit Chaperon Rouge dans le ventre du loup). L’utilisation d’images simplifiées ne vient donc pas amoindrir les possibilités de représentation et d’interactions entre les personnages.

Une difficulté semble cependant émerger des deux études que nous avons menées sur les ronds de texture : la discrimination des textures. L’utilisation de forme géométriques simples telles que des ronds de texture permet de simplifier les images car la texture est la seule caractéristique à extraire. Cependant, la texture est alors également le seul indice permettant de discriminer un personnage d’un autre. Le choix des textures est donc déterminant pour la reconnaissance de ce type d’images. Dans les deux études nous avons utilisé des ronds de texture uniquement. Cependant, certaines adaptations proposées par « Les Doigts qui Rêvent » proposent l’utilisation de formes géométriques simples (e.g. rond, carré, rectangle, triangle) pour représenter les personnages (Figure 53). Chaque personnage est associé à une forme géométrique simple et à une texture. Ce type d’image pourrait compenser les éventuelles difficultés de discrimination de texture : si deux textures sont trop proches, la forme géométrique simple permet de distinguer les deux personnages entre eux.



Figure 53 : Où es-tu lune ? Version originale et version adaptée en forme géométriques simples

L'utilisation de ronds de couleur pour représenter les personnages existe déjà dans certains livres du commerce. Ces livres ont parfois été adaptés pour un public d'enfant avec une déficience visuelle en rajoutant de la texture sur les ronds de couleur. C'est le cas du livre *Petit Chaperon Rouge* illustré par Warja Lavater que nous avons utilisé lors des séances de lecture. Nous avons montré que ce type de représentation convient à des enfants non-voyants et malvoyants qui les comprennent et les reconnaissent facilement. Les images en ronds de textures colorés peuvent donc être comprises par un public d'enfants voyants et non-voyants. Ce type de matériel pourrait donc constituer un outil d'inclusion intéressant dans une fratrie ou à l'école.

1.1.2 Utilisation de pictogrammes en lignes

Pour les images en contours, nous avons proposé l'utilisation de pictogrammes pour simplifier la forme des images. L'exploration de pictogramme implique la mise en place de la procédure de suivi de contour qui demande une certaine coordination motrice et nécessite une intégration finale des informations en une représentation unifiée de l'objet. Cependant les pictogrammes présentent un nombre limité d'informations et sont de petite taille. Nous pensons que cela peut les rendre plus facile à explorer que des images en contours plus détaillées. Cela peut également permettre de limiter la charge mentale liée à l'intégration des informations tactiles. Nous avons mené une étude auprès d'adultes et d'enfants, voyants et non-voyants.

1.1.2.1 L'utilisation de pictogrammes chez les adultes et les enfants (voyants et non-voyants)

Nous n'avons pas observé d'effet du statut visuel sur la reconnaissance de pictogrammes. Chez les adultes nous avons observé un taux de reconnaissance de 99% (IC 95% = [96.7 ; 99.1]) qui est bien au-dessus des taux de reconnaissance observés dans toutes les

études sur les images tactiles (Picard et Lebaz (2012) : méta analyse de 15 études : moyenne = 42%, SD = 21). Nous avons également observé un taux de reconnaissance élevé de près de 80% (IC_{95%}=[69.2, 87.5]) chez les enfants comparé aux autres études sur cette population (Tableau 3 : taux de reconnaissance moyen : 41.38% , SD = 20.23). De plus, les participants ont passé moins de 10 secondes par pictogramme pour les apprendre et peuvent les reconnaître en moins de 15 secondes.

1.1.2.2 *L'utilisation de pictogrammes comme outil d'inclusion*

Nous n'observons pas d'effet du statut visuel (voyants vs. non-voyants) sur la reconnaissance des pictogrammes. Le fait d'utiliser des représentations iconographiques (e.g. représentation d'un oiseau par un V) ne semble pas avoir posé de problème aux personnes non-voyantes. Il serait donc possible d'utiliser les mêmes illustrations pour des enfants voyants et non-voyants.

Dans plusieurs livres pour enfant voyants, il est possible d'observer l'utilisation de pictogrammes pour représenter les personnages. Différentes banques de données de pictogrammes ont également été créées pour aider les personnes en situation de handicap (e.g. TSA, handicap auditif). Il serait alors possible d'envisager l'utilisation de pictogrammes identiques pour des enfants en situation de handicap visuel et cognitif ou sensoriel. Ce résultat est d'implication majeure dans une démarche inclusive.

Au-delà de l'illustration de livres, l'utilisation de pictogramme pourrait être envisagée dans les écoles afin de faciliter l'inclusion scolaire des enfants en situation de handicap sensoriel ou cognitif. Dans ce sens, la Fédération nationale pour l'Inclusion des personnes en Situation de handicap sensoriel et DYS en France (FISAF) propose une formation pour la création de pictogrammes tactiles. Des professionnels de la déficience visuelle ayant suivi cette formation commencent à utiliser des pictogrammes dans les centres pour la déficience visuelle. Une

équipe de professionnels de l'Institut Régional des Sourds et Aveugles (IRSA) de Bordeaux a créé une banque de pictogrammes pour répertorier les salles et les matières sur les emplois du temps des enfants. Le dispositif vient d'être mis en place et nous attendons les retours d'utilisation.

La simplification des images tactiles et en particulier de leur forme semble être une proposition efficace pour la création d'images tactiles. Lors de la création d'images tactiles, il est important de s'abstraire des représentations de personnes voyantes pour prendre en compte les spécificités du système haptique et les représentations que se construisent les personnes privées de la vision. Différentes recherches montrent que ces représentations sont plus basées sur des expériences haptique et auditive chez les personnes non-voyantes alors qu'elles sont très majoritairement visuelles chez les personnes voyantes. Cependant, nous avons montré au travers de nos études qu'une forme détaillée n'est pas nécessaire aux enfants pour associer un personnage à une représentation et pour profiter des illustrations tactiles lors de la lecture d'un livre illustré.

1.1.3 De la simplification à une représentation proche de la réalité

L'une des limitations de la simplification des images est l'accès à la représentation de l'objet. En effet, les images tactiles simplifiées, ne permettent pas à l'enfant de se faire une représentation claire du personnage qui est représenté. Que ce soit pour les ronds de textures ou les pictogrammes, une même représentation pourrait correspondre à différents objets (*e.g.* le rond de poil pour représenter le chat pourrait également représenter un chien, l'animal à quatre pattes pour représenter le mouton pourrait également représenter une vache). Ce type d'image ne permet donc pas à l'enfant de connaître toutes les caractéristiques de l'objet ou du personnage représenté (*e.g.* une boule de poil pour représenter le chat ne permet pas à l'enfant

de savoir qu'un chat a quatre pattes, une queue et des moustaches). Cependant, nous n'avons aucune information nous permettant de dire que la représentation bidimensionnelle des objets sous formes d'image tactile permette à l'enfant de se faire une bonne représentation de ce qu'est un chat.

La mise en place d'une médiation avec des objets miniatures pour les personnages présents dans l'histoire pourrait permettre à l'enfant de construire des représentations mentales plus précises. Cette démarche est utilisée par Vanessa Mourey-Soriano, transcriptrice en documents à l'INSHEA. Elle a réalisé une adaptation en relief du livre *Les trois petits cochons* aux éditions « raconte à ta façon » de Flammarion. Dans ses séances de lecture avec les enfants, elle présente des représentations miniatures des personnages et permet aux enfants d'apprendre l'association entre cette représentation miniature et le pictogramme représentant le personnage (Figure 54). Nous pensons que ce type de démarche permet à l'enfant de se construire une meilleure représentation du personnage tout en pouvant ensuite parcourir les images de l'histoire facilement grâce à des représentations simplifiées.

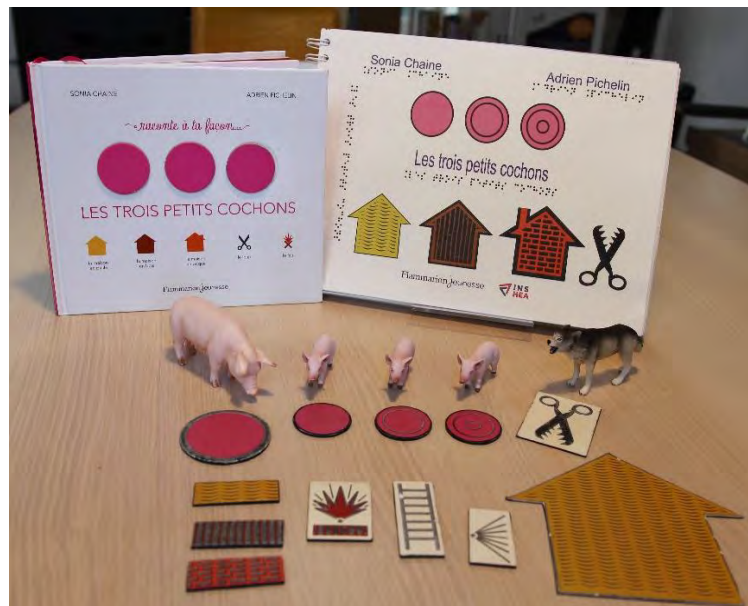


Figure 54 : Médiation proposée par Vanessa Mourey-Soriano

1.1.4 De la simplification des images à la simplification du processus de création des livres tactiles

Le travail des transpositeurs est particulièrement coûteux et chronophage (Lewi-Dumont, 1997). Pour la création d'images texturées, différentes textures doivent être découpées et collées sur la page ce qui demande beaucoup de matériel et de temps. Il y a donc très peu de livres tactiles sur le marché. De plus, ces livres sont coûteux et peuvent être fragiles lors de l'utilisation de texture ou se tasser lors de l'utilisation du thermogonflage pour les contours en relief. Nous avons proposé des adaptations permettant de simplifier le travail de création des images tactiles.

1.1.4.1 L'utilisation de rond de texture

L'utilisation de rond de texture ne demande aucune compétence technique ou artistique. À la maison ou à l'école, les enfants pourraient créer leurs propres images avec des chutes de matériel (e.g. tissus, bois, papier peint). Les parents ou enseignants pourraient également facilement créer des illustrations pour les livres. Le temps de travail pour découper des ronds de texture semble moindre par rapport au travail de découpage et collage de texture pour représenter des images figuratives détaillées. Ces livres pourraient donc être moins coûteux à réaliser car les images demandent moins de matériel (une texture par personnage plutôt que plusieurs) et cela prendrait moins de temps.

1.1.4.2 L'utilisation de tablettes à picots rétractables

L'utilisation du braille et la mise en relief des images rend les livres particulièrement encombrants (Figure 55). Afin de limiter l'encombrement lié à la mise en relief des images tactiles, avons évalué l'utilisation de nouvelles technologies de type tablettes à picot rétractables pour l'affichage de pictogrammes. Ces technologies peuvent également permettre aux enfants ou adultes de créer et de modifier facilement les images.



Figure 55 : Exemple de livre original (à droite) et adapté (à gauche)

Notre étude indique que des pictogrammes en points pouvant être affichés sur ce type de dispositifs peuvent être bien reconnus (taux de reconnaissance : 95.4%, $IC_{95\%} = [81.2, 98.9]$) par des adultes brailleux. Ce type de dispositif semble poser plus de problèmes aux participants non-brailleux et voyants. Cependant, pour les personnes voyantes, lors de l'utilisation en contexte de ce type de tablette, l'accès à la vue devrait leur permettre de reconnaître les images sans difficulté.

Chez les enfants, le format de la tablette semble important. Dans une première étude, nous avons observé l'affichage de pictogrammes sur une tablette à faible résolution (picots 4mm espacés de 4mm). Ce format a posé problème pour les enfants, le taux de reconnaissance était de 54,0% ($IC_{95\%} = [46.3, 61.8]$) chez les enfants non-voyants. Dans une deuxième étude nous avons observé l'affichage de pictogrammes basés sur le design d'une tablette à résolution plus élevée (picots de 1 mm espacés de 1 mm) le taux de reconnaissance chez les enfants non-voyants était alors de 78.7% ($IC_{95\%} = [60.8, 90.3]$). L'utilisation de tablettes avec une meilleure résolution est donc conseillée. Il est important que les concepteurs prennent en compte l'effet du design des dispositifs sur la reconnaissance tactile.

Dans nos études, certains pictogrammes étaient mieux reconnus que d'autres. Nous avons mené une analyse pour mieux comprendre les difficultés de perception liées à l'utilisation de ce type de dispositif et fournir des conseils pour la création d'images.

L'un des problèmes liés à l'utilisation de formes en points distincts est l'arrondi. En effet, il est difficile de représenter un arrondi lisse avec des points distincts. Nous avons observé une différence dans la reconnaissance des pictogrammes présentant des formes arrondies et des pictogrammes avec des angles uniquement. Les études menées avec des tablettes à picots physiques utilisent principalement des formes géométriques simples (carré, rectangle, triangle) qui ne présentent pas de formes arrondies. Cependant, dans les études de [Bellik et Clavel \(2017\)](#) et [Velazquez et al. \(2008\)](#) incluant un cercle, cette forme fait partie de celles qui sont le moins bien reconnues. De plus, il semble que l'utilisation de points distincts rende certains pictogrammes assez similaires. Cette similitude a un effet sur la reconnaissance. Il est donc important de créer des formes très différentes pour les illustrations. Le nombre de points a également un effet sur la reconnaissance lors de l'utilisation de tablettes à faible résolution. Nous conseillons donc de limiter le nombre de points utilisés pour créer les images. Enfin, nous observons une meilleure reconnaissance des formes pleines que des formes avec contours. Ce résultat est également observé dans les études de [Thompson et al. \(2006\)](#) et [Schimizu et al. \(1993\)](#).

Selon nos observations, nous recommandons donc de créer des formes géométriques simples, pleines, sans arrondi et avec un minimum de points.

1.2 Des variables qui influencent la reconnaissance des images tactiles

1.2.1 La taille du doigt

[Peters et al. \(2009\)](#) observent que les participants avec les plus gros doigts ont tendance à avoir une acuité tactile plus faible. Les auteurs font l'hypothèse que les mécanorécepteurs

sont plus éparpillés dans les plus gros doigts. À notre connaissance aucune étude n'a évalué l'effet de la taille du doigt sur la reconnaissance d'images tactiles.

Dans l'une de nos études, nous avons évalué cet effet chez des adultes voyants et non-voyants pour la reconnaissance de pictogrammes. Nous avons observé un effet significatif de la taille du doigt sur le taux de reconnaissance. Plus les participants avaient de gros doigts, moins ils étaient performants. Nous n'avons pas observé l'effet de la taille du doigt chez les enfants car celle-ci était largement corrélée à l'âge des enfants. Cependant, il est possible que les enfants ayant de plus petits doigts aient une meilleure sensibilité tactile (car une densité de mécanorécepteurs importante) mais de moins bonnes capacités d'exploration et d'intégration que les adultes. Cette tendance est observée dans notre étude : l'écart entre les enfants et les adultes est moins important pour les pictogrammes en petits points que pour les pictogrammes en lignes. Les pictogrammes en petits points sont de petite taille et demandent donc une sensibilité tactile plus importante pour être traités. Les enfants arriveraient donc mieux à percevoir les pictogrammes en petits points que les adultes mais auraient des difficultés à traiter l'information perçue du fait de capacités d'exploration et d'intégration limitées.

La taille du doigt devrait donc être prise en compte dans les études. En effet, selon la population étudiée il est possible d'observer des différences liées à la taille du doigt (*e.g.* lorsque l'on s'intéresse au sexe biologique, les femmes ont tendance à avoir de plus petits doigts que les hommes et donc une meilleure acuité tactile *cf.* Peters et al. (2009)).

1.2.2 L'expérience visuelle

L'influence de l'expérience visuelle sur la reconnaissance d'images tactiles fait encore débat. Si certains chercheurs considèrent que les personnes voyantes et non-voyantes peuvent comprendre les images tactiles de la même façon (Kennedy, 1993; Kennedy & Bai, 2002),

d'autres considèrent que les processus sont différents et peuvent mettre en difficulté les personnes non-voyantes (Lederman et al., 1990; Thompson et al., 2003)

Selon Hatwell, (2006, p470) « Les aveugles congénitaux n'ont aucune représentation visuelle mais utilisent le toucher et l'audition de manière intensive. Les voyants privés momentanément de la vue bénéficient de très riches représentations visuelles mais sont très peu entraînés à utiliser le toucher sans l'accompagnement visuel habituel. Ces deux facteurs (peu d'exercice de la modalité tactilo-kinesthésique et bénéfice des représentations visuelles antérieures) jouent en sens opposé, et c'est l'effet de leur résultante qui est observé quand on compare les performances tactiles des aveugles congénitaux et des voyants travaillant sans voir. Quant aux aveugles tardifs, ils bénéficient à la fois des représentations visuelles élaborées pendant la première enfance (même si elles ne sont plus conscientes) et de l'exercice du toucher. »

Les études comparant les performances de ces trois populations observent de meilleures performances chez les participants non-voyants tardifs par rapport aux participants voyants (Heller, 1989a) ou des performances équivalentes (Thompson et al., 2006). Dans ces études, les performances des participants non-voyants précoces sont inférieures aux deux autres groupes.

Dans notre étude chez les adultes, nous n'observons pas d'effet du statut visuel mais plutôt un effet de l'utilisation du braille sur la reconnaissance des pictogrammes en points. Il est possible que l'utilisation régulière du braille permette de mieux traiter ces pictogrammes. La cécité ne modifierait pas les seuils de sensibilité cutanée en eux-mêmes mais l'entraînement pourrait avoir un effet en orientant différemment l'attention des personnes non-voyantes (Hatwell, 2003a).

Nous observons un effet du statut visuel sur les temps de réponses et d'exploration durant la phase d'apprentissage. Les participants non-voyants qu'ils soient non-voyants tardifs

ou précoces reconnaissent et apprennent les pictogrammes plus vite que les participants voyants. Il est possible que l'entraînement permette de mettre en place des stratégies d'exploration plus efficaces (e.g. exploration bi-manuelle) qui permettent d'explorer les images tactiles plus rapidement.

Dans les études chez les enfants, les chercheurs ne font pas de différence entre enfants non-voyants tardifs ou précoces. Dans certaines études, les performances d'enfants voyants travaillant sans voir sont comparées à celles d'enfants avec une déficience visuelle (*i.e.* des enfants non-voyants et malvoyants).

Les enfants malvoyants ont un accès limité à la vision mais cet accès peut leur permettre de construire des représentations visuelles du monde. [Orlandi \(2015\)](#) n'observe pas de différence significative entre des enfants non-voyants et malvoyants. Cependant, l'auteure observe des performances supérieures chez les enfants malvoyants par rapport aux voyants. Il est donc possible que ces enfants, inclus dans le groupe d'enfants avec une déficience visuelle, augmentent les taux d'identification observés.

De ce fait, dans nos études, nous avons inclus un petit groupe d'enfants malvoyants dont les résultats ont été traités indépendamment de ceux des enfants non-voyants. Bien que nous n'ayons pas effectué de tests statistiques, les performances des enfants malvoyants étaient bien supérieures à celles des enfants non-voyants et des enfants voyants travaillant sans voir.

Les groupes d'enfants non-voyants et voyants, plus nombreux, ont fait l'objet d'analyses statistiques et de comparaisons. Les études sur la reconnaissance d'images tactiles montrent de meilleures performances des groupes d'enfants non-voyants ou déficients visuels par rapport aux voyants travaillant sans voir ([D'Angiulli et al., 1998](#); [D'Anguilli & Waraich, 2002](#), [Orlandi, 2015](#); [Picard et al., 2014](#)). Cependant, dans nos travaux, il semble que l'avantage des enfants non-voyants soit dépendant de la technique d'illustration utilisée.

Pour les ronds de texture, les enfants non-voyants ont de meilleures performances que les enfants voyants. Il est possible que pour les enfants voyants, l'accès à la texture ne soit pas suffisant pour reconnaître les images. Cette différence de perception peut refléter de moins bonnes capacités de discrimination tactile chez les enfants voyants ou des processus de reconnaissance différents entre enfants voyants et non-voyants.

Selon [Lederman et al. \(1990\)](#), il existe deux modèles de l'appréhension haptique. Lorsque de l'information de type matériel est fournie, l'appréhension haptique peut fonctionner selon le modèle de l'appréhension haptique directe. Ce modèle postule que lorsque de l'information matérielle est perçue, celle-ci est traduite directement en représentation haptique. Le deuxième modèle est le modèle de la médiation visuelle. Ce modèle postule que l'identification haptique des images repose sur un transfert ou traduction de l'information haptique en une image visuelle.

Les enfants voyants passeraient par une traduction des informations tactiles en informations visuelles (modèle de la médiation visuelle). De ce fait, l'utilisation de ronds de texture uniquement rendrait la reconnaissance plus difficile. En effet, l'information de texture est plus difficilement traduite en information visuelle. Les enfants non-voyants mettraient en place une appréhension directe et n'auraient donc pas plus de difficultés à reconnaître des images qui ne proposent pas de forme figurative.

Pour les images texturées nous n'observons pas de différences entre les enfants voyants et non-voyants. Ces images permettent aux enfants voyants d'avoir accès à la forme et de pouvoir traiter l'information selon le modèle de la médiation visuelle et aux enfants non-voyants d'avoir accès à la texture et de pouvoir traiter l'information selon le modèle de l'appréhension haptique directe.

Pour la reconnaissance des pictogrammes nous observons de meilleures performances des enfants non-voyants par rapport aux voyants. Les études basées sur des images en contours montrent également de meilleures performances des enfants non-voyants (D'Angiulli et al., 1998; D'Angiulli & Waraich, 2002) et des enfants avec une déficience visuelle (Picard et al., 2014) par rapport à des enfants voyants travaillant sans voir.

Cependant, les images en contours et les pictogrammes utilisés dans nos études ne proposent pas d'informations matérielles, et ne donnent accès qu'à des informations structurelles liées à la forme qui ne permettraient pas le traitement des informations par le système de l'appréhension haptique directe (Lederman et al., 1990).

Il semble donc que les enfants non-voyants sont capables de traiter des images tactiles qui proposent des informations uniquement sur la forme bien qu'ils n'aient pas, ou peu, accès à des représentations visuelles. Ces résultats vont dans le sens du modèle de la médiation visuelle révisé proposé par Lebaz (2011) (Figure 56). Selon l'auteur, les informations récoltées par le système haptique peuvent être traduites en informations de types divers (visuel, spatial, verbale ou encore kinesthésique). Les enfants voyants se baseraient majoritairement sur des représentations visuelles et donc sur le modèle de la médiation visuelle proposé par Lederman et al (1990) et les enfants non-voyants se baseraient sur différents formats de représentations pour comprendre l'image.

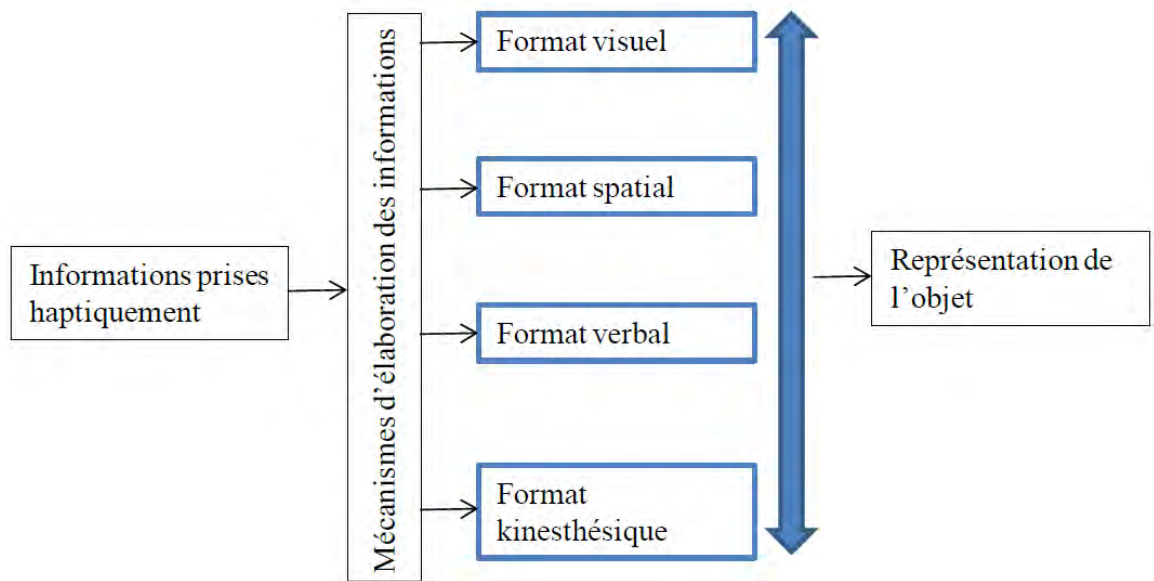


Figure 56 : Modèle de la médiation visuelle révisé par Lebaz (2010)

De plus, les enfants non-voyants ont plus l'habitude d'explorer du matériel bidimensionnel en relief que les enfants voyants et peuvent donc utiliser des stratégies d'exploration plus efficaces. Ces capacités d'exploration leur permettraient de mieux extraire les informations tactiles et donc de mieux reconnaître les images que les enfants voyants.

5.1.1. L'âge des participants

Nous avons comparé les performances d'enfants et d'adultes pour la reconnaissance de pictogrammes. Nos résultats vont dans le sens des observations d'études développementales montrant que les capacités haptiques des enfants n'atteignent celles des adultes qu'à la fin de l'adolescence (Mazella et al., 2016). En effet, les enfants montrent de moins bonnes performances que les adultes.

Chez les jeunes enfants les capacités d'exploration sont encore en développement. Selon Gori et al. (2012) la mise en place volontaire de mouvements exploratoires constitue une forme

de bruit pour le système haptique en développement qui ne peut être compensé avant l'adolescence. Les enfants sont capables de mettre en place les bons mouvements exploratoires lorsqu'ils ne se concentrent que sur une dimension de l'objet mais auraient plus de difficultés à mettre en place d'eux-mêmes une exploration organisée selon plusieurs dimensions de l'objet (Kalagher & Jones, 2011c). De ce fait, il est possible que les enfants aient exploré moins efficacement les pictogrammes que les adultes.

De plus, les capacités en mémoire de travail sont encore limitées chez l'enfant (Ballesteros et al., 2005) or le toucher permet de récupérer de l'information de manière séquentielle et la formation d'une représentation globale nécessite un stockage et un traitement simultané important. Les nouvelles informations doivent être rapidement analysées et intégrées aux connaissances préalables. Au fur et à mesure de l'exploration, il faut conserver les zones déjà explorées en mémoire de travail afin de pouvoir les intégrer en une représentation globale (Overvliet & Krampe, 2018).

Il est donc possible que les enfants récoltent moins d'informations en raison de leurs capacités d'exploration tactiles limitées et qu'ils aient plus de difficultés que les adultes à former une représentation unifiée de l'objet car ayant des capacités en mémoire plus limitées.

Du fait de leurs capacités encore en développement, les enfants n'utiliseraient pas les mêmes stratégies d'exploration pour la reconnaissance d'images tactiles. Les enfants ont tendance à mettre en place des stratégies de « devinette » lors de l'identification haptique d'images en relief Overvliet & Krampe (2018). Les enfants ont tendance à reconnaître les images tactiles en se basant sur une seule caractéristique de l'objet comme par exemple les cornes de la girafe. Les enfants se basent sur des caractéristiques locales de l'objet pour l'identifier sans avoir à passer par la création d'une représentation globale et unifiée de l'objet. Il est donc important de mener les études sur un public d'enfants lorsque le matériel tactile leur est destiné.

1.3 Limites et choix méthodologiques

1.3.1 *Le choix de la tâche*

Les performances d'identification d'images tactiles peuvent être influencées par la nécessité d'accéder au nom de l'objet (Heller et al., 1996). Dans le contexte du livre tactile, la reconnaissance de l'image est guidée par l'histoire qui fournit un contexte pour la récupération du nom des objets et personnages représentés dans l'image.

Nous avons fait le choix de proposer une tâche d'apprentissage d'associations qui s'apparenterait à l'utilisation d'une légende au début de l'histoire. Cette tâche d'associations était composée d'une phase d'apprentissage de dix images et d'une phase de reconnaissance de ces dix images. Les participants pouvaient avoir accès à la liste des images à tout moment. Cette tâche peut permettre de limiter le problème d'accès au nom de l'image.

De plus, une phase de découverte des images comme nous l'avons proposée dans nos études pourrait permettre de limiter les problèmes liés à la méthode de représentation utilisée. En effet, si la représentation proposée dans l'image ne correspond pas à la représentation mentale de la personne qui l'explore, il est possible que cette dernière ait des difficultés à identifier l'image tactile. Dans notre tâche, l'image est présentée au préalable au participant qui peut donc apprendre l'association image/mot. Plusieurs des pictogrammes utilisés dans notre étude présentent des caractéristiques purement visuelles. Par exemple, plusieurs participants non-voyants nous ont demandé pourquoi il n'y avait pas de trou pour passer la tête dans le chapeau (Figure 57). Il est donc probable que les participants n'auraient pas reconnu ce pictogramme s'il n'avait pas été présenté en amont. Durant la phase d'apprentissage les participants peuvent apprendre l'association même s'ils ne la comprennent pas vraiment ou qu'elle leur parait étrange (e.g. un chapeau sans trou pour la tête). Il est également possible

durant cette phase de présentation des personnages de discuter de la représentation proposée avec les personnes qui ne l'auraient pas comprise.

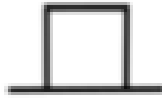


Figure 57 : Pictogramme du chapeau

Dans l'une de nos études nous avons utilisé des images texturées. Nous avons comparé nos résultats à ceux d'autres études utilisant ces images avec des enfants. Dans l'étude de [Theurel et al. \(2013\)](#) le taux de reconnaissance des images texturées avec des enfants non-voyants de 10 ans en moyenne était de 35.87 % (SD = 23.63). Dans cette étude, la catégorie sémantique des images était indiquée aux enfants avant l'exploration tactile. Dans l'étude de [Orlandi \(2015\)](#) le taux de reconnaissance des images texturées chez des enfants de 3 à 12 ans avec une déficience visuelle était de 80% (SD=10) lorsque la reconnaissance est guidée par l'histoire. Dans notre étude chez des enfants non-voyants de 6 à 10 ans nous avons utilisé une tâche d'apprentissage d'associations et nous avons observé un taux de reconnaissance des images texturées de 90.9 % (CI 95% = [83.2, 95.2])). L'utilisation d'une tâche d'association semble donc permettre d'améliorer la reconnaissance des images.

Nos études montrent que les enfants peuvent apprendre au moins dix associations (nous avons proposé des listes de dix mots pour la tâche d'association et le livre *Le petit chaperon rouge* que nous avons étudié comprend huit personnages ou objets). Il est rare qu'un livre pour enfant contienne plus de dix personnages ou objets importants pour l'histoire. Nous pensons donc que la présentation des personnages en début d'histoire peut être une méthode efficace pour aider les enfants à identifier ces personnages par la suite.

5.1.2. Sélection des participants

5.1.2.1. Les critères d'inclusion

Les recherches sur des personnes non-voyantes sont souvent difficiles à mener pour des raisons pratiques liées au faible effectif de ce groupe et à son hétérogénéité (Hatwell, 2003a). Selon les études, différentes stratégies sont adoptées. La première stratégie consiste à privilégier la taille de l'échantillon et inclure un public hétérogène de personnes non-voyantes, malvoyantes et pouvant avoir des troubles associés. Cependant, dans ces conditions il est difficile de faire des comparaisons avec une autre population et de savoir si les difficultés sont liées à la cécité ou aux troubles associés. Ce type d'étude peut être pertinent pour évaluer des dispositifs chez un public de personnes avec une déficience visuelle en prenant en compte toutes les spécificités de la déficience visuelle. L'autre stratégie consiste à réduire les effectifs en incluant un public de personnes en cécité légale et sans troubles associés. Cette stratégie permet de conclure quant aux effets de la cécité sur les difficultés. De plus la comparaison avec un public de personnes voyantes travaillant sans voir permet d'observer l'effet de la cécité sur la perception haptique.

Dans notre étude, nous avons fait le choix de n'inclure que des participants en cécité légale et sans troubles associés. Cependant, les enfants malvoyants représentent la majorité de la population d'enfants avec une déficience visuelle. Nous avons donc inclus de petits échantillons d'enfants malvoyants dont les résultats ont été analysés à part.

5.1.2.2. Les critères d'appariement entre voyants et non-voyants

La comparaison entre participants voyants et non-voyants doit être relativisée chez les enfants. En effet, dans nos études, afin d'avoir un effectif suffisant, le critère d'inclusion sur

l'âge est plus large chez les enfants non-voyants (6 à 10 ans) que chez les enfants voyants (7 à 9 ans). De plus, un retard scolaire d'un à deux ans est fréquent chez les élèves avec une déficience visuelle même lorsqu'ils ne souffrent d'aucun retard mental (Hatwell, 2003a). La question se pose alors de l'appariement selon l'âge chronologique ou scolaire des groupes d'enfants voyants et non-voyants. Il est possible de ne conserver dans le groupe d'enfants non-voyants que les enfants dont l'âge chronologique correspond au niveau scolaire. Cependant, ce choix limite largement l'échantillon d'enfants et met en place une sorte de sélection élitiste d'enfants non-voyants qui ne sont peut-être pas représentatifs de la population.

Selon Hatwell (2003a), les retards scolaires sont liés à des difficultés intrinsèques de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture braille, aux traitements médicaux et hospitalisation fréquents de ces enfants et à leur éloignement des grands centres urbains dans lesquels la prise en charge éducative et sociale est bien organisée. Nous avons été témoin des deux derniers points soulevés par l'auteure lors de notre recueil de données dans les différents centres pour la déficience visuelle. Les enfants en inclusion scolaire se rendaient en général dans les centres une journée dans la semaine et avaient parfois une à deux heures de trajet. Les journées étaient ensuite ponctuées de différentes visites médicales et enseignements spécialisés. Enfin, l'organisation des recueils de données a été régulièrement bousculée pour cause d'hospitalisation des enfants ou d'état de santé ne leur permettant pas de participer à nos études.

Dans nos recherches, nous avons fait le choix de nous focaliser sur l'âge chronologique et non l'âge scolaire. En effet, le parcours scolaire des enfants non-voyants est très varié. Les temps passés en inclusion scolaire et dans les centres peuvent varier selon le centre, sa proximité et l'enfant. Il est donc difficile de savoir si l'âge scolaire correspond aux capacités des enfants.

1.3.2 L'évolution de la prise en charge éducative

La prise en charge éducative des enfants avec une déficience visuelle évolue rapidement. Depuis la loi du 11 février 2005, la majorité des enfants sont en inclusion scolaire. Cette inclusion peut avoir un effet sur le développement des enfants avec une déficience visuelle. De plus, comme nous l'avons mentionné précédemment, la création et le développement de maisons d'édition de livres tactiles illustrés sont récents. Les enfants non-voyants ayant pris part à nos études ont pu avoir plus accès à des images tactiles que la génération précédente. Or, l'entraînement et la familiarité avec des livres tactiles peut influencer les capacités de reconnaissance des images tactiles (Theurel et al., 2013). Il est donc possible que les résultats des études menées sur des générations antérieures ne soient pas transférables aux générations actuelles d'enfants avec une déficience visuelle.

L'étude de population avec un handicap visuel est donc difficile et peut présenter plusieurs biais méthodologiques. Cependant, plus la littérature scientifique et le nombre de recherches sera important et plus il sera possible de généraliser les résultats et de comprendre les spécificités du fonctionnement cognitif liées à la perte de la vision. Ces études restent cruciales pour aider à l'inclusion et à l'accompagnement d'enfants en situation de handicap visuel. De plus en plus de colloques et journées d'étude rassemblant chercheurs et professionnels de la déficience visuelle sont organisés. Ces échanges sont précieux et permettent de confronter les apports de la recherche à la réalité et l'expérience du terrain. En particulier dans le contexte de l'inclusion scolaire, il est nécessaire de fournir des pistes aux futur enseignant pour pouvoir proposer des enseignements accessibles à tous.

2. Perspectives

2.1. Continuer à améliorer la reconnaissance des images tactiles et la conception des livres tactiles illustrés

2.1.1. *Les ronds de texture*

Les séances de lectures ont été menées avec des images en ronds de texture uniquement. Il serait intéressant de comparer l'utilisation d'un livre avec des images en ronds de texture avec un livre comprenant des images texturées. Les images texturées proposent de nombreuses informations qui peuvent rendre plus complexe la compréhension des images. Il est possible que les enfants soient perdus dans leur exploration et aient plus de difficultés à reconnaître les différents personnages présents dans la scène. Nous faisons l'hypothèse que les enfants non-voyants arriveraient mieux à se repérer dans l'image avec les ronds de texture par rapport aux formes texturées.

Nous pensons que l'utilisation de ronds de texture peut être un bon outil d'inclusion. Pour vérifier cette hypothèse, il serait intéressant d'observer l'effet de l'utilisation de ce type d'images sur les interactions entre des enfants voyants, malvoyants et non-voyants lors de séances de lecture. Nous faisons l'hypothèse que les interactions seraient plus symétriques avec l'utilisation de ronds de texture qu'avec des images texturées qui peuvent être plus longues à explorer pour les enfants non-voyants.

Enfin, le livre utilisé dans nos séances de lecture reprend l'histoire du *Petit Chaperon Rouge* déjà connue par les enfants. Il serait intéressant d'évaluer plus en détail la compréhension de l'histoire avec une narration originale et plus complexe.

2.1.2. *L'utilisation de tablettes à picots*

Les tablettes à faible résolution sur lesquelles sont basés les pictogrammes en gros points de nos études coûtent moins cher (moins de 3 000€). Cependant, ces pictogrammes semblent moins bien reconnus par les enfants (taux de reconnaissance : 54,0%, $IC_{95\%} = [46.3, 61.8]$) que les pictogrammes en petits points basés sur des tablettes à plus haute résolution (taux de reconnaissance 78.7%, $IC_{95\%} = [60.8, 90.3]$). L'utilisation de tablettes avec une meilleure résolution est donc conseillée. Cependant, ces tablettes sont pour l'instant difficilement accessibles financièrement. Par exemple, la tablette hyperbraille (picots de 1mm espacés de 1mm) sur une matrice de 76x48 picots (Figure 58) est vendue 15 000 €.



Figure 58 : Exemple de tablette à haute résolution (vendue par Hyperbraille : <http://www.hyperbraille.de/>)

Nous pensons que les pictogrammes en petits points utilisés dans notre étude étaient un frein à la reconnaissance car trop petits pour être bien perçus. Le fait de pouvoir accéder au pictogramme entier sous la pulpe du doigt a pu entraîner l'utilisation de la perception cutanée uniquement : les participants posent le doigt sur le pictogramme et ne font pas de mouvements

d'exploration. Les études comparant la perception passive (sans mouvements d'exploration) et active, montrent de moins bonnes performances tactiles en condition passive (Austin & Sleight, 1952; Heller, 1980; Loomis, 1981; Phillips, Johnson & Browne, 1983).

Il serait intéressant de comparer les performances avec une nouvelle condition présentant des pictogrammes de la taille des pictogrammes en gros points avec des points et écartement de points basés sur le format de tablettes type *Hyperbraille* (<http://www.hyperbraille.de>) comme pour la condition petits points (Figure 59). Nous faisons l'hypothèse que ces pictogrammes seront reconnus aussi bien que les pictogrammes en lignes.

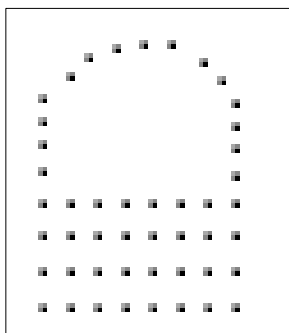


Figure 59 : Proposition de nouveau pictogramme à taille réelle

L'utilisation de tablettes à picots rétractables avec une haute définition semble donc prometteuse pour l'illustration de livre tactile. Cependant, le prix de ces dispositifs ne les rend pas envisageables à grande échelle pour l'instant. L'utilisation de tablettes à faible résolution peut toujours être envisagée, nous avons fourni des recommandations de conception pour améliorer la reconnaissance de pictogrammes en points. Il serait intéressant d'observer le taux de reconnaissance de pictogrammes en points créés selon ces recommandations.

2.2. Finger tracking : un outil pour étudier le fonctionnement de l'exploration haptique

Chez les personnes voyantes, la technologie d'« *eye tracking* » est régulièrement utilisée pour observer les processus cognitifs mis en place lors de l'exploration visuelle d'images ou de texte (Holmqvist, Kenneth & Nystr, 2011). Cette technologie permet de suivre les mouvements des yeux qui explorent. Nous pensons que ce type de méthode peut également être pertinent chez les personnes non-voyantes. On parlerait alors de « *finger-tracking* » permettant de suivre le mouvement des doigts des participants lors de l'exploration d'images ou de texte.

Dans nos études portant sur la reconnaissance des images tactiles nous avons posé des gommettes de couleur sur les index droit et gauche de chaque participant. Grâce à un algorithme de suivi de couleur nous avons pu enregistrer le mouvement de ces doigts pendant l'exploration des images.

2.2.1. Analyse des mouvements d'exploration pour les images tactiles

L'analyse du mouvement des doigts peut nous permettre d'observer certaines stratégies d'exploration comme l'utilisation de mouvements miroirs pour des images symétriques (Figure 60 a). Ces enregistrements permettent également la comparaison des mouvements d'exploration entre la phase d'apprentissage et la phase de rappel. Nous faisons l'hypothèse qu'un parcours d'exploration similaire entre la phase d'apprentissage et de rappel peut favoriser la reconnaissance de l'image (Figure 60 b). Enfin, l'analyse des mouvements d'exploration pourrait nous permettre de mieux comprendre les difficultés de reconnaissance en comparant les mouvements d'exploration mis en place pour une image lorsqu'elle a été reconnue ou non. Nous faisons l'hypothèse que lorsque l'image n'a pas été explorée entièrement lors de la phase d'apprentissage (des points n'ont pas été explorés) alors elle sera plus difficilement reconnue (Figure 60 c). Nous pourrions également observer quelles sont les images qui n'ont pas été explorées entièrement (les points qui n'ont pas été touchés). Cette analyse pourrait nous

permettre de mieux comprendre les difficultés de reconnaissance liées à certains pictogrammes proposés.

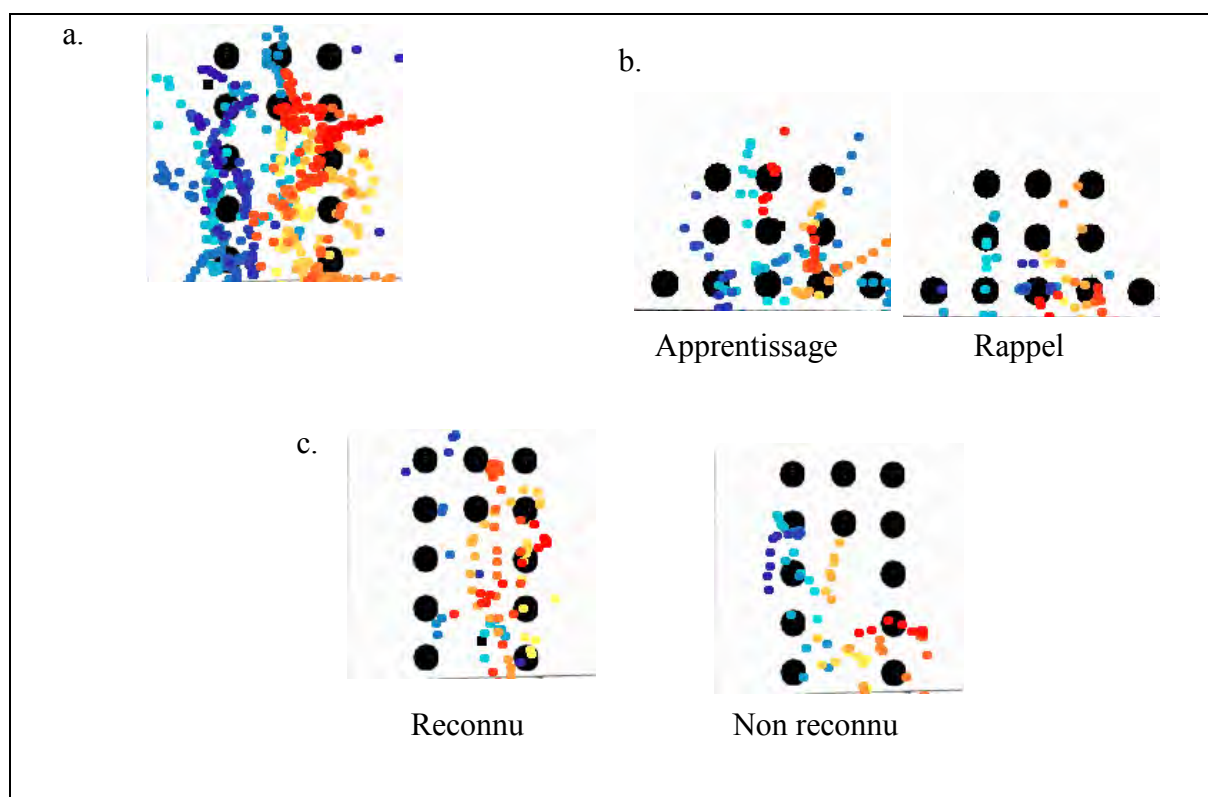


Figure 60 : Exemple de tracé des mouvements d'exploration sur les pictogrammes en points.
L'index gauche est représenté en bleu et l'index droit en rouge. Le dégradé de couleur permet d'observer la temporalité (du plus clair au plus foncé)

Pour les images texturées, l'observation des mouvements d'exploration peut permettre d'observer les informations recueillies par les enfants lors de la reconnaissance. Il semble que pour certaines images texturées les enfants ne mettent pas en place de suivi de contour pour extraire l'information sur la forme mais simplement des balayages pour extraire de l'information sur la texture (Figure 61). Nous faisons l'hypothèse que lorsque la texture est facilement discriminable (douceur du mouton, écailles du poissons) les enfants ne cherchent pas à extraire de l'information sur la forme. L'analyse des mouvement d'exploration des images texturées par les enfants non-voyants peut également nous permettre de valider l'hypothèse selon laquelle les enfants se sont focalisés sur la texture et non sur la forme lors de l'exploration.

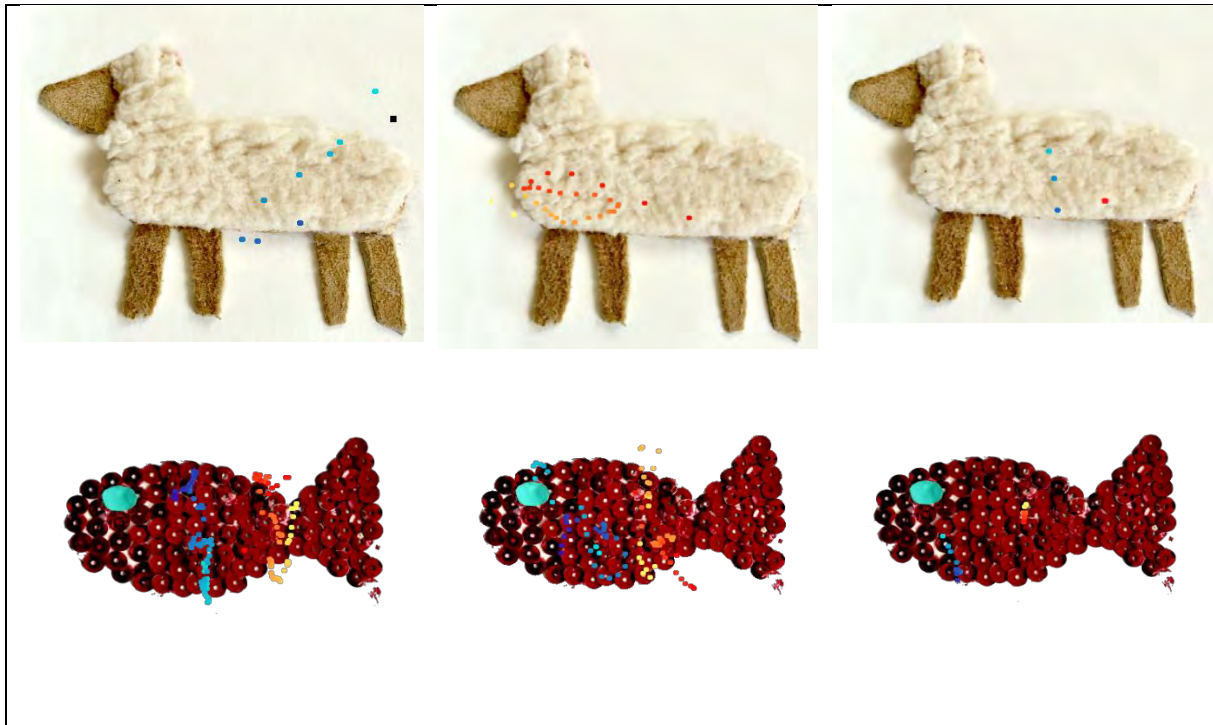


Figure 61 : Exemple de tracé des mouvements d’exploration sur les images texturées

2.2.2. Analyse des mouvements d’exploration pour la lecture du braille

L’utilisation d’illustrations dans un livre peut aider à comprendre l’histoire. Cependant, l’apprentissage du braille reste indispensable pour l’accès à la lecture des enfants avec un handicap visuel sévère. L’Union Mondiale des Aveugles (UMA) « recommande fortement que tous les enfants aveugles et malvoyants se voient offrir la possibilité d’apprendre et de manier correctement le braille (lecture et écriture) et de recevoir une instruction de la part de personnes soigneusement formées et qualifiées pour enseigner le braille ». L’UMA est « très inquiète d’observer que le soutien à l’enseignement, l’emploi et l’investissement en braille baisse, en particulier parmi les éducateurs et les gouvernements, qui croient que les technologies comme les livres électroniques, les livres audio et les lecteurs d’écran peuvent remplacer le braille ».

Ce déclin de l’utilisation du braille est observé depuis les années 60 (Ryles, 1996). Bien qu’il n’y ait pas de consensus sur les raisons de ce déclin, certains facteurs ont été mis en avant

dans la littérature : l'augmentation du nombre d'enfants avec un trouble associé à la déficience visuelle qui ne sont pas lecteurs (Rex, 1989) et le débat sur l'utilité du braille (Thurlow, 1988) en particulier avec l'émergence des technologies utilisant des synthèses vocales (Paul, 1993)

Selon Kent (2012) seuls 14% des enfants non-voyants apprennent le braille. Des milliers d'enfants non-voyants utilisent principalement des synthèses vocales. Cependant, la synthèse vocale ne peut pas remplacer le braille. Les enfants ont besoin d'apprendre à lire et à écrire pour connaître l'orthographe des mots et l'utilisation de la ponctuation. Lewi-Dumont (2009) rapporte que plusieurs jeunes aveugles ont spontanément fait référence au rôle de la maîtrise du braille dans la réussite scolaire d'une personne non-voyante. Ryles (1996) observe que les personnes qui utilisent le braille sont plus susceptibles de terminer des études supérieures et d'être embauchées au niveau pour lequel elles sont qualifiées.

L'apprentissage du braille est plus complexe que celui des lettres en noir (on parle de lettre en noir pour désigner notre alphabet latin). Selon Lewi-Dumont (2016, p143-148) « quand on pense aux difficultés d'apprentissage que peuvent connaître certains élèves, il faut se rappeler qu'il y a plus de caractères en braille qu'en noir (les lettres accentuées sont des caractères qui n'ont rien de commun avec les lettres de départ, par exemple à et a), que le braille est moins présent dans l'univers habituel des élèves et qu'il n'est pas perceptible à distance comme les lettres des affiches dans les rues, que les caractères souvent diffèrent par un seul point (absence ou décalage de quelques millimètres) : un apprentissage très rigoureux est donc nécessaire. », « un élève apprendra tout naturellement les caractères en noir présents partout et pourra les utiliser, mais l'inverse [l'apprentissage du code braille] est beaucoup plus difficile. » De plus, les enfants non-voyants doivent s'entraîner dans leur mouvement manuel en plus de développer des compétences linguistiques de type conscience phonologique, correspondances graphophonétiques, vocabulaire, syntaxe de l'écrit qui sont communes aux enfants voyants dans l'apprentissage de la lecture (Lewi-Dumont, 2016).

Comme pour certains enfants voyants qui ont du mal à apprendre à lire, certains enfants non-voyants ont des difficultés spécifiques liées à la lecture du braille (Coppins & Barlow-Brown, 2006). Cependant, peu d'études ont été menées sur ces difficultés. Nous proposons d'utiliser le « *finger tracking* » sur du texte en braille. L'analyse du mouvement des doigts pourrait nous permettre d'observer les mots, lettres ou groupements de lettre qui semblent poser problème aux enfants. Nous pourrions étudier le nombre d'allers-retours ainsi que le temps passé sur un mot, une lettre ou un groupement de lettre.

3. Conclusion

Les livres illustrés jouent un rôle dès le plus jeune âge dans le développement de la conscience de l'écrit. De plus, ils sont un objet d'échange et de partage que ce soit dans la famille, la fratrie ou à l'école. Dans un contexte d'inclusion scolaire, il est important que les enfants avec une déficience visuelle puissent profiter de livres illustrés de la même façon que leurs camarades voyants avec des images accessibles et faciles à comprendre.

Au travers de notre revue de littérature, nous avons identifié certaines problématiques pouvant entraîner des difficultés d'accès aux images dans les livres tactiles. En recherche fondamentale, nos travaux permettent de mieux comprendre l'influence de variables telles que le statut visuel, l'expérience haptique, ou encore l'âge des participants sur la reconnaissance. En recherche appliquée, nos travaux nous permettent de proposer des techniques d'illustrations permettant de contourner certains problèmes liés à la reconnaissance haptique des images. Ces techniques d'illustration peuvent permettre d'améliorer l'accès aux images et aux livres tactiles. Les résultats de nos études montrent que la simplification des images tactiles peut être une

bonne solution pour simplifier le processus de création des livres tactiles et la reconnaissance des images.

Ces recherches permettent de faire avancer les réflexions sur l'image et le livre tactile. La plupart des images proposées aux personnes avec une déficience visuelle sont de simples mises en relief d'images créées pour des voyants. Dans cette thèse, nous proposons de partir des contraintes liées à la privation de vision pour proposer des images plus accessibles aux personnes non-voyantes. Ces images sont également pensées dans un contexte d'inclusion pour être utilisées aussi bien par des enfants voyants que des enfants non-voyants.

Bibliographie

- Abravanel, E. (1972). How children combine vision and touch when perceiving the shape of objects. *Perception & Psychophysics*, *12*(2), 171–175.
- Abravanel, E. (1973). Division of labor between hand and eye when perceiving shape. *Neuropsychologia*, *11*(2), 207–211.
- Ackerman, P. L. (1988). Determinants of individual differences during skill acquisition: Cognitive abilities and information processing. *Journal of Experimental Psychology: General*, *117*(3), 288.
- Afonso, A., Blum, A., Katz, B. F. G., Tarrux, P., Borst, G., & Denis, M. (2010). Structural properties of spatial representations in blind people: Scanning images constructed from haptic exploration or from locomotion in a 3-D audio virtual environment. *Memory & Cognition*, *38*(5), 591–604.
- Alary, F., Duquette, M., Goldstein, R., Chapman, C. E., Voss, P., La Buissonnière-Ariza, V., & Lepore, F. (2009). Tactile acuity in the blind: a closer look reveals superiority over the sighted in some but not all cutaneous tasks. *Neuropsychologia*, *47*(10), 2037–2043.
- Aleman, A., van Lee, L., Mantione, M. H. M., Verkoijen, I. G., & de Haan, E. H. F. (2001). Visual imagery without visual experience: evidence from congenitally totally blind people. *NeuroReport*, *12*(11).
- Alexander, J. M., Johnson, K. E., & Schreiber, J. B. (2002). Knowledge is not everything: Analysis of children's performance on a haptic comparison task. *Journal of Experimental Child Psychology*, *82*(4), 341–366.
- Appelle, S. (1971). Visual and haptic angle perception in the matching task. *The American Journal of Psychology*, 487–499.
- Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: the "oblique effect" in man and animals. *Psychological Bulletin*, *78*(4), 266.
- Arditi, A., Holtzman, J. D., & Kosslyn, S. M. (1988). Mental imagery and sensory experience in congenital blindness. *Neuropsychologia*, *26*(1), 1–12.
- Arnheim, R. (1976). The perception of maps. *The American Cartographer*, *3*(1), 5–10.
- Austin, T. R., & Sleight, R. B. (1952). Accuracy of tactual discrimination of letters, numerals, and geometric forms. *Journal of Experimental Psychology*, *43*(3), 239.
- Axelrod, S. (1959). *Effects of early blindness: Performance of blind and sighted children on tactile and auditory tasks*. American Foundation for the Blind.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, *255*(5044), 556–559.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Clarendon Press.
- Bairstow, P. J., & Laszlo, J. I. (1978). Perception of movement patterns. Recognition from visual arrays of distorted patterns. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *30*(2), 311–317.

- Ballesteros, S., Bardisa, D., Millar, S., & Reales, J. M. (2005). The haptic test battery: A new instrument to test tactual abilities in blind and visually impaired and sighted children. *British Journal of Visual Impairment*, 23(1), 11–24.
- 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., & Reales, J. M. (2004). Intact haptic priming in normal aging and Alzheimer's disease: evidence for dissociable memory systems. *Neuropsychologia*, 42(8), 1063–1070.
- Bara, F. (2014). Exploratory procedures employed by visually impaired children during joint book reading. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 26(2), 151–170.
- Bara, F., Gentaz, E., & Valente, D. (2018). The effect of illustrations on the reading process of tactile books:: An exploratory study.
- Behrmann, M., & Ewell, C. (2003). Expertise in Tactile Pattern Recognition. *Psychological Science*, 14(5), 480–492.
- Bellik, Y., & Clavel, C. (2017). Geometrical shapes rendering on a dot-matrix display. In *International Conference on Intelligent Human Computer Interaction* (pp. 8–18).
- Berger, C., & Hatwell, Y. (1993). Dimensional and overall similarity classifications in haptics: A developmental study. *Cognitive Development*, 8(4), 495–516.
- Berger, C., & Hatwell, Y. (1995). Development of dimensional vs. global processing in haptics: The perceptual and decisional determinants of classification skills. *British Journal of Developmental Psychology*, 13(2), 143–162.
- Berger, C., & Hatwell, Y. (1996). Developmental trends in haptic and visual free classifications: Influence of stimulus structure and exploration on decisional processes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63(3), 447–465.
- Berkeley, G. (1985). *Philosophical works including the works on vision*. Prabhat Prakashan.
- Berla, E. P., & Butterfield, L. H. (1977). Tactual distinctive features analysis: Training blind students in shape recognition and in locating shapes on a map. *The Journal of Special Education*, 11(3), 335–346.
- Bértolo, H., Paiva, T., Pessoa, L., Mestre, T., Marques, R., & Santos, R. (2003). Visual dream content, graphical representation and EEG alpha activity in congenitally blind subjects. *Cognitive Brain Research*, 15(3), 277–284.
- Bigelow, A. E. (1981). Children's tactile identification of miniaturized common objects. *Developmental Psychology*, 17(1), 111.
- Bjorklund, D. F. (1997). The role of immaturity in human development. *Psychological Bulletin*, 122(2), 153.
- Blake, D. T., Hsiao, S. S., & Johnson, K. O. (1997). Neural coding mechanisms in tactile pattern recognition: the relative contributions of slowly and rapidly adapting mechanoreceptors to perceived roughness. *Journal of Neuroscience*, 17(19), 7480–7489.
- Bower, T. G. (1974). *Development in infancy*. WH Freeman.

- Brisben, A. J., Hsiao, S. S., & Johnson, K. O. (1999). Detection of vibration transmitted through an object grasped in the hand. *Journal of Neurophysiology*, *81*(4), 1548–1558.
- Brown, M. S., & Stratton, G. M. (1925). The spatial threshold of touch in blind and in seeing children. *Journal of Experimental Psychology*, *8*(6), 434.
- Brumaghim, S. H., & Brown, D. R. (1968). Perceptual equivalence between visual and tactual pattern perception: An anchoring study. *Perception & Psychophysics*, *4*(3), 175–179.
- Bryant, P. E., & Raz, I. (1975). Visual and tactual perception of shape by young children. *Developmental Psychology*, *11*(4), 525.
- Burack, J. A., Enns, J. T., Iarocci, G., & Randolph, B. (2000). Age differences in visual search for compound patterns: Long-versus short-range grouping. *Developmental Psychology*, *36*(6), 731.
- Bushnell, E. W., & Baxt, C. (1999). Children's haptic and cross-modal recognition with familiar and unfamiliar objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*(6), 1867.
- Cain, K., Oakhill, J. V, Barnes, M. a, & Bryant, P. E. (2001). Comprehension skill, inference-making ability, and their relation to knowledge. *Memory & Cognition*, *29*(6), 850–859.
- Carpenter, P. A., & Eisenberg, P. (1978). Mental rotation and the frame of reference in blind and sighted individuals. *Perception & Psychophysics*, *23*(2), 117–124.
- Carreiras, M., & Codina, B. (1992). Spatial cognition of the blind and sighted: Visual and amodal hypotheses. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, *12*(1), 51–78.
- Casteel, M. A. (1993). Effects of inference necessity and reading goal on children's inferential generation. *Developmental Psychology*, *29*(2), 346–357.
- Catherwood, D. (1993). The haptic processing of texture and shape by 7-to 9-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, *11*(3), 299–306.
- Cattaneo, Z., & Vecchi, T. (2011). *Blind vision: the neuroscience of visual impairment. Rehabilitation*. MIT Press.
- Chang, D., Nesbitt, K. V, & Wilkins, K. (2007). The Gestalt principle of continuation applies to both the haptic and visual grouping of elements. In *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07)* (pp. 15–20).
- Chelin, J. (1999). Facilitating access to one and all: report of a project carried out at UWE, Bristol to facilitate access to learning resources for students and staff with disabilities. *Library Review*.
- Cirillo, L., Wapner, S., & Rand, G. (1967). Differentiation of haptic exploration in two age groups. *Psychonomic Science*, *9*(8), 467–468.
- Claudet, P. (2014). Designing Tactile Illustrated Books. *Journal of Blindness Innovation & Research*, *4*(1).
- Clay, M. M. (1991). *Becoming literate: The construction of inner control*. Heinemann Educational Books.

- Comtois, L. (1997). Effets d'un programme de communication écrite sur la conscience de l'écrit de jeunes ayant une déficience visuelle. *Essai Inédit, Université de Sherbrooke*.
- Coppins, N., & Barlow-Brown, F. (2006). Reading difficulties in blind, braille-reading children. *British Journal of Visual Impairment, 24*(1), 37–39.
- Cornoldi, C., Calore, D., & Pra-Baldi, A. (1979). Imagery ratings and recall in congenitally blind subjects. *Perceptual and Motor Skills, 48*(2), 627–639.
- Cornoldi, C., De Beni, R., Giusberti, F., & Massironi, M. (1998). Memory and imagery: A visual trace is not a mental image. *Theories of Memory, 2*, 87–110.
- Cornoldi, C., & Vecchi, T. (2000). Cécité précoce et images mentales spatiales.: Perceptions haptiques et représentations spatiales imagées. In *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (pp. 175–189).
- Cumming, G. (2014). The new statistics: Why and how. *Psychological Science, 25*(1), 7–29.
- D'Angiulli, A., Kennedy, J. M., & Helle, M. A. (1998). Blind children recognizing tactile pictures respond like sighted children given guidance in exploration. *Scandinavian Journal of Psychology, 39*(3), 187x---190.
- D'Anguilli, A., & Waraich, P. (2002). Enhanced tactile encoding and memory recognition in congenital blindness. *International Journal of Rehabilitation Research, 25*(2), 143–145.
- Davidoff, J., Fonteneau, E., & Fagot, J. (2008). Local and global processing: Observations from a remote culture. *Cognition, 108*(3), 702–709.
- De Temple, J., & Snow, C. E. (2003). Learning words from books. *On Reading Books to Children: Parents and Teachers, 16–36*.
- Den Broek, P., Lynch, J. S., Naslund, J., Ievers-Landis, C. E., & Verduin, K. (2003). The development of comprehension of main ideas in narratives: Evidence from the selection of titles. *Journal of Educational Psychology, 95*(4), 707.
- Drever, J. (1955). Early learning and the perception of space. *The American Journal of Psychology, 68*(4), 605–614.
- Drezek, W. (1999). Emergent braille literacy with move, touch, read. *Journal of Visual Impairment & Blindness, 93*(2), 104–107.
- Duke, N., & Carlisle, J. F. (2011). Comprehension development. *Handbook of Reading Research, 4*, 199–228.
- Eardley, A. F., & Pring, L. (2006). Remembering the past and imagining the future: A role for nonvisual imagery in the everyday cognition of blind and sighted people. *Memory, 14*(8), 925–936.
- Edman, P. (1992). *Tactile graphics*. New York, USA: American Foundation for the Blind.
- Edmonds, C. J., & Pring, L. (2006). Generating inferences from written and spoken language: A comparison of children with visual impairment and children with sight. *British Journal of Developmental Psychology, 24*(2), 337–351.
- Erhardt, R. P. (1974). Sequential levels in development of prehension. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association, 28*(10), 592.

- Eriksson, Y. (2008). *Images tactiles: représentations picturales pour les aveugles, 1784-1940*. Les Doigts qui rêvent.
- Fang, Z. (1996). Illustrations, text, and the child reader: what are pictures in children's storybooks for? *Reading Horizons: A Journal of Literacy and Language Arts*, 37(2), 3.
- Fine, I., Wade, A. R., Brewer, A. A., May, M. G., Goodman, D. F., Boynton, G. M., ... MacLeod, D. I. A. (2003). Long-term deprivation affects visual perception and cortex. *Nature Neuroscience*, 6(9), 915–916.
- Fraiberg, S. (1977). Insights from the blind. *Comparative Studies of Blind and Sighted Infants*. Nueva York: Basic Books.
- Fraiberg, S. (1968). Parallel and divergent patterns in blind and sighted infants. *The Psychoanalytic Study of the Child*, 23(1), 264–300.
- Fraiberg, Selma, Siegel, B. L., & Gibson, R. (1966). The role of sound in the search behavior of a blind infant. *The Psychoanalytic Study of the Child*, 21(1), 327–357.
- Gallace, A., & Spence, C. (2011). To what extent do Gestalt grouping principles influence tactile perception? *Psychological Bulletin*, 137(4), 538.
- Gallina, J.-M. (2011). Les représentations: un enjeu pour les sciences cognitives. *Peut-on Se Passer de Représentations En Sciences Cognitives*, 13–31.
- Gambrell, L. B., & Jawitz, P. B. (1993). Mental imagery, text illustrations, and children's story comprehension and recall. *Reading Research Quarterly*, 265–276.
- Garbin, C. P., & Bernstein, I. H. (1984). Visual and haptic perception of three-dimensional solid forms. *Perception & Psychophysics*, 36(2), 104–110.
- Gentaz, E., Faineteau, H., Gilet, E., Bluteau, J., Palluel-Germain, R., & Diard, J. (2010). L'estimation kinesthésique des distances: études comportementales et analyse probabiliste. *L'Année Psychologique*, 110(3), 453–492.
- Gentaz, E., & Streri, A. (2002). Infants' haptic discrimination of spatial orientations. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (2002/3, 9).
- Gentaz, E., (2018). *La main, le cerveau et le toucher: Approches multisensorielles et nouvelles technologies*. Dunod.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1995). The haptic 'oblique effect' in children's and adults' perception of orientation. *Perception*, 24(6), 631–646.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1996). Role of gravitational cues in the haptic perception of orientation. *Perception & Psychophysics*, 58(8), 1278–1292.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1998). The haptic oblique effect in the perception of rod orientation by blind adults. *Perception & Psychophysics*, 60(1), 157–167.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1999). Role of memorization conditions in the haptic processing of orientations and the 'oblique effect'. *British Journal of Psychology*, 90(3), 373–388.
- Gentaz, E., Hatwell, Y., & Streri, A. (2000). *Toucher pour connaître: psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Presses Universitaires de France.
- Gernsbacher, M. A., Varner, K. R., & Faust, M. E. (1990). Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and*

Cognition, 16(3), 430.

- Giasson, J., & Thériault, J. (1983). Apprentissage et enseignement de la lecture.
- Gibson, J. J. (1966). The senses considered as perceptual systems.
- Gibson, L. (1989). *Through children's eyes: Literacy learning in the early years*. Teachers College Press.
- Glenberg, A. M., & Langston, W. E. (1992). Comprehension of illustrated text: Pictures help to build mental models. *Journal of Memory and Language*, 31(2), 129–151.
- Glenberg, A. M., Meyer, M., & Lindem, K. (1987). Mental models contribute to foregrounding during text comprehension. *Journal of Memory and Language*, 26(1), 69–83.
- Gliner, C. R., Pick, A. D., Pick, H. L., & Hales, J. J. (1969). A developmental investigation of visual and haptic preferences for shape and texture. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 34(6), iii–40.
- Goldreich, D., & Kanics, I. M. (2006). Performance of blind and sighted humans on a tactile grating detection task. *Perception & Psychophysics*, 68(8), 1363–1371.
- Goldstein, J. (1999). Emergence as a construct: History and issues. *Emergence*, 1(1), 49–72.
- Goodnow, J. J. (1971). Eye and hand: Differential memory and its effect on matching. *Neuropsychologia*, 9(1), 89–95.
- Gordon, I. E., & Morison, V. (1982). The haptic perception of curvature. *Perception & Psychophysics*, 31(5), 446–450.
- Gori, M., Squeri, V., Sciutti, A., Masia, L., Sandini, G., & Konczak, J. (2012). Motor commands in children interfere with their haptic perception of objects. *Experimental Brain Research*, 223(1), 149–157.
- Gregory, R. L., & Wallace, J. G. (1963). Recovery from early blindness. *Experimental Psychology Society Monograph*, 2, 65–129.
- Gyselinck, V., & Tardieu, H. (1999). The role of illustrations in text comprehension: What, when, for whom, and why? In *The construction of mental representations during reading*. (pp. 195–218). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Hatwell, Y. (1959). Perception tactile des formes et organisation spatiale tactile. *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, 56, 187–204.
- Hatwell, Y., Orliaguet, J. P., & Brouty, G. (1990). Effects of objects properties, attentional constraints and manual exploratory procedures on haptic perceptual organization: A developmental study. In *Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood* (pp. 315–335). Springer.
- Hatwell, Y. (2003a). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Dunod.
- Hatwell, Y. (2003b). *Touching for Knowing: Cognitive psychology of haptic manual perception (Advances in Consciousness Research)*. Yvette Hatwell, Arlette Streri, Edouard Gentaz.
- Hatwell, Y. (2006). Appréhender l'espace pour un enfant aveugle. *Enfances Psy*, (4), 69–79.
- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2003). *Touching for knowing: cognitive psychology of haptic manual perception* (John Benja).

- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2000). *Toucher pour connaître*. Presses Universitaires de France.
- Held, R. (2009). Visual-haptic mapping and the origin of crossmodal identity. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 86(6), 595.
- Held, R., Ostrovsky, Y., DeGelder, B., & Sinha, P. (2008). Revisiting the Molyneux question. *Journal of Vision*, 8(6), 523.
- Heller, M., Calcaterra, J., Burson, L. L., & Tyler, L. (1996). Tactual picture identification by blind and sighted people: effects of providing categorical information. *Perception & Psychophysics*, 58(2), 310–323.
- Heller, M. (1989a). Picture and pattern perception in the sighted and the blind: the advantage of the late blind. *Perception*, 18(3), 379–389.
- Heller, M. (1989b). Texture perception in sighted and blind observers. *Perception & Psychophysics*, 45(1), 49–54.
- Heller, M. (2002). Tactile picture perception in sighted and blind people. *Behavioural Brain Research*, 135(1–2), 65–68.
- Heller, M., Morton A. (1980). Reproduction of tactually perceived forms. *Perceptual and Motor Skills*.
- Heller, M., Morton A, & Boyd, M. E. (1984). Touching with a wand. *Perceptual and Motor Skills*, 58(2).
- Heller, M., Morton A, & Clyburn, S. (1993). Global versus local processing in haptic perception of form. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31(6), 574–576.
- Heller, M., Morton A, McCarthy, M., & Clark, A. (2005). Pattern perception and pictures for the blind. *Psicologica*, 26(1), 161–171.
- Heller, M., Morton A, & Myers, D. S. (1983). Active and passive tactual recognition of form. *The Journal of General Psychology*, 108(2), 225–229.
- Heller, M., Morton A, Nesbitt, K. D., & Scrofano, D. K. (1991). Influence of writing style and categorical information on identification of tactile numerals and letters. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29(4), 365–367.
- Hensel, H. (1974). Thermoreceptors. *Annual Review of Physiology*, 36(1), 233–249.
- Hermelin, B., & O'connor, N. (1975). Location and distance estimates by blind and sighted children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27(2), 295–301.
- Hochberg, J. (1986). Representation of motion and space in video and cinematic displays. *STIA*, 1, 22_1--22_64.
- Hooker, D. (1938). The origin of the grasping movement in man. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 597–606.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Itakura, S., & Imamizu, H. (1994). An exploratory study of mirror-image shape discrimination in young children: vision and touch. *Perceptual and Motor Skills*, 78(1), 83–88.

- Jeannerod, M. (1975). Déficit visuel persistant chez les aveugles-nés opérés. Données cliniques et expérimentales. *L'année Psychologique*, 75(1), 169–195.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.
- Johnson, K. O., & Hsiao, S. S. (1992). Neural mechanisms of tactual form and texture perception. *Annual Review of Neuroscience*, 15(1), 227–250.
- Jones, B., & Robinson, T. (1973). Sensory integration in normal and retarded children. *Developmental Psychology*, 9(2), 178.
- Jones, M. B., & Vierck Jr, C. J. (1973). Length discrimination on the skin. *The American Journal of Psychology*, 49–60.
- Kalagher, H., & Jones, S. S. (2011a). Developmental change in young children's use of haptic information in a visual task: The role of hand movements. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(2), 293–307.
- Kalagher, H., & Jones, S. S. (2011b). Young children's haptic exploratory procedures. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(4), 592–602.
- Kalia, A., & Sinha, P. (2011). Recognition of tactile pictures is compromised by global shape acquisition. *Journal of Vision*, 11(11), 782.
- Kaski, D. (2002). Revision: is visual perception a requisite for visual imagery? *Perception*, 31(6), 717–731.
- Katz, D. (1989). The world of touch (LE Krueger, Trans.). *Mahwah, NJ: Erlbaum. (Original Work Published 1925)*.
- Kennedy, J. M. (1993). *Drawing and the blind: pictures to touch*. Yale University Press.
- Kennedy, J. M., & Bai, J. (2002). Haptic pictures: fit judgments predict identification, recognition memory, and confidence. *Perception*, 31(8), 1013–1026. Retrieved from pm:12269583
- Kent, D. (2012). *What is Braille?* Enslow Publishing, LLC.
- Kerr, N. H. (1983). The role of vision in “visual imagery” experiments: Evidence from the congenitally blind. *Journal of Experimental Psychology: General*. US: American Psychological Association.
- Kimchi, R., Hadad, B., Behrmann, M., & Palmer, S. E. (2005). Microgenesis and ontogenesis of perceptual organization: Evidence from global and local processing of hierarchical patterns. *Psychological Science*, 16(4), 282–290.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge university press.
- Kintsch, W., & Kintsch, E. (2005). *Comprehension*.
- Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (2000). Modality specificity in cognition: The case of touch. *The Nature of Remembering: Essays in Honor of Robeert G. Crowder*, 233–245.
- Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (2003). Touch. *Handbook of Psychology*, 147–176.
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Mankinen, J. M. (2005). Visual and haptic exploratory procedures in children's judgments about tool function. *Infant Behavior and*

Development, 28(3), 240–249.

- Klatzky, R.L., Loomis, J. M., Lederman, S. J., Wake, H., & Fujita, N. (1993). Haptic identification of objects and their depictions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 54(2), 170–178.
- Klatzky, R.L., Loomis, J. M., Golledge, R. G., Cicinelli, J. G., Doherty, S., & Pellegrino, J. W. (1990). Acquisition of route and survey knowledge in the absence of vision. *Journal of Motor Behavior*, 22(1), 19–43.
- Koenig, A. J., & Farrenkopf, C. (1997). Essential experiences to undergird the early development of literacy. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 91(1), 14–24.
- Koenig, A. J., & Holbrook, M. C. (2000). Ensuring high-quality instruction for students in braille literacy programs. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 94(11), 677–694.
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the brain. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3–4), 333–347.
- Kubovy, M., Holcombe, A. O., & Wagemans, J. (1998). On the lawfulness of grouping by proximity. *Cognitive Psychology*, 35(1), 71–98.
- Lakatos, S., & Marks, L. E. (1999). Haptic form perception: Relative salience of local and global features. *Perception & Psychophysics*, 61(5), 895–908.
- Lamb, M. R., & Yund, E. W. (2000). The role of spatial frequency in cued shifts of attention between global and local forms. *Perception & Psychophysics*, 62(4), 753–761.
- Lambert, S., Sampaio, E., Mauss, Y., & Scheiber, C. (2004). Blindness and brain plasticity: contribution of mental imagery?: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20(1), 1–11.
- Landau, B. (1991). Spatial representation of objects in the young blind child. *Cognition*, 38(2), 145–178.
- Lebaz, S, Picard, D., & Jouffrais, C. (2010). Haptic Recognition of Non-figurative Tactile Pictures in the Blind: Does Life-Time Proportion without Visual Experience Matter? In A. M. Kappers (Ed.), *Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations* (Vol. EuroHaptic, pp. 412–417). Amsterdam, NL.
- Lebaz, Samuel. (2011). *Perception haptique d'images aux traits en relief par des individus aveugles et voyants*. Sous la direction de D. Picard et C.Jouffrais. Université de Toulouse.
- 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., Chataway, C., & Summers, C. D. (1990). Visual mediation and the haptic recognition of two-dimensional pictures of common objects. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 47(1), 54–64.
- Lederman, S. J. (1981). The perception of surface roughness by active and passive touch. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 18(5), 253–255.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1997). Relative availability of surface and object properties during early haptic processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(6), 1680.

- Leo, F., Baccelliere, C., Waszkielewicz, A., Cocchi, E., & Brayda, L. (2018). Tactile symbol discrimination on a small pin-array display. In *Proceedings of the 2018 Workshop on Multimedia for Accessible Human Computer Interface* (pp. 9–15).
- Lété, B., Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2004). MANULEX: A grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *36*(1), 156–166.
- Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Ectj*, *30*(4), 195–232.
- Lewi-Dumont, N. (1997). *L'apprentissage de la lecture chez les enfants aveugles: difficultés et évolution des compétences*. Sous la direction de F. François, Université Paris 5
- Lewi-Dumont, N. (2000). Une souris verte... Remarques sur le sens des mots chez les enfants aveugles.
- Lewi-Dumont, N. (2009). Blind teen-age students' expectations.
- Lewi-Dumont, N. (2016). *Enseigner à des élèves aveugles ou malvoyants*. Canopé éditions.
- Locher, P. J., & Wagemans, J. (1993). Effects of element type and spatial grouping on symmetry detection. *Perception*, *22*(5), 565–587.
- Loo, C. K. C., Hall, L. A., McCloskey, D. I., & Rowe, M. J. (1983). Proprioceptive contributions to tactile identification of figures: dependence on figure size. *Behavioural Brain Research*, *7*(3), 383–386.
- Loomis, J. (1981). Tactile pattern perception. *Perception*, *10*(1), 5 – 27.
- Loomis, J. M. (1981). Tactile pattern perception. *Perception*, *10*(1), 5–27.
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (1991). Similarity of tactual and visual picture recognition with limited field of view. *Perception*, *20*(2), 167–177.
- Love, B. C., Rouder, J. N., & Wisniewski, E. J. (1999). A structural account of global and local processing. *Cognitive Psychology*, *38*(2), 291–316.
- Magee, L. E., & Kennedy, J. M. (1980). Exploring pictures tactually. *Nature*, *283*(5744), 287–288.
- Marcus, N., Cooper, M., & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, *88*(1), 49.
- Masclé, C., Jouffrais, C., Kaminski, G., & Bara, F. (2020). Vers l'Utilisation de Tablettes à Picots pour l'Illustration de Livres Tactiles. In *Handicap'20*.
- Maucher, T., Meier, K., & Schemmel, J. (2001). An interactive tactile graphics display. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Signal Processing and its Applications (Cat. No. 01EX467)* (Vol. 1, pp. 190–193).
- Mayer, R. E. (2014). Multimedia instruction. In *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 385–399). Springer.
- Mazella, A., Albaret, J.-M., & Picard, D. (2016). Haptic-2D: A new haptic test battery assessing the tactual abilities of sighted and visually impaired children and adolescents with two-dimensional raised materials. *Research in Developmental Disabilities*, *48*, 103–123.

- Mazella, A., Albaret, J.-M., & Picard, D. (2018). The development of haptic processing skills from childhood to adulthood by means of two-dimensional materials. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 72(1), 48.
- McGregor, D., & Farrenkopf, C. (2002). Teaching emergent literacy skills to kindergarten students in a braille/print program. In *International Conference July* (pp. 17–21).
- Millar, S. (1994). *Understanding and Representing Space: Theory and Evidence from Studies with Blind and Sighted Children*. Oxford : University Press.
- Millar, S. (1975). Effects of tactual and phonological similarity on the recall of Braille letters by blind children. *British Journal of Psychology*, 66(2), 193–201.
- Millar, S. (1999). Memory in touch. *Psicothema*, 11(4), 747–767.
- Millar, S., & Al-Attar, Z. (2005). What aspects of vision facilitate haptic processing? *Brain and Cognition*, 59(3), 258–268.
- Miller, D. (1985). Reading Comes Naturally: A Mother and Her Blind Child's Experiences. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 79(1), 1–4.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81.
- Milner, A. D. (1968). amp; Bryant, P. E. *Cross-Modal Matching by Young Children*. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 71, 453–458.
- Molina, M., & Jouen, F. (1998). Modulation of the palmar grasp behavior in neonates according to texture property. *Infant Behavior and Development*, 21(4), 659–666.
- Molina, M., & Jouen, F. (2001). Modulation of manual activity by vision in human newborns. *The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 38(2), 123–132.
- Molina, M., & Jouen, F. (2003). Haptic intramodal comparison of texture in human neonates. *The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 42(4), 378–385.
- Mondloch, C. J., Geldart, S., Maurer, D., & de Schonen, S. (2003). Developmental changes in the processing of hierarchical shapes continue into adolescence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84(1), 20–40.
- Morange-Majoux, F., Cougnot, P., & Bloch, H. (1997). Hand tactual exploration of textures in infants from 4 to 6 months. *Early Development and Parenting: An International Journal of Research and Practice*, 6(3–4), 127–136.
- 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.
- Neuman, S. B., & Roskos, K. (1997). Literacy knowledge in practice: Contexts of participation for young writers and readers. *Reading Research Quarterly*, 32(1), 10–32.
- Nobuo, K. (1990). Effects of stimulus presentation modes on tactual letter recognition. *Tohoku Psychologica Folia*, 49, 80–89.

- Nolan, C. Y., & Kederis, C. J. (1969). Perceptual Factors in Braille Word Recognition. (American Foundation for the Blind. Research Series No. 20).
- Norman, J. (2003). Tactile picture books: Their importance for young blind children. *British Journal of Visual Impairment*, 21(3), 111–114.
- O’keefe, E. J., & Solman, R. T. (1987). The influence of illustrations on children’s comprehension of written stories. *Journal of Literacy Research*, 19(4), 353–377.
- Ogden, J. A., & Barker, K. (2001). Imagery used in autobiographical recall in early and late blind adults. *Journal of mental imagery - New York International imagery association* -, 25(3/4), 153–176.
- Orlandi, O. (2015). *La compréhension des images tactiles chez les enfants porteurs d’un handicap visuel*. Sous la direction de A.Vinter. Université de Dijon
- Orliaguet, J. P. (1983). Reproduction de position de bras chez l’enfant en situation intramodale visuelle et proprioceptive. *Cah Psychol Cogn*, 3, 133–146.
- Orrantia, J., Múñez, D., & Tarin, J. (2014). Connecting goals and actions during reading: The role of illustrations. *Reading and Writing*, 27(1), 153–170.
- Osborne, J. (2010). Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 15(1), 12.
- Ostrovsky, Y., Andalman, A., & Sinha, P. (2006). Vision following extended congenital blindness. *Psychological Science*, 17(12), 1009–1014.
- Overvliet, K. E., & Krampe, R. T. (2018). Haptic two-dimensional shape identification in children, adolescents, and young adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 567–580.
- Owen, D. H., & Brown, D. R. (1970). Visual and tactual form discrimination: Psychophysical comparison within and between modalities. *Perception & Psychophysics*, 7(5), 302–306.
- Paivio, A. (1971). Imagery and language. In *Imagery* (pp. 7–32). Elsevier.
- Paivio, A., Yuille, J. C., & Madigan, S. A. (1968). Concreteness, imagery, and meaningfulness values for 925 nouns. *Journal of Experimental Psychology*, 76(1p2), 1.
- Paul, B. J. (1993). ” Low tech” braille vital to high-level literacy. Counterpoint.
- Peters, R. M., Hackeman, E., & Goldreich, D. (2009). Diminutive digits discern delicate details: fingertip size and the sex difference in tactile spatial acuity. *Journal of Neuroscience*, 29(50), 15756–15761.
- Phillips, J. R., Johnson, K. O., & Browne, H. M. (1983). A comparison of visual and two modes of tactual letter resolution. *Perception & Psychophysics*, 34(3), 243–249.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l’intelligence chez l’enfant*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- Picard, D., Albaret, J.-M., & Mazella, A. (2013). Haptic Identification of Raised-Line Drawings by Children, Adolescents, and Young Adults: An Age-Related Skill (Short Paper).
- Picard, D., Albaret, J.-M., & Mazella, A. (2014). Haptic identification of raised-line drawings when categorical information is given: A comparison between visually impaired and sighted children. *Psicologica: International Journal of Methodology and Experimental*

- Psychology*, 35(2), 277–290.
- Picard, D., & Lebaz, S. (2012). Identifying Raised-Line Drawings by Touch : A Hard but Not Impossible Task. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 106(7), 427–431.
- Picard, D., & Monnier, C. (2009). Short-term memory for spatial configurations in the tactile modality: A comparison with vision. *Memory*, 17(8), 789–801.
- Pick, A. D., & Pick, H. L. (1966). A developmental study of tactual discrimination in blind and sighted children and adults. *Psychonomic Science*, 6(8), 367–368.
- Pierre, V. (1914). *Le monde des aveugles. Essai de Psychologie*, Paris, Librairie José Corti.
- Pike, M. M., Barnes, M. A., & Barron, R. W. (2010). The role of illustrations in children's inferential comprehension. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105(3), 243–255.
- Puspitawati, I., Jebrane, A., & Vinter, A. (2014). Local and global processing in blind and sighted children in a naming and drawing task. *Child Development*, 85(3), 1077–1090.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88(1), 16.
- Révész, G. (1950). *Psychology and art of the blind*.
- Rex, E. J. (1989). Issues related to literacy of legally blind learners. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 83(6), 306–313.
- Riise, R., Flage, T., Hansen, E., Rosenberg, T., Rudanko, S.-L., & Viggosson, G. (1992). Visual impairment in Nordic children: IV. Sex distribution. *Acta Ophthalmologica*, 70(5), 605–609.
- Robert, P.-Y., & Others. (2017). *Déficiences visuelles: Rééducations et Réadaptations-Rapport de la Société française d'ophtalmologie*. Elsevier Health Sciences.
- Rose, S. A., Blank, M. S., & Bridger, W. H. (1972). Intermodal and intramodal retention of visual and tactual information in young children. *Developmental Psychology*, 6(3), 482.
- Rose, S. A., Gottfried, A. W., & Bridger, W. H. (1981). Cross-modal transfer in 6-month-old infants. *Developmental Psychology*, 17(5), 661.
- Rossetti, Y. (1997). Des modalités sensorielles aux représentations spatiales en action: représentations multiples d'un espace unique. *Proust (Éd.) Perception et Intermodalité*, 179–221.
- Rovira, K., Deschamps, L., & Baena-Gomez, D. (2011). Mental rotation in blind and sighted adolescents: The effects of haptic strategies. *European Review of Applied Psychology*, 61(3), 153–160.
- Rowell, J., & Ungar, S. (2003). The World of Touch: Results of an International Survey of Tactile Maps and Symbols. *The Cartographic Journal*, 40(3), 259–263.
- Ruff, H. A., Saltarelli, L. M., Capozzoli, M., & Dubiner, K. (1992). The differentiation of activity in infants' exploration of objects. *Developmental Psychology*, 28(5), 851.
- Russier, S. (1999). Haptic discrimination of two-dimensional raised-line shapes by blind and sighted adults. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 93(7), 421–426.

- Russotti, J., Shaw, R., & Spungin, S. J. (2004). *When you have a visually impaired student in your classroom: A guide for paraeducators*. American Foundation for the Blind.
- Ryles, R. (1996). The impact of braille reading skills on employment, income, education, and reading habits. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 90, 219–226.
- Sacks, O. (1999). *Premier regard*. Le Seuil.
- Sann, C., & Streri, A. (2007). Perception of object shape and texture in human newborns: evidence from cross-modal transfer tasks. *Developmental Science*, 10(3), 399–410.
- Schellingerhout, R., Smitsman, A. W., & Van Galen, G. P. (1997). Exploration of surface-textures in congenitally blind infants. *Child: Care, Health and Development*, 23(3), 247–264.
- Schellingerhout, Roelof. (1998). *Surface texture as a source of haptic spatial information for blind children*. [Sl: sn].
- Schwartz, A. S., Perey, A. J., & Azulay, A. (1975). Further analysis of active and passive touch in pattern discrimination. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 6(1), 7–9.
- Schwarzer, G., Küfer, I., & Wilkening, F. (1999). Learning categories by touch: On the development of holistic and analytic processing. *Memory & Cognition*, 27(5), 868–877.
- Scocchia, L., Stucchi, N., & Loomis, J. M. (2009). The influence of facing direction on the haptic identification of two-dimensional raised pictures. *Perception*, 38(4), 606–612.
- Scofield, J., Hernandez-Reif, M., & Keith, A. B. (2009). Preschool children's multimodal word learning. *Journal of Cognition and Development*, 10(4), 306–333.
- Seashore, C. E., & Ling, T. L. (1918). The comparative sensitiveness of blind and seeing persons. *Psychological Monographs*, 25(2), 148.
- Shimizu, Y., Saida, S., & Shimura, H. (1993). Tactile pattern recognition by graphic display: Importance of 3-D information for haptic perception of familiar objects. *Perception & Psychophysics*, 53(1), 43–48.
- Siegel, A. W., & Vance, B. J. (1970). Visual and haptic dimensional preference: A developmental study. *Developmental Psychology*, 3(2p1), 264.
- Spelke, E. S. (1998). Nativism, empiricism, and the origins of knowledge. *Infant Behavior and Development*, 21(2), 181–200.
- Stack, D. M., Muir, D. W., Sherriff, F., & Roman, J. (1989). Development of infant reaching in the dark to luminous objects and 'invisible sounds'. *Perception*, 18(1), 69–82.
- Stoltz-Loike, M., & Bornstein, M. H. (1987). The roles of imagery, language, and metamemory in cross-modal transfer in children. *Psychological Research*, 49(1), 63–68.
- Stratton, J., & Wright, S. (1991). On the Way to Literacy: Early Experiences for Young Visually Impaired Children. *Rehabilitation and Education for Blindness and Visual Impairment*, 23(2), 55–62.
- Streri, A. (1987). Tactile discrimination of shape and intermodal transfer in 2-to 3-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 5(3), 213–220.
- Streri, A. (1991). *Voir, atteindre, toucher: les relations entre la vision et le toucher chez le bébé*. FeniXX.

- Streri, A., & Gentaz, E. (2003). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes in human newborns. *Somatosensory & Motor Research*, 20(1), 13–18.
- Streri, A., & Gentaz, E. (2004). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes and handedness in human newborns. *Neuropsychologia*, 42(10), 1365–1369.
- Streri, A., Lhote, M., & Dutilleul, S. (2000). Haptic perception in newborns. *Developmental Science*, 3(3), 319–327.
- Streri, A., & Milhet, S. (1988). Equivalences intermodales de la forme des objets entre la vision et le toucher chez les bébés de 2 mois. *L'Année Psychologique*, 88(3), 329–341.
- Streri, A., & Molina, M. (1993). Visual–Tactual and Tactual–Visual Transfer between Objects and Pictures in 2-Month-Old Infants. *Perception*, 22(11), 1299–1318.
- Streri, A., & Pêcheux, M.-G. (1986). Vision-to-touch and touch-to-vision transfer of form in 5-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 4(2), 161–167.
- Swenson, A. (2003). Tips for promoting your child's braille literacy skills. *Connecting the Dots--A Parent's Resource for Promoting Early Braille Literacy*, 1–5.
- Swenson, A. M. (1988). Using an integrated literacy curriculum with beginning braille readers. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 82(8), 336–338.
- Symmons, M. A., Richardson, B. L., & Wnillemin, D. B. (2004). Active versus passive touch : Superiority depends more on the task than the mode.
- Teale, W. H., Sulzby, E., & Others. (1989). Emergent literacy: New perspectives. *Emerging Literacy: Young Children Learn to Read and Write*, 1–15.
- Teghtsoonian, M., & Teghtsoonian, R. (1965). Seen and felt length. *Psychonomic Science*, 3(1–12), 465–466.
- Teghtsoonian, R., & Teghtsoonian, M. (1970). Two varieties of perceived length. *Perception & Psychophysics*, 8(6), 389–392.
- Theurel, A., Witt, A., Claudet, P., Hatwell, Y., & Gentaz, E. (2013). Tactile picture recognition by early blind children: The effect of illustration technique. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 19(3), 233–240.
- Thompson, L. J., Chronicle, E. P., & Collins, A. F. (2003). The role of pictorial convention in haptic picture perception. *Perception*, 32(7), 887–893.
- Thompson, L. J., Chronicle, E. P., & Collins, A. F. (2006). Enhancing 2-D Tactile Picture Design from Knowledge of 3-D Haptic Object Recognition. *European Psychologist*, 11(2), 110–118.
- Thurlow, W. R. (1988). An alternative to Braille. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 82(9), 378.
- Tinti, C., Adenzato, M., Tamietto, M., & Cornoldi, C. (2006). Visual experience is not necessary for efficient survey spatial cognition: Evidence from blindness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(7), 1306–1328.
- Tomasello, M., & Farrar, M. J. (1986). Joint attention and early language. *Child Development*, 1454–1463.
- Trabasso, T., & Nickels, M. (1992). The development of goal plans of action in the narration

- of a picture story. *Discourse Processes*, 15(3), 249–275.
- Trabasso, T., & Suh, S. (1993). Understanding text: Achieving explanatory coherence through on-line inferences and mental operations in working memory. *Discourse Processes*, 16(1–2), 3–34.
- Tröster, H., & Brambring, M. (1993). Early motor development in blind infants. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 14(1), 83–106.
- Valente, D., Palama, A., & Gentaz, E. (2021). Exploring 3D miniatures with action simulations by finger gestures: Study of a new embodied design for blind and sighted children. *PloS one*, 16(2), e0245472.
- Valente, D., Palama, A., Malsert, J., Bolens, G., & Gentaz, E. (2019). Adults' visual recognition of actions simulations by finger gestures (ASFGs) produced by sighted and blind individuals. *Plos one*, 14(3), e0214371.
- Valente, D., & Gentaz, E. (2019). La reconnaissance des illustrations tactiles dans les livres tactiles par l'enfant aveugle. *ANAE*, 159, 159-166.
- Valente, D. (2012). *Dessin et cécité: étude la communication graphique des jeunes non-voyants*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Art sous la direction de B.Darras, Université Paris 1 Sorbonne.
- Valente, D., Bara, F., Gentaz, E., Cabot, P., Donavy, C., & Négrerie, S. (2020). Outils multisensoriels et handicap visuel: apports du design participatif. *Diversité: Revue d'actualité et de Réflexion Pour l'action Éducative*.
- Van der Schoot, M., Reijntjes, A., & van Lieshout, E. C. D. M. (2012). How do children deal with inconsistencies in text? An eye fixation and self-paced reading study in good and poor reading comprehenders. *Reading and Writing*, 25(7), 1665–1690.
- Van Doorn, G. H., Dubaj, V., Wullemijn, D. B., Richardson, B. L., & Symmons, M. A. (2012). Cognitive load can explain differences in active and passive touch. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications* (pp. 91–102).
- Vanlierde, A., & Wanet-Defalque, M. C. (2004). Abilities and strategies of blind and sighted subjects in visuo-spatial imagery. *Acta Psychologica*, 116(2), 205–222.
- Vecchi, T., Monticellai, M. L., & Cornoldi, C. (1995). Visuo-spatial working memory: Structures and variables affecting a capacity measure. *Neuropsychologia*, 33(11), 1549–1564.
- Vecchi, T., Tinti, C., & Cornoldi, C. (2004). Spatial memory and integration processes in congenital blindness. *Neuroreport*, 15(18), 2787–2790.
- Vega-Bermudez, F., Johnson, K. O., & Hsiao, S. S. (1991). Human tactile pattern recognition: active versus passive touch, velocity effects, and patterns of confusion. *Journal of Neurophysiology*, 65(3), 531–546.
- Velazquez, R., Pissaloux, E. E., Hafez, M., & Szewczyk, J. (2008). Tactile Rendering With Shape-Memory-Alloy Pin-Matrix. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(5), 1051–1057.
- Vinter, A., Fernandes, V., Orlandi, O., & Morgan, P. (2013). Verbal definitions of familiar objects in blind children reflect their peculiar perceptual experience. *Child: care, health*

- and development, 39(6), 856-863.
- Vinter, A., Fernandes, V., Orlandi, O., & Morgan, P. (2012). Exploratory procedures of tactile Images in visually impaired and blindfolded sighted children: How they relate to their consequent performance in drawing. *Research in Developmental Disabilities, 33*(6), 1819–1831.
- Vinter, A., Orlandi, O., & Morgan, P. (2019). Forme versus texture de stimuli tactiles élémentaires: quelle dimension est privilégiée par l'enfant aveugle ou voyant? *ANAE-Approche Neuropsychologique Des Apprentissages Chez L'enfant, 31*(159), 151–158.
- Vinter, A., Puspitawati, I., & Witt, A. (2010). Children's spatial analysis of hierarchical patterns: Construction and perception. *Developmental Psychology, 46*(6), 1621.
- Voisin, J., Lamarre, Y., & Chapman, C. E. (2002). Haptic discrimination of object shape in humans: contribution of cutaneous and proprioceptive inputs. *Experimental Brain Research, 145*(2), 251–260.
- Von Ehrenfels, C. (1890). Über gestaltqualitäten. *Vierteljahrsschrift Für Wissenschaftliche Philosophie, 14*(3), 249–292.
- Wagemans, J. (1995). Detection of visual symmetries. *Spatial Vision, 9*(1), 9–32.
- Warren, W. H. (1984). Perceiving affordances: Visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10*(5), 683.
- Weygand, Z. (2003). *Vivre sans voir: les aveugles dans la société française, du Moyen Age au siècle de Louis Braille*. creaphis editions.
- Wijntjes, M. W. A., Van, L. T., Verstijnen, I. M., Kappers, A. M. L., van Lienen, T., Verstijnen, I. M., & Kappers, A. M. L. (2008). The influence of picture size on recognition and exploratory behaviour in raised-line drawings. *Perception, 37*(4), 602–614.
- Wijntjes, M. W. A., van Lienen, T., Verstijnen, I. M., & Kappers, A. M. L. (2008). Look what I have felt: unidentified haptic line drawings are identified after sketching. *Acta Psychologica, 128*(2), 255–263.
- Worchel, P. (1951). Space perception and orientation in the blind. *Psychological Monographs: General and Applied, 65*(15), i.
- Wormsley, D. P. (2003). Braille, reading, literacy, and at-risk learners. *Braille Literacy: A Functional Approach, 1–10*.
- Wydoodt, P., Gentaz, E., Gaunet, F., Chêne, D., & Streri, A. (2004). Haptic estimation of spatial location in virtual and real path completion task: Contributions of proprioceptive and cutaneous information on the path effect. *Touch, Blindness and Neuroscience, 351–361*.
- Yaden, D. B., Rowe, D. W., & MacGillivray, L. (1999). Emergent Literacy: A Polyphony of Perspectives. CIERA Report.
- Zarate, J. J., Gudozhnik, O., Ruch, A. S., & Shea, H. (2017). Keep in touch: portable haptic display with 192 high speed taxels. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 349–352).
- Zarate, J. J., & Shea, H. (2016). Using pot-magnets to enable stable and scalable electromagnetic tactile displays. *IEEE Transactions on Haptics, 10*(1), 106–112.

Zwaan, R. A., & Madden, C. J. (2004). Updating situation models.

Annexe

1 Découpage image texte Le Petit Chaperon Rouge

Il était une fois une adorable petite fille que tout le monde aimait rien qu'à la voir, et plus que tous, sa grand-mère, Une fois, elle lui donna un petit chaperon de velours rouge et la fillette le trouva si joli, il lui allait si bien, qu'elle ne voulut plus porter autre chose et on l'appela le Petit Chaperon rouge.

Page 1

Un jour, sa mère lui dit :

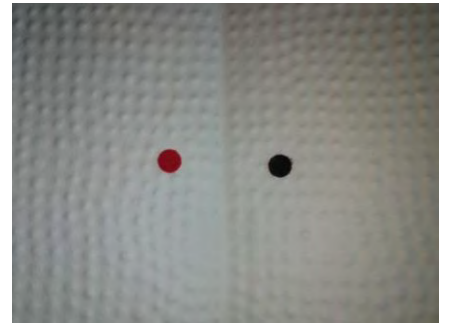
- Tiens, Petit Chaperon rouge, voici un morceau de galette et une bouteille de vin : tu iras les porter à ta grand-mère ; elle est malade et affaiblie, et elle va bien se régaler. Sois bien sage en chemin et dis bien bonjour en entrant

- Je serai sage et je ferai tout pour le mieux, promit le Petit Chaperon rouge à sa mère, avant de lui dire au revoir et de partir



Page 2

Mais la grand-mère habitait à une bonne demi-heure du village, tout là-bas, dans la forêt ; et lorsque le Petit Chaperon rouge entra dans la forêt, il y avait aussi le loup. Mais elle ne savait pas que c'était une si méchante bête et elle n'avait pas peur.



Page 3

- Bonjour, Petit Chaperon rouge, dit le loup.

- Merci à toi, et bonjour aussi, loup.

- Où vas-tu de si bonne heure, Petit Chaperon rouge ?

- Chez grand-mère.

- Où habite-t-elle, ta grand-mère, Petit Chaperon rouge ? demanda le loup

- Plus loin dans la forêt, à un quart d'heure d'ici ; c'est sous les trois grands chênes, et juste en dessous, il y a des noisetiers, tu reconnaîtras forcément, dit le Petit Chaperon rouge.

Fort de ce renseignement, le loup pensa : “ Un fameux régal, cette mignonne et tendre jeunesse ! Grasse chère, que j'en ferai : meilleure encore que la grand-mère, que je vais engloutir aussi. Mais attention, il faut être malin si tu veux les déguster l'une et l'autre. ”

Telles étaient les pensées du loup tandis qu'il faisait un bout de chemin avec le Petit Chaperon rouge. Puis il dit, tout en marchant :

- Toutes ces jolies fleurs dans le sous-bois, comment se fait-il que tu ne les regardes même pas, Petit Chaperon rouge ? Tu pourrais en faire un bouquet pour ta grand-mère ?

Le Petit Chaperon rouge donna un coup d'œil alentour et vit partout des fleurs qui brillaient. « Bonne idée, se dit-elle, cela lui ferait plaisir aussi. Il est tôt et j'ai bien le temps d'en cueillir. »



Page 4

Sans attendre, elle quitta le chemin pour entrer dans le sous-bois et cueillir des fleurs ; une ici, l'autre là, mais la plus belle était toujours un peu plus loin, et encore plus loin dans l'intérieur de la forêt.



Page 5

Le loup, pendant ce temps, courait tout droit à la maison de la grand-mère et frappait à sa porte.

- Qui est là ? cria la grand-mère.

- C'est moi, le Petit Chaperon rouge, dit le loup ; je t'apporte de la galette et du vin, ouvre-moi !

- Tu n'as qu'à tirer le loquet, cria la grand-mère. Je suis trop faible et ne peux me lever.



Page 6

Le Loup tira le loquet, poussa la porte et entra pour s'avancer tout droit, sans dire un mot, jusqu'au lit de la grand-mère, qu'il avala.



Page 7

Il mit ensuite sa chemise, s'enfouit la tête sous son bonnet de dentelle, et se coucha dans son lit.



Le Petit Chaperon rouge avait couru de fleur en fleur, mais à présent son bouquet était si gros que c'était tout juste si elle pouvait le porter. Alors elle se souvint de sa grand-mère et se remit bien vite en chemin pour arriver chez elle.

- Bonjour, grand-mère !

Mais comme personne ne répondait, elle s'avança jusqu'au lit. La grand-mère y était couchée, avec son bonnet qui lui cachait presque toute la figure, et elle avait l'air si étrange.

- Comme tu as de grandes oreilles, grand-mère !

- C'est pour mieux t'entendre.

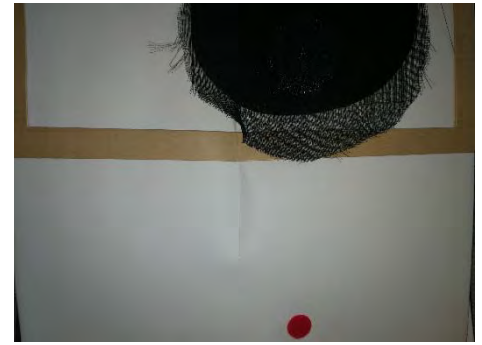
- Comme tu as de gros yeux, grand-mère !

- C'est pour mieux te voir, répondit-elle.

- Comme tu as de grandes mains !

- C'est pour mieux te prendre, répondit-elle.

- Oh ! grand-mère, quelle grande bouche et quelles terribles dents tu as !



C'est pour mieux te manger, dit le loup, qui fit un bond hors du lit et avala le pauvre Petit Chaperon rouge d'un seul coup.

Sa voracité satisfaite, le loup retourna se coucher dans le lit et s'endormit bientôt, ronflant de plus en plus fort.



Le chasseur, qui passait devant la maison l'entendit et pensa : " Qu'a donc la vieille femme à ronfler si fort ? Il faut que tu entres et que tu voies si elle a quelque chose qui ne va pas. "

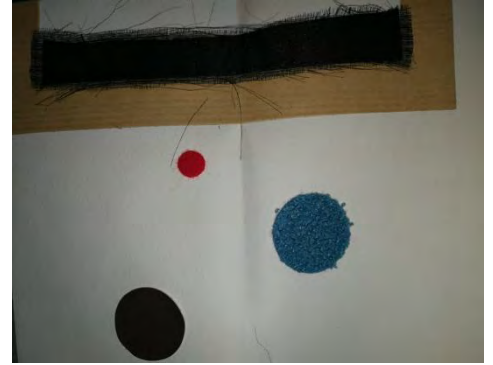
Il entra donc et, s'approchant du lit, vit le loup qui dormait là. - C'est ici que je te trouve, vieille canaille ! dit le chasseur. Il y a un moment que je te cherche...



Tout à coup, l'idée lui vint que le loup avait peut-être mangé la grand-mère et qu'il pouvait être encore temps de la sauver. Il prit des ciseaux et se mit à tailler le ventre du loup endormi. Au deuxième ou au troisième coup de ciseaux, il vit le rouge chaperon qui luisait. Deux ou trois coups de ciseaux encore, et la fillette sortait du loup en s'écriant : - Ah ! comme j'ai eu peur ! Comme il faisait noir dans le ventre du loup ! Et bientôt après, sortait aussi la vieille grand-mère, mais c'était à peine si elle pouvait encore respirer.



Tous les trois étaient bien contents : le chasseur prit la peau du loup et rentra chez lui ; la grand-mère mangea la galette et but le vin que le Petit Chaperon rouge lui avait apportés, se retrouvant bientôt à son aise.



2 Temps d'exploration observés dans l'étude 3

2.1 Enfants voyants et non voyants

Nous observons un effet significatif de la condition et de l'interaction entre condition et statut visuel. L'effet du statut visuel n'est pas significatif (Tableau 44, Figure 61).

Tableau 44 : Effet des variables étudiées sur le temps d'exploration chez les enfants

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	0.014	1	.903
Condition	11.253	1	<.001
Condition * Statut visuel	5.760	1	.013

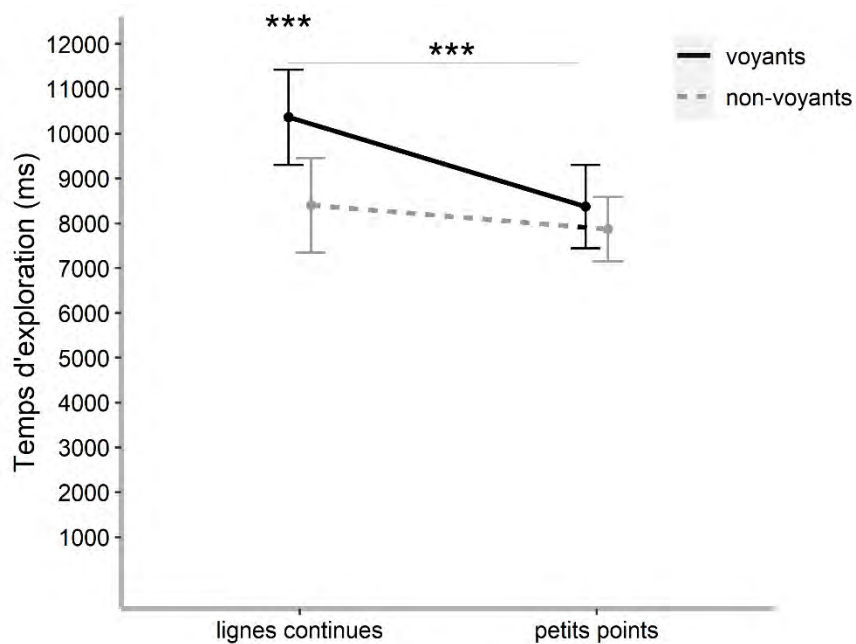


Figure 62 : Effet de la condition et du statut visuel sur la reconnaissance

Les enfants voyants passent plus de temps à explorer les pictogrammes en petits points que les enfants non-voyants (Tableau 45). Les enfants voyants passent plus de temps à explorer

les pictogrammes en lignes que les pictogrammes en petits points (Tableau 46). Les temps d'exploration semblent équivalents chez les enfants non-voyants (Tableau 47).

Tableau 45 : Comparaison des taux de reconnaissance par condition selon le statut visuel

Comparaisons Non-voyants - Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits points	0.342	0.161	125.8	2.128	0.35	0.409
Lignes	0.795	0.154	106.9	5.171	<.001	1.150

Tableau 46 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les enfants voyants

Comparaisons Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits points - Lignes	0.213	0.052	87.6	4.077	<.001	0.338

Tableau 47 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les enfants non-voyants

Comparaisons Non-voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits points - Lignes	0.015	0.074	292.1	0.211	.833	0.033

2.2 Adultes non-voyants

Nous n'observons pas d'effet du statut visuel (non-voyants précoces ou tardifs) ni de l'interaction entre le statut visuel et la condition (Tableau 48).

Tableau 48 : Effet des variables étudiées sur la reconnaissance

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	0.085	1	.770
Condition * Statut visuel	0.849	1	.654

2.3 Adultes voyants et non-voyants

Pour les temps d'exploration durant la phase d'apprentissage et les temps de reconnaissance, nous n'avons pas observé d'effet du statut visuel ni de l'interaction entre statut visuel et condition d'illustration chez les participants non-voyants tardifs et précoces. Nous les avons donc réunis dans un seul groupe de participants non-voyants.

Les analyses incluent les adultes (voyants et non-voyants) uniquement. L'analyse comprend deux variables à effet fixe : la variable statut visuel à deux niveaux comprend 18 non-voyants et 36 voyants, la variable condition à trois niveaux comprend les pictogrammes en petits points, en gros points et en lignes.

Nous observons un effet significatif de la condition, du statut visuel et de l'interaction entre ces deux variables (Tableau 49, Figure 62).

Tableau 49 : Effet des variables étudiées sur la reconnaissance chez les adultes

Variable	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
Statut visuel	23.541	2	<.001
Condition	49.333	2	<.001
Condition * Statut visuel	23.077	4	<.001

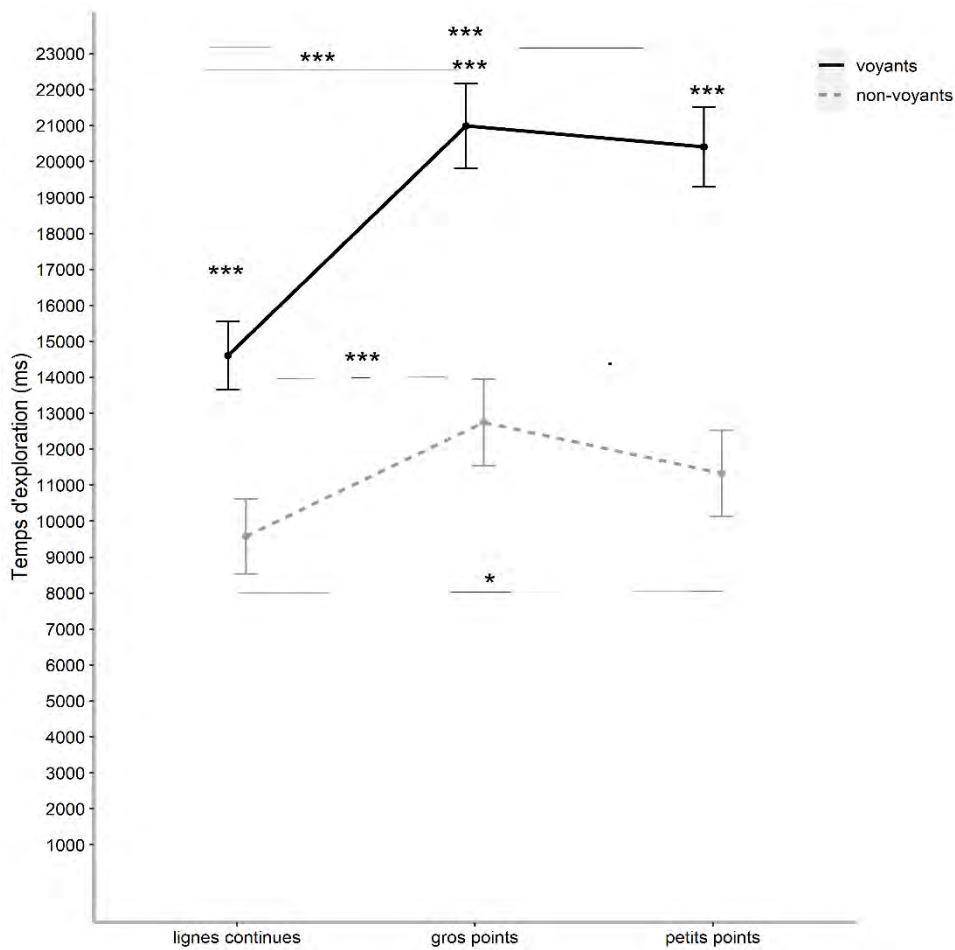


Figure 63 : Effet de la condition et du statut visuel sur le temps d'exploration chez les adultes

Les participants voyants explorent les pictogrammes plus longtemps que les participants non-voyants pour toutes les conditions (Tableau 50). Les participants voyants passent plus de temps à explorer les pictogrammes en gros points que les pictogrammes en petits points. Les pictogrammes en lignes sont explorés moins longtemps que les pictogrammes en gros points et en petits points (Tableau 51). Les participants non-voyants passent plus de temps à explorer les pictogrammes en gros points et en petits points que les pictogrammes en lignes (Tableau 52).

Tableau 50 : Effet du statut visuel sur le temps d'exploration selon la condition

Comparaisons Non-voyants - Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Gros points	0.039	0.087	84.8	7.559	<.001	1.214
Petits points	0.450	0.111	78.5	5.133	<.001	0.760
Lignes	0.450	0.111	69.7	4.065	<.001	0.676

Tableau 51 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les participants voyants

Comparaisons Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Gros points – Petits points	0.003	0.063	106	0.056	.992	0.23
Lignes – Gros points	0.421	0.063	105	6.643	<.001	0.677
Lignes – Petits points	0.424	0.063	105	6.706	<.001	0.675

Tableau 52 : Effet de la condition sur le temps d'exploration chez les participants non-voyants

Comparaisons Non-voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Gros points – Petits points	0.163	0.069	153	2.302	.058	0.258
Lignes – Gros points	-0.337	0.069	153	4.847	<.001	0.536
Lignes – Petits points	-0.177	0.069	153	-2.544	.032	0.259

2.4 Adultes et enfants

Nous observons un effet significatif de l'âge étudiée (enfants ou adultes), de l'interaction entre l'âge et la condition, de l'interaction entre l'âge et le statut visuel et de l'interaction entre l'âge, la condition et le statut visuel (Tableau 53, Figure 63).

Tableau 53 : Effet des variables étudiées sur les temps d'exploration chez les enfants et les adultes

Variable	χ^2	df	p
Âge	28.421	1	<.001
Âge * Condition	120.188	1	<.001
Âge * Statut visuel	6.721	1	.009
Âge *Condition * Statut visuel	23.525	1	<.001

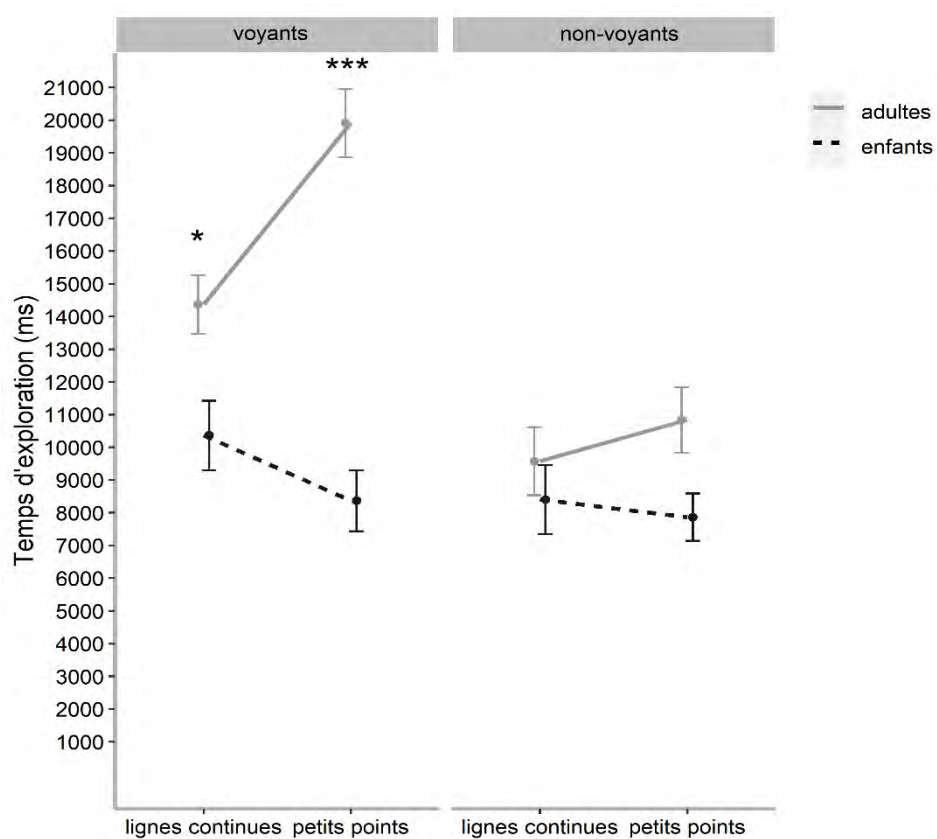


Figure 64 : Effet de la population, du statut visuel et de la condition sur le temps d'exploration

Chez les personnes voyantes, les temps d'exploration sont plus courts chez les enfants que chez les adultes (Tableau 54). Pour les personnes non-voyantes, les temps d'exploration semblent équivalents entre enfants et adultes (Tableau 55).

Tableau 54 : Comparaison des temps de reconnaissance chez les enfants et adultes selon la condition dans le groupe de voyants

Comparaisons Voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits point : Enfants - adultes	1.00	0.179	87.2	8.446	<.001	1.653
Lignes : Enfants - adultes	0.364	0.118	86.5	3.073	.003	0.602

Tableau 55 : Comparaison des temps de reconnaissance chez les enfants et adultes selon la condition dans le groupe de non-voyants

Comparaisons Non-voyants	β	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Petits point : Enfants - adultes	0.222	0.180	85.7	1.238	.219	0.415
Lignes : Enfants - adultes	0.052	0.180	85.8	0.292	.770	0.092

CURRICULUM VITAE

ACTIVITES PROFESSIONNELLES

- 2020-2021 **Assistante Temporaire de Recherche et d'Enseignement (ATER)**

TD L1, L2, L3 Psychologie cognitive
TD L3 Technique d'expérimentations et statistiques
Université Toulouse Jean Jaures
- 2018 **Vacataire psychologue**

Recrutement des pilotes d'Air France professionnels et cadets.
École Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse
- 2017-2020 **Doctorante en psychologie cognitive**
Université Toulouse Jean Jaures
Laboratoires IRIT et CLLE
- Chargée de cours**

TD Psychologie cognitive (L1 et L2 Psychologie)
Université Toulouse Jean Jaures

CM et TD Psychologie cognitive et Psychologie du développement (M1 MEEF)
INSPE Toulouse

CM et TD Méthodologie de la Recherche (M1 MEEF)
INSPE Toulouse

TP Informatique (L1 Informatique)
Université Paul Sabatier
- Juillet 2016 –
mars 2017 **Service civique**

Formation à l'utilisation des technologies numériques dans l'enseignement
Tutorats de mathématiques
Collège Hnaizianu, Lifou, Nouvelle-Calédonie

- Avril-juillet 2016 **Professeure de mathématiques suppléante**
Classes de sixième, seconde, première et terminale L, ES et S
Etablissement Assomption Ste Clothilde, Bordeaux
- Novembre 2015-avril 2016 **Professeure de français langue étrangère**
Débutant et confirmés
LHA social work & education, Dharamsala, Inde
- Septembre - octobre 2015 **Professeure de mathématiques suppléante**
Classes de seconde, première et terminale S :
Etablissement St Joseph de Tivoli, Bordeaux
- Janvier-août 2015 **Stage de recherche**
Développement du modèle de l'apprenant dans un système tutoriel intelligent par le biais d'un réseau bayésien
Encadrement : Pr. R.Nkambou
Laboratoire Gestion Diffusion et Acquisition des Connaissances, Montréal, Canada
- Avril-juin 2014 **Stage de recherche**
Etude de l'efficacité d'une application sur tablette pour le soutien de la communication en classe ordinaire chez des jeunes avec troubles du spectre autistique
Encadrement : Pr. H.Sauzeon
Laboratoire INRIA, Bordeaux
- Avril-juin 2013 **Stage de recherche**
Etude des effets de la musique sur le niveau de vigilance avec enregistrements EEG
Encadrement : Dr. F.Faita
Université de Bordeaux

FORMATION

- 2017 CAPES de Mathématiques
- 2015 Master Sciences cognitives et ergonomie
Mention Très bien
Université de Bordeaux
- 2015 Semestre d'étude en doctorat d'informatique cognitive
Université du Québec à Montréal

- 2013 Licence Psychologie
 Spécialité Psychologie cognitive
 Université de Bordeaux
- 2013 Licence Mathématiques Appliquées aux Sciences Sociales
 Spécialité Science cognitives. Mention Bien
 Université de Bordeaux
- 2010 Bac S spécialité SVT. Mention Bien
 Lycée Jean Monnet, Blanquefort