
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.

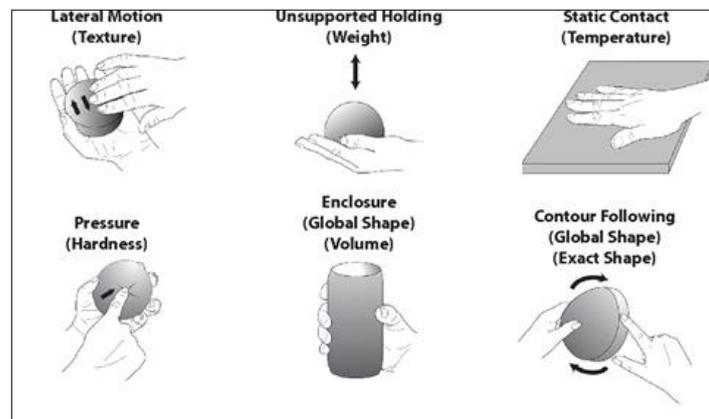


Figure 1 : Procédures d'exploration selon Lederman et Klatzky (1990)

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, Wullemin, 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.

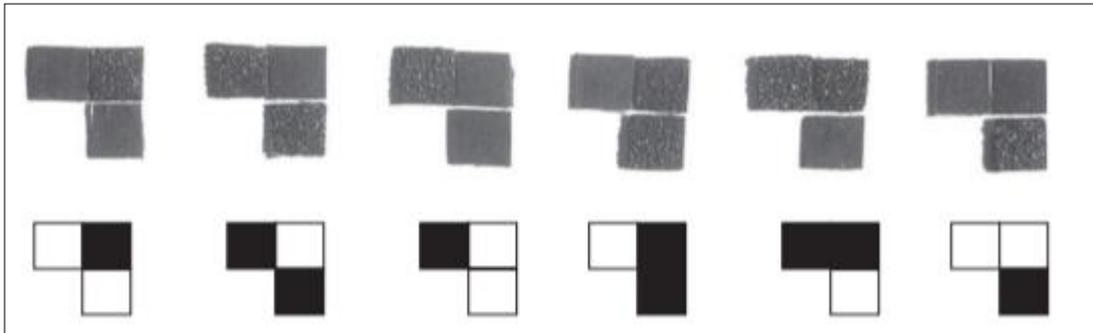


Figure 3 : Stimuli utilisés dans l'étude de Picard et Monnier

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.

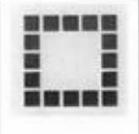
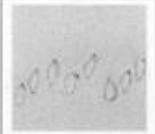
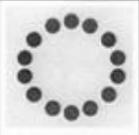
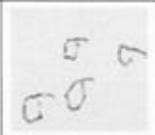
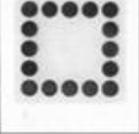
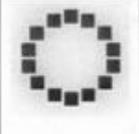
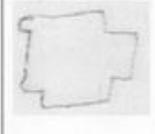
Image	Intégré	Partiellement intégré	Global	Local
				
				
				
				

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 une 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 formes 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.

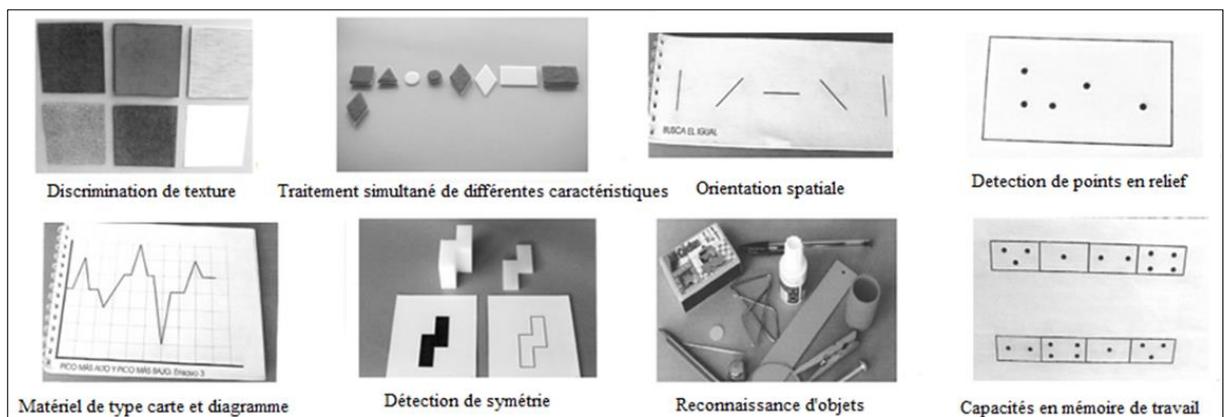


Figure 5 : Exemple de tests proposés par Ballesteros et al. (2005)

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.

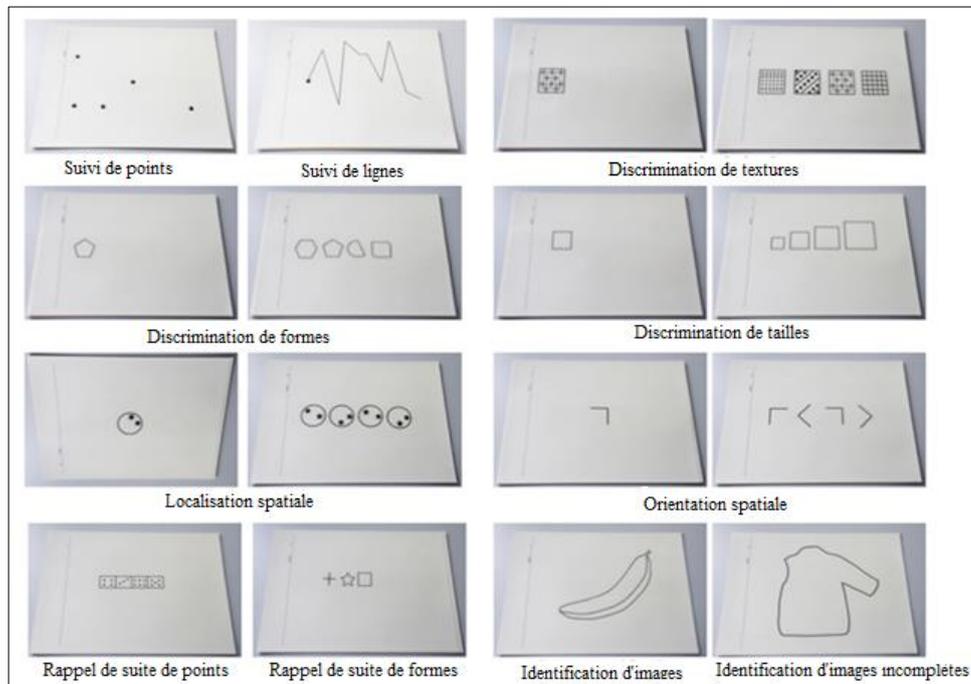


Figure 6 : Exemples de tests proposés par Mazella et al. (2016)

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 ».

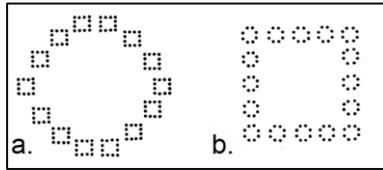


Figure 7 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Heller et Clyburn, (1993)

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.