

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 auteurs 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.

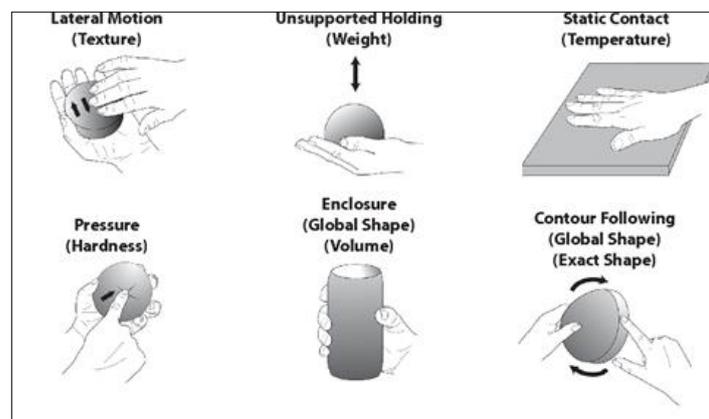


Figure 1 : Procédures d'exploration selon Lederman et Klatzky (1990)

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.

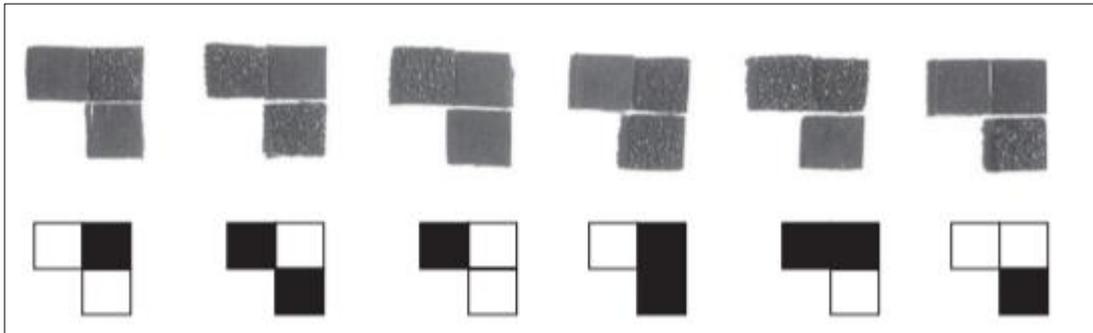


Figure 3 : Stimuli utilisés dans l'étude de Picard et Monnier

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 la 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.