

# Explorer pour percevoir l'espace avec la main : le sens haptique

**Edouard Gentaz**

Centre National de la Recherche Scientifique  
Laboratoire Cognition et Développement,  
Université René Descartes,  
71 avenue Edouard Vaillant,  
92774 Boulogne-Billancourt Cedex.  
E-mail : gentaz@psycho.univ-paris5.fr

## 1. Introduction

Un des objets d'étude de la psychologie cognitive est la nature des connaissances spatiales qui assurent la maîtrise de l'environnement. Ces connaissances concernent les propriétés spatiales des objets (y compris le corps propre) et les relations spatiales que ces objets entretiennent entre eux. Percevoir l'espace suppose la saisie, le traitement et la représentation de données spatiales issues des différentes modalités sensorielles. Nous nous intéressons ici à la façon dont l'espace est perçu avec la modalité tactile manuelle (cf. Hatwell, Streri, & Gentaz, 2000, 2003). Deux types de perception sont distingués. La perception cutanée ou passive résulte de la stimulation d'une partie de la peau alors que le segment corporel qui la porte est totalement immobile. Tel est le cas lorsque le dos de la main repose sur une table et qu'un objet pointu est déplacé sur sa paume. Dans ce cas, comme seule la couche superficielle de la peau est soumise à des déformations mécaniques, le traitement perceptif ne concerne que les informations cutanées liées au stimulus appliqué sur la main.

La perception haptique (tactilo-kinesthésique) ou active résulte de la stimulation de la peau résultant des mouvements actifs d'exploration de la main entrant en contact avec des objets. C'est ce qui se produit quand, par exemple, la main et les doigts suivent le contour d'un objet pour en apprécier la forme. Dans ce cas, il s'ajoute à la déformation mécanique de la peau celle des muscles, des articulations et des tendons qui résultent des mouvements d'exploration. La perception haptique implique alors des processus beaucoup plus complexes, car ces derniers doivent intégrer en même temps les informations cutanées et les informations proprioceptives et motrices liées aux mouvements d'exploration. Ces mouvements ont des particularités qu'il est important de préciser car ils dépendent de circuits nerveux en partie spécifiques : ils sont intentionnels, auto-initiés et généralement pluriarticulaires. D'autre part, comme ils sont souvent relativement lents, ils peuvent utiliser au cours de leur exécution des réafférences sensorielles qu'ils produisent eux-mêmes (cf. Gentaz, 2000a).

En ce qui concerne le sens haptique, il est à noter que la main est le seul organe doté à la fois d'une fonction perceptive et d'une fonction motrice générale. Cette double fonction est une spécificité essentielle de la modalité haptique par rapport aux autres modalités sensorielles qui ont uniquement une fonction perceptive. Dès lors, cette double fonction fait que, plus que dans toutes autres modalités sensorielles, perception et action sont indissociablement liées dans la modalité haptique. En conséquence, il est légitime de penser que les caractéristiques anatomo-physiologiques propres au système haptique, qui imposent des conditions particulières d'exploration et d'action sur l'environnement, pourraient avoir des conséquences spécifiques quant à la nature des processus à l'œuvre dans la perception haptique de l'espace (cf. Gentaz & Hatwell, 2000).

De nombreuses recherches soulignent l'efficacité du système perceptif haptique, qui peut appréhender presque toutes les propriétés auxquelles accède la vision. Mais, en raison des modes particuliers d'exploration que lui imposent son anatomie et son système moteur,

cette modalité est très bien adaptée à l'appréhension des propriétés matérielles (surtout la texture) des objets, alors qu'elle est sensiblement moins performante que la vision dans le domaine spatial. Par l'étude de la perception des propriétés spatiales (orientation, distance et localisation) dans la modalité haptique, nous chercherons ici à savoir si les processus perceptifs mis en œuvre par le cerveau sont similaires dans les modalités visuelles et haptiques ou/et s'il existe des processus haptique spécifiques.

## **2. La perception des orientations**

L'orientation d'un stimulus est toujours relative à un axe de référence, et est définie par l'angle formé par le stimulus et cet axe (Howard, 1982). L'axe vertical et l'axe horizontal sont privilégiés car ils correspondent respectivement à la direction de la gravité et à celle de l'horizon visuel. La combinaison de ces axes forme un cadre de référence dans un espace bidimensionnel où toutes les autres orientations sont dites obliques. Globalement, la perception des orientations est plus précise en vision qu'en haptique (Gentaz et al, 2001). Dans la perception haptique des orientations, on ne retrouve pas toujours « l'effet de l'oblique » (meilleure perception des verticale et horizontale que des obliques ; cf. Appelle, 1972; Gentaz, 2000b) qui est systématique dans la perception visuelle (Gentaz & Ballaz, 2000; Gentaz & Tschopp, 2002).

L'origine de l'effet de l'oblique est encore débattue. Pour Essock (1980) et Essock, Krebs, & Prather (1997), l'effet de l'oblique pourrait être expliqué par un biais général dans la représentation des obliques. Pour d'autres auteurs, ce biais résulterait du fait que toute orientation oblique doit être codée par rapport à des normes verticale et horizontale définissant un cadre de référence alors que les orientations verticale ou horizontale, normes de ce système de référence, seraient codées directement (Foster & Westland, 1998; Gentaz & Hatwell, 1996; Gentaz et al., 2001; Regan & Price, 1986). Pour mieux comprendre l'origine de cet effet de l'oblique, nous examinerons les questions suivantes 1) quelle est la nature du cadre de référence dans lequel il est défini ? 2) quelles sont les limites du déficit de perception haptique de la verticale observé chez les patients hémiparétiques ? 3) existe-t-il un effet de l'oblique haptique chez les bébés ? 4) l'effet de l'oblique est-il un phénomène général perceptif et moteur ?

### **2.1. Dans quel cadre de référence l'effet de l'oblique est-il défini ?**

#### **2.1.1. Effet de l'inclinaison de la tête et de l'ensemble du corps sur l'effet de l'oblique haptique**

Dans l'obscurité, l'inclinaison du corps ou de la tête détermine les cadres de référence égocentrés (rétinocentrique et centré sur la tête ou le corps) et gravitaire. En vision, certaines études ont mis en évidence un codage plutôt rétinocentrique, suggérant que cette anisotropie pouvait être expliquée principalement par les propriétés des neurones sélectifs à l'orientation présents au niveau du cortex visuel primaire. En effet, les neurones accordés sur les orientations rétinocentriques verticale et horizontale sont plus nombreux et présentent des caractéristiques de réponse particulières par rapport à ceux accordés sur les orientations obliques (Banks & Stolartz, 1975; Chen & Levi, 1996; Corwin, Moskowitz-Cook, & Green, 1977; Furmanski & Engel, 2000; Saarinen & Levi, 1995). En revanche, d'autres études ont révélé l'existence d'un codage gravitaire des orientations, suggérant ainsi que l'origine de l'effet de l'oblique était probablement plus centrale et impliquait des informations extrarétiniennes, comme les indices vestibulaires et somesthésiques, intégrés à un niveau plus haut dans la hiérarchie du traitement visuel (Attneave & Olson, 1967; Buchanan-Smith & Heeley, 1993; Ferrante, Gerbino, & Rock, 1995; Lipshits & McIntyre, 1999). Très peu de recherches sur la nature des cadres de référence, consacrées à des modalités autres que visuelle, existent. Ainsi, Van Hof & Lagers-van Haselen (1994) ont mis en évidence un codage des orientations dans un cadre de référence gravitaire dans la modalité proprioceptive.

## A) Effet de l'inclinaison de tout le corps sur l'effet de l'oblique dans la modalité haptique

Nous avons étudié l'effet de l'inclinaison du corps sur l'effet de l'oblique haptique (Luyat, Gentaz, Corte, & Guerraz, 2001). Les participants (yeux bandés) devaient explorer une baguette standard positionnée dans le plan frontal et, après un délai de 5 secondes, reproduire son orientation avec la même main. Trois conditions ont été examinées : corps droit, corps incliné à  $+45^\circ$  et  $-45^\circ$ . Cinq orientations ont été testées : verticale, horizontale, oblique à  $+45^\circ$ , oblique à  $-45^\circ$  et la verticale subjective (VS).

La « verticale subjective » correspond à la déviation commise par rapport à la direction gravitaire. C'est la perception par l'individu de la direction de la force de gravité. Le paradigme utilisé le plus couramment consiste à ajuster un stimulus (une baguette) à la verticale physique (cf. Luyat, 1997). Une première phase estimait donc la VS de chaque sujet dans chaque condition posturale et cette VS était ensuite testée dans la tâche d'exploration-reproduction. De plus, comme Wade & Curthoys (1997) ont suggéré que l'exploration haptique d'une baguette ne permet pas d'estimer avec une bonne stabilité la perception de l'orientation, nous avons mesuré une nouvelle fois la SV de chaque sujet après la tâche d'exploration-reproduction (phase 2).

Nous avons formulé trois hypothèses : si l'effet de l'oblique haptique est défini dans un cadre de référence gravitaire, la reproduction de la verticale et l'horizontale devrait être plus précis que la reproduction des obliques quelles que soient les conditions posturales. En revanche, si l'effet de l'oblique haptique est défini dans un cadre de référence égocentré, la reproduction des deux obliques ( $+45^\circ$  et  $-45^\circ$ ) qui sont parallèles et perpendiculaires au corps incliné à  $+ ou - 45^\circ$ , devrait être plus précise que la reproduction de la verticale gravitaire et l'horizontale (qui deviennent obliques relativement au corps). Cependant, sachant l'effet de l'inclinaison du corps sur la perception de verticale, la VS pourrait constituer un axe de référence utilisé quand le corps est incliné. Dans ce cas, la reproduction de la VS devrait être plus précise que toutes les autres orientations dans chaque condition « corps incliné »

Les résultats observés dans la tâche de production (phases 1 et 2) montrent des déviations systématiques de la VS haptique dans la direction opposée à l'inclinaison du corps. La comparaison des phases 1 et 2 montre que la perception de la VS est stable et fidèle dans le temps, justifiant ainsi son étude dans la tâche d'exploration-reproduction.

Les résultats dans la tâche d'exploration-reproduction montrent que l'inclinaison du corps perturbe la précision de la reproduction, en particulier la reproduction de la verticale gravitaire et l'horizontale. Ainsi, un effet de l'oblique est présent dans la condition corps droit et absent dans chaque condition corps incliné. L'effet de l'inclinaison affecte non seulement la perception de la verticale dans la tâche de production, mais aussi la reproduction des orientations. Cela signifie que, en condition « corps incliné », les orientations verticale gravitaire et horizontale ne semblent plus jouer le rôle de normes de référence, car elles ne sont pas mieux reproduites que les orientations à  $45^\circ$ . En conséquence, l'hypothèse d'un cadre de référence gravitaire sous-jacent à l'effet de l'oblique peut être rejetée. De la même manière, les résultats ne confirment pas l'hypothèse d'un cadre de référence égocentré car les orientations obliques à  $45^\circ$  (qui sont verticale ou horizontale par rapport au corps) ne sont pas mieux reproduites que la verticale gravitaire et l'horizontale. En revanche, les résultats montrent que la VS est mieux reproduite que les quatre autres orientations, en particulier dans chaque condition « corps incliné ». Dans ces conditions, la VS pourrait constituer une norme pour un cadre de référence gravitaire subjectif.

Cependant, cette expérience pose deux questions. La première concerne l'inclinaison de tout le corps: en effet, dans cette posture, le système épaule-main est aussi incliné et les mouvements d'exploration ne sont pas strictement comparables à ceux possibles dans la condition corps droit. La deuxième question concerne les rôles respectifs du système vestibulaire et du système somesthésique dans les conditions inclinées. En conséquence, il nous a paru intéressant de proposer la même expérience mais en inclinant seulement la tête.

## **B) L'effet de l'inclinaison de la tête sur l'effet de l'oblique haptique**

L'objectif de cette expérience est d'étudier l'effet de l'inclinaison de la tête seule sur l'effet de l'oblique haptique. Cette condition permet ainsi de garder le système épaule-main relativement stable et indépendant de la perturbation causée par l'inclinaison. De plus, l'inclinaison de la tête active principalement le système otolithique et les récepteurs musculaires et articulaires du cou. Enfin, contrairement à l'expérience précédente, le tronc reste vertical dans toutes les conditions. Avec la même méthode que celle décrite plus haut, les résultats observés dans la tâche de production montrent des effets similaires à ceux observés précédemment, à savoir des déviations systématiques dans la direction opposée à l'inclinaison de la tête et une bonne stabilité et fidélité de la VSV. Les résultats dans la tâche d'exploration-reproduction reproduisent aussi ceux de l'expérience précédente. L'ensemble de ces résultats suggère donc que l'effet de l'oblique haptique serait défini dans un cadre de référence gravitaire subjectif.

### **2.1.2. Effet de l'inclinaison du corps sur l'effet de l'oblique visuel**

Nous avons appliqué la démarche des recherches haptiques précédentes à la modalité visuelle (Luyat & Gentaz, 2002), c'est-à-dire que nous avons testé l'effet de l'inclinaison de l'ensemble du corps sur l'effet de l'oblique visuel avec le même paradigme que celui proposé en haptique. Les résultats dans la tâche de production montrent que l'inclinaison de corps produit des déviations systématiques de la verticale subjective visuelle VSV en direction de l'axe de l'inclinaison du corps. De plus, comme cette VSV est stable et fidèle dans le temps, il est possible de l'utiliser dans une tâche d'exploration-reproduction.

Les résultats dans la tâche d'exploration-reproduction montrent que l'inclinaison du corps perturbe la précision de la reproduction visuelle des orientations verticale gravitaire et horizontale. Ainsi, l'effet de l'oblique visuel est présent dans la condition de corps droit et absent dans chaque condition « corps incliné ». L'effet de l'inclinaison affecte non seulement la perception visuelle de la verticale dans la tâche de production, mais aussi la reproduction des orientations. En conséquence, les hypothèses d'un cadre de référence gravitaire ou d'un cadre de référence égocentré sous-jacent à l'effet de l'oblique visuel peuvent être rejetées. En revanche, les résultats montrent que la VSV est mieux reproduite que les quatre autres orientations, en particulier dans les conditions corps inclinés. Dans ces conditions, la VSV pourrait constituer une norme pour un cadre de référence gravitaire subjectif.

Cependant, les bonnes performances observées pour la VSV pourraient s'expliquer par la proximité spatiale de la verticale gravitaire et de la verticale subjective. Dans une seconde expérience, nous avons examiné cette dernière explication en cherchant à savoir si l'orientation symétrique (par rapport à la gravité) à VSV avait un rôle similaire. Si la VSV est mieux reproduite que la VSV-symétrique dans chaque condition « corps incliné », ceci signifie que la VSV a un rôle spécifique et qu'elle peut constituer une norme de référence. Nous avons donc testé dans une condition corps incliné trois orientations dans une tâche d'exploration-reproduction : la verticale gravitaire, la VSV et la VSV-symétrique. Les résultats montrent que la VSV reste l'orientation la mieux reproduite en condition corps incliné.

En résumé, l'ensemble de ces recherches montre que l'inclinaison du corps entier a un effet sur la reproduction visuelle des orientations. L'effet de l'oblique classique observé dans la condition corps droit disparaît en condition corps incliné à cause de la diminution de la précision de la reproduction de la verticale gravitaire et l'horizontale. En conditions inclinées, la VSV apparaît être l'orientation la mieux perçue. Ainsi, l'effet de l'oblique visuel semble défini dans un cadre de référence gravitaire subjectif, comme l'est l'effet de l'oblique haptique.

## **2.2. Quelles sont les limites du déficit de perception de la verticale observé chez les patients héminégligents**

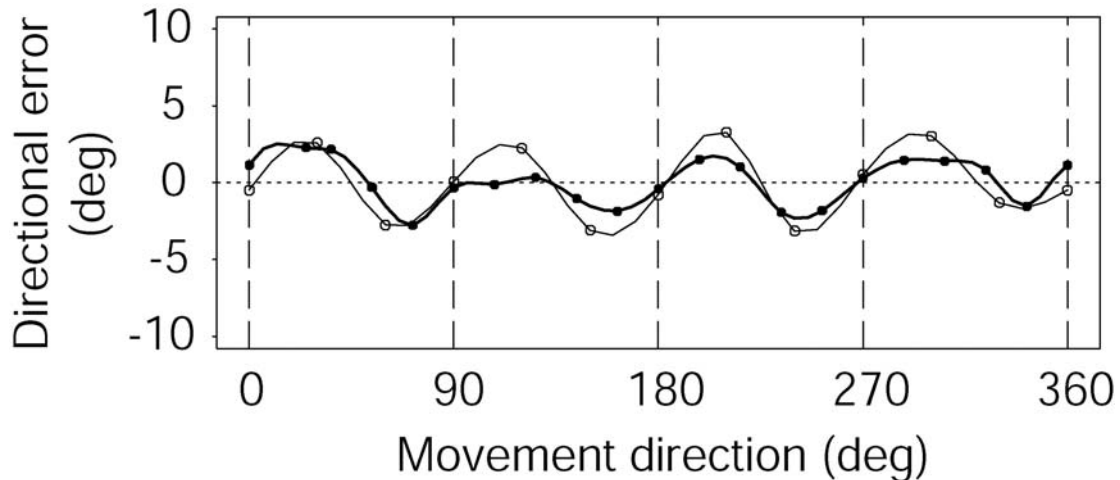
Gentaz, Badan, Luyat, & Touil (2002) ont étudié les limites du déficit de perception haptique de l'orientation verticale observé chez des patients cérébrolésés (lésions cérébrales dans l'hémisphère cérébrale droit) ayant une négligence visuo-spatiale de l'hémichamp gauche (Kerkhoff, 1999; Kerkhoff & Zoelch, 1998). Nous avons demandé à des patients héminégligents et à un groupe contrôle d'adultes sains de positionner une baguette, présentée dans leur plan frontal, dans une des quatre orientations testées: verticale, horizontal et + ou - 45°, dans leur hémichamp gauche ou droit. Les résultats confirment le déficit observé chez les héminégligents : la précision est moins bonne chez eux que chez les adultes sains (jeunes et âgés). De plus, nous observons dans les trois groupes de sujets la présence d'un même effet de l'oblique haptique, et ceci dans les deux hémiespaces. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que le déficit de perception haptique des orientations des héminégligents affecte de la même manière toutes valeurs et les positions spatiales des orientations.

## **2.3. Existe-t-il un effet de l'oblique haptique chez les bébés ?**

En vision, plusieurs études ont montré la présence d'un effet de l'oblique dès les premiers mois (cf. Gentaz & Ballaz, 2000). Pour savoir si cet effet de l'oblique est présent aussi en haptique chez les bébés, nous avons examiné des bébés de 5 mois pour savoir, dans un premier temps, s'ils sont capables de discriminer haptiquement (par agrippement manuel sans contrôle visuel) une baguette verticale d'une baguette oblique à 45° (Gentaz & Streri, 2002). Nous avons donc procédé à une phase de familiarisation de 90 secondes à une baguette orientée à la verticale (pour la moitié du groupe) ou à 45° (pour l'autre moitié). Dans la phase-test qui suit immédiatement la familiarisation, ces deux orientations sont présentées alternativement. Une discrimination haptique est observée lorsque il y a une réaction à la nouveauté dans la phase de discrimination, c'est-à-dire quand le temps de tenue manuelle de l'orientation familière (celle proposée dans la phase de familiarisation) est plus court que le temps de tenue de l'orientation nouvelle. C'est effectivement ce qui est observé ce qui suggère que les bébés de 5 mois sont capables de discriminer haptiquement deux orientations (verticale vs oblique à 45°). Dans un second temps, nous avons montré que la perception haptique des orientations est déjà anisotropique chez les bébés de 5 mois et qu'il semble exister à cet âge un effet de l'oblique haptique (Gentaz & Streri, 2004).

## **2.4. L'effet de l'oblique est-il un phénomène général perceptif et moteur ?**

Nous nous sommes demandés (Baud-Bovy & Gentaz, soumis) si l'effet de l'oblique est un phénomène général qui permettrait de comprendre l'origine des erreurs de pointage kinesthésique sur des cibles observées par (Baud-Bovy & Viviani, sous presse). Dans cette dernière étude réalisée avec des sujets dont les yeux étaient bandés, les cibles étaient disposées en cercle dans le plan horizontal. A chaque essai, un robot guidait la main du sujet vers la cible avant de la ramener sur le point de départ situé à l'opposé sur le cercle. Puis, le sujet effectuait le mouvement de pointage vers la cible. La Figure 1 montre la direction des erreurs pour l'ensemble des cibles (moyenne des sujets). Les erreurs directionnelles sont minimales pour les cibles qui correspondent à un mouvement latéral (0° et 180°), sagittal (90° et 270°) ou diagonal (45°, 135°, 225° et 315°). Pour les autres directions, les mouvements de pointage sont déviés en direction de la diagonale la plus proche (dans le premier quadrant, par exemple, on observe une sur-estimation entre 0° et 45°, et une sous-estimation entre 45° et 90°).

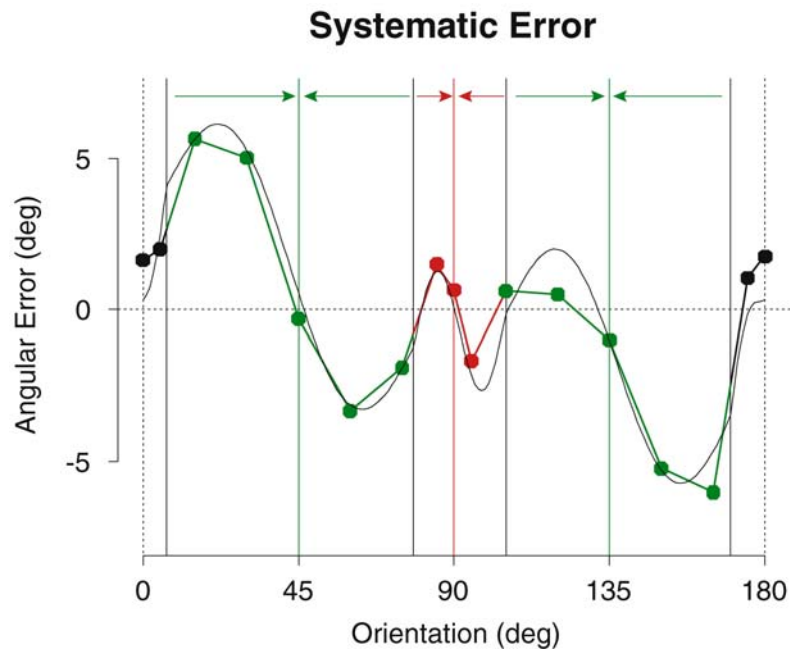


**Figure 1.** Erreur directionnelle observée dans des mouvements de pointages vers des cibles kinesthésiques (Baud-Bovy et Viviani, sous presse).

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par divers chercheurs dans des expériences impliquant des mouvements de pointages vers des cibles visuelles (e.g. Gordon, Ghilardi, Cooper, & Ghez, 1994b; Gordon, Ghilardi, & Ghez, 1994a; Gourtzelidis, Smyrnis, Evdokimidis, & Balogh, 2001). Gordon, Ghilardi, et Ghez (1995) ont proposé un explication de ces déviations par une mauvaise prise en compte des propriétés biomécaniques du bras par le système moteur. Toutefois, le fait que ces déviations existent quelque soit la vitesse des mouvements est peu cohérent avec cette interprétation (Baud-Bovy & Viviani, sous presse). En fait, nous pensons que ce phénomène d'attraction vers les diagonales peut être mis en relation avec l'effet de l'oblique. En effet, en ce qui concerne l'erreur variable (la variabilité intra-individuelle des mesures), il a été montré que l'horizontale et la verticale sont jugées, estimées et reproduites de façon plus précises que les autres orientations. En ce qui concerne l'erreur systématique, plusieurs études sur la perception et la reproduction des orientations dans la modalité visuelle ont mis en évidence ce phénomène d'attraction vers les diagonales (Dick & Hochstein, 1989; Yakimoff, Lansky, Mitrani, & Radil, 1989). Cependant, les études précédentes sur la perception haptique des orientations et l'effet de l'oblique n'ont testé qu'un faible nombre d'orientations (i.e., l'horizontale, la verticale et les deux diagonales), ce qui est insuffisant pour mettre en évidence ce phénomène d'attraction vers les diagonales.

Nous nous sommes donc demandés s'il y a une déviation systématique vers les diagonales dans une tâche de perception des orientations dans la modalité haptique (Baud-Bovy et Gentaz, soumis). Ainsi, nous avons testé douze orientations dans le plan frontal (de  $0^\circ$  à  $165^\circ$  par incrément de  $15^\circ$ ) plus deux orientations autour de l'horizontale ( $0^\circ$  et  $\pm 5^\circ$ ) et de la verticale ( $90^\circ$  et  $\pm 5^\circ$ ). Le sujet avait les yeux fermés à chaque essai et le bout de son index était enfoncé dans un dé à coudre monté à l'extrémité d'une interface haptique (Phantom 1.5). Pendant la phase d'exploration, l'interface haptique contraignait les mouvements d'exploration en empêchant le doigt de s'écarter d'une ligne droite orientée de la façon désirée tout en laissant le sujet libre de parcourir cette droite dans le sens de la longueur. Pendant la phase de reproduction, l'interface haptique était utilisée pour enregistrer les mouvements du sujet (50 Hz). La réponse du sujet était constituée par l'orientation du principal moment d'inertie de cette trajectoire.

Les résultats de cette expérience ont mis en évidence des erreurs systématiques en direction des diagonales (Figure 2), erreurs similaires à celles observées dans la tâche de pointage sur des cibles kinesthésiques. De plus, le nombre élevé d'orientations testées dans cette expérience a permis de démontrer la présence d'un bassin d'attraction supplémentaire autour de la verticale (et de l'horizontale pour un tiers des sujets). Il se peut que cette asymétrie entre la verticale et l'horizontale soit due à l'anisotropie inertielle de l'interface haptique. En effet, les masses du système sont distribuées de telle façon que la masse apparente est légèrement plus faible pour la verticale que pour l'horizontale.



**Figure 2.** Erreurs angulaires observées dans une tâche de perception haptique d'orientations (à gauche). Représentation schématique de la direction des erreurs angulaires (à droite). Le bassin d'attraction des orientations autour des diagonales est plus large que celui autour de la verticale.

Le fait qu'un même phénomène ait été mis en évidence dans des tâches perceptives (la perception, jugement ou reproduction d'une orientation) et motrices (mouvements de pointage) dans plusieurs modalités sensorielles suggère qu'un seul et même mécanisme est impliqué. En ce qui concerne l'effet de l'oblique, Essock (1980) a proposé de faire la distinction entre les effets reflétant les propriétés élémentaires des systèmes sensoriels, des effets qu'il faut attribuer aux processus d'encodage ou mnésiques de plus haut niveau impliqués "dans l'identification, la remémoration, l'appariement, la catégorisation ou la comparaison des orientations des stimuli visuels or somatosensoriels" (Essock, Krebs and Prather, 1997). La diversité des contextes dans lesquels ce phénomène est ainsi observé suggère qu'il s'agit plutôt d'un processus représentationnel ou cognitif de haut-niveau (Gourtzelidis et al., 2001). Plus précisément, toutes ces observations correspondraient à la manifestations d'une tendance à catégoriser (inconsciemment) un espace de travail circulaire en quadrants délimités par les axes vertical et horizontal. Ces deux axes principaux auraient un statut particulier, et seules les orientations suffisamment proches de l'un de ces axes seraient identifiées de façon positive (ce qui expliquerait les petits bassins d'attraction autour de la verticale et de l'horizontale). Par défaut, toutes les autres orientations seraient assimilées à une classe d'orientations obliques moins bien définie, dont le prototype serait la diagonale ( $\pm 45^\circ$ ) la plus proche. En effet, selon Huttenlocher, Hedges, et Duncan (1991), la position perçue d'un point dériverait vers un prototype placé à proximité du "centre de masse" (i.e., le long de la diagonale dans le contexte qui nous intéresse) lorsque la position du point est spécifiée de façon incomplète.

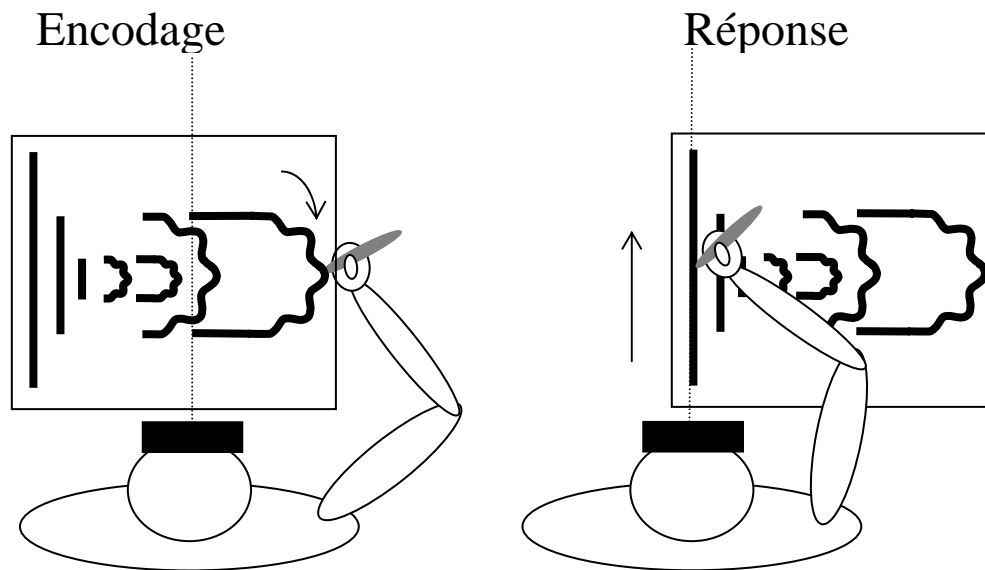
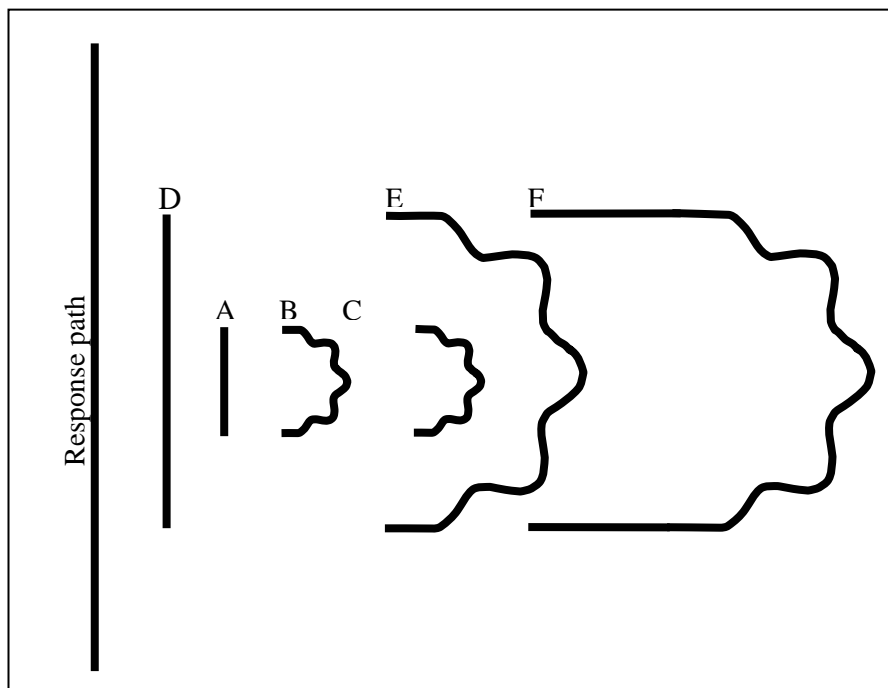
### **3. La perception des distances**

La perception des distances est plus précise en vision qu'en haptique. En haptique, et les méthodologies et les résultats observés dans la littérature sont très variables (cf. Gentaz & Hatwell, 2000). Une manière d'étudier la perception haptique des distances consiste à examiner l'estimation d'une distance euclidienne inférée entre deux points. Ainsi, (Lederman, Klatzky, & Barber, 1985) demandent à des voyants (travaillant sans voir) d'inférer la distance euclidienne entre deux points si, partant de l'un d'eux, leur index arrive au second point après

avoir suivi un trajet comportant des détours. Les auteurs testent plusieurs distances euclidiennes (de 2,5 à 15,2 cm) en proposant pour chacune d'elles des détours sinueux 2, 4, 6 et 8 fois plus longs. Les résultats révèlent une surestimation des distances euclidiennes qui augmente à mesure que la longueur des détours s'accroît («effet du détour»). Cet effet est présent même si le sujet ne sait pas à l'avance s'il devra estimer la longueur du détour ou la distance euclidienne, mais son amplitude se réduit si le sujet est prévenu de ce qu'il doit juger. Cet effet du détour n'est observé que quand la longueur du détour est supérieure à au moins deux fois la distance euclidienne testée. Lederman *et al.* (1985) observent aussi cet effet chez les aveugles tardifs et précoces, avec une amplitude plus importante chez les aveugles précoces. Les auteurs expliquent cet effet du détour par un mode de codage basé sur le mouvement d'exploration *per se*.

Faineteau, Gentaz, & Viviani (2003) ont proposé une tâche similaire d'intégration de trajet dans laquelle les informations kinesthésiques continues sont déterminantes et les informations cutanées réduites. Plus précisément, notre étude cherche à savoir si, malgré les différences des modalités sensorielles impliquées, on obtiendra des résultats semblables à ceux de (Lederman, S. J., Klatzky, R. L., & Barber, P. O., 1985). En effet, si les systèmes kinesthésique et haptique partagent des mécanismes analogues, alors un effet du trajet devrait se manifester aussi en situation kinesthésique. Nous avons donc étudié l'estimation de la distance euclidienne (D.E) dans la modalité kinesthésique. Différents trajets sinueux sont proposés et permettent de tester deux distances euclidiennes (Figure 3). Les trajets sont explorés à l'aide d'un stylet tenu dans la main du sujet et les informations cutanées sont alors négligeables. Étant donné que la kinesthésie partage des similitudes avec la perception haptique, nous nous attendions à ce qu'un effet du détour intervienne également lorsque le trajet proposé fait 2 et 3 fois la D.E. testée (avec une amplitude qui augmente dans cette dernière condition).. D'autre part, on s'attendait à ce que cet effet soit présent pour n'importe quelle D.E. testée. La direction du mouvement est également testée dans cette recherche : les mouvements d'exploration et de réponse se font dans des directions opposées. Enfin, nous avons fait varier les conditions d'encodage-réponse (CER) afin de permettre un contrôle expérimental. Dans une première condition, l'encodage et la réponse se trouvent au niveau de l'axe médian (CER<sub>1</sub>), tandis que dans une seconde condition, ils sont décalés par rapport à l'axe médian (CER<sub>2</sub>) de 14 cm. Dans la CER<sub>1</sub>, l'axe médian peut jouer le rôle de système de référence, permettant la localisation du point de départ du trajet. La deuxième CER a donc été mise en place afin de vérifier si les sujets ne se basent pas exclusivement sur le point de départ pour fournir leur réponse.

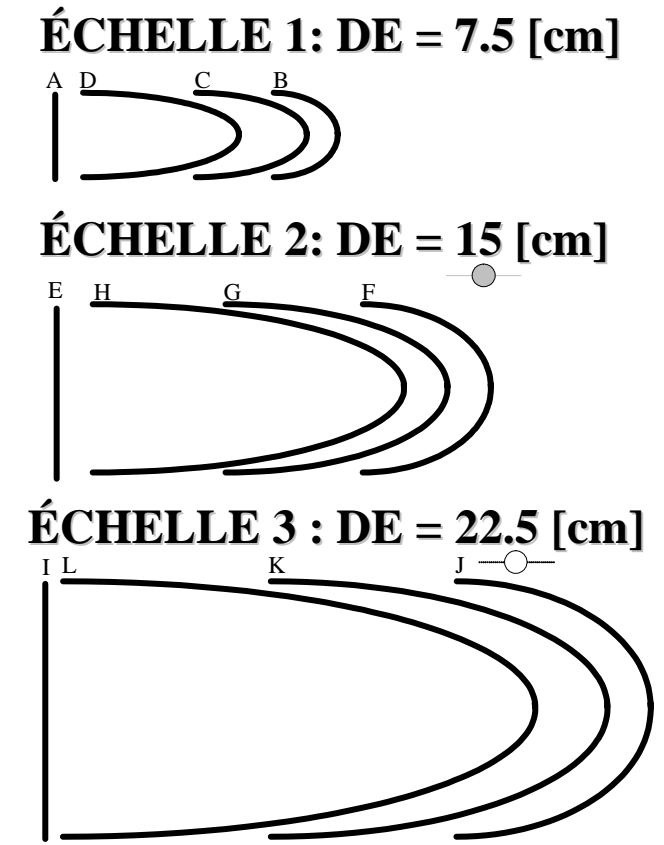
Les résultats révèlent un effet du détour qui apparaît uniquement lorsque la D.E. à inférer est de 7,5 cm, et non lorsqu'elle est de 22,5 cm. Pour la D.E. de 7,5 cm exclusivement, on constate que plus le détour est important, plus les proportions (transformations effectuées afin de comparer les données entre-elles) d'erreurs relatives augmentent. Nos résultats divergent donc de ceux obtenus par (Lederman, S. J., Klatzky, R. L., & Barber, P. O., 1985). Ici, l'effet du détour est présent uniquement avec les trajets les plus courts. Pour les trajets dont la D.E. est de 7.5 cm, les sujets surestiment la D.E. d'autant plus que le détour est important. Par contre, aucun effet n'est observé pour les trajets occupant une plus grande partie de l'espace manipulatoire (les erreurs restent similaires lorsque la DE à inférer est de 22,5 cm i.e. pour les trajets D, E et F). Enfin, les résultats montrent que la direction du mouvement et les conditions d'encodage-réponse (CER) n'affectent pas les performances.

**A****B**

**Figure 3.** Stimuli et conditions expérimentales proposées par Faineteau, Gentaz & Viviani (2003). Longueurs des trajets d'exploration durant la phase d'encodage : 1) Petit espace : A =  $1 \times 7.5$  cm, B =  $2 \times 7.5$  cm et C =  $3 \times 7.5$  cm ; 2) Grand espace = D =  $1 \times 22.5$  cm, E =  $2 \times 22.5$  cm et F =  $3 \times 22.5$  cm.

L'ensemble des résultats montre que les sujets encodent leurs mouvements, et intègrent le trajet de manière plus précise seulement lorsqu'ils explorent une partie relativement importante de l'espace manipulatoire. Pour réussir cette tâche, il faut que le sujet soit capable,

lorsque sa main se déplace dans le plan horizontal, de baser ses estimations seulement sur la composante sagittale du vecteur déplacement et ainsi incapable de ne pas prendre en compte sa composante orthogonale (non pertinente). Il semble que cette capacité à séparer ces deux composantes soient difficiles lorsque les points d'inflexion des trajets d'exploration sont rapprochés dans le temps et dans l'espace. Au niveau moteur, un point d'inflexion est difficile à traiter car les fonctions musculaires s'inversent : les muscles fléchisseurs deviennent extenseurs et réciproquement. Ainsi, le fait plusieurs points d'inflexion doivent être traités dans la phase d'exploration des petits trajets dans un court laps de temps rend difficile pour le sujet la séparation des deux composantes du vecteur déplacement. Faineteau, Gentaz, & Viviani (soumis) ont validé cette hypothèse avec la même tâche mais avec des trajets d'exploration (des demi-ellipses) sans point d'inflexion (Figure 4). Les résultats ne révèlent alors aucun effet du détour quelle que soit la taille de l'espace de travail.



**Figure 4.** Stimuli proposés par Faineteau, Gentaz et Viviani (soumis). Longueur des trajets explorés durant la phase d'encodage. 1) Echelle 1 : A =  $1 \times 7.5$  cm, B =  $2 \times 7.5$  cm, C =  $3 \times 7.5$  cm et D =  $4 \times 7.5$  cm; 2) Echelle 2 : E =  $1 \times 15$  cm, F =  $2 \times 7.5$  cm, G =  $3 \times 7.5$  cm et H =  $4 \times 7.5$  cm; 3) Echelle 3 : I =  $1 \times 22.5$  cm, J =  $2 \times 22.5$  cm, K =  $3 \times 22.5$  cm et L =  $4 \times 22.5$  cm

#### **4. La perception des localisations**

Localiser un stimulus dans l'environnement suppose de coder sa place dans un cadre de référence. Comme le système haptique est une modalité de contact qui apporte moins d'informations sur les objets extérieurs que le système visuel, on s'est demandé si une référence égocentrée est plus souvent utilisée qu'une référence allocentrée pour localiser haptiquement un stimulus. Pour répondre à cette question, le cadre à l'intérieur duquel la position d'objets doit être estimée a été varié, en rendant tantôt possible, tantôt difficile la référence égocentrée. En vision, les résultats montrent que les sujets, dès le plus jeune âge, localisent généralement les objets dans un cadre de référence allocentré. En haptique, la situation diffère selon que le sujet dispose ou non de représentations visuelles et selon l'âge des sujets. Chez les voyants travaillant sans voir et les aveugles tardifs, la localisation

haptique d'un objet est faite généralement dans un cadre de référence allocentré, surtout chez les enfants âgés et les adultes, tandis que les très jeunes enfants voyants privilégient plus longtemps, dans la modalité haptique, un cadre de référence égocentré non réactualisé, c'est-à-dire qui n'a pas pris en compte les conséquences spatiales des déplacements du sujet ou des objets (Hatwell, 1994). Les aveugles précoces, même adultes, ils ont tendance à localiser haptiquement par rapport au corps propre (Millar, 1994). Ils manifestent alors le plus souvent des difficultés dans l'inférence de la place des objets après un déplacement des objets ou du sujet lui-même (Hatwell, 1966, 1978; Thinus-Blanc & Gaunet, 1997).

Une autre manière d'étudier la localisation haptique consiste à savoir si, chez des adultes travaillant sans voir, l'inférence de la position d'un stimulus est liée aux mouvements d'exploration nécessaire pour l'atteindre, comme c'est le cas pour la distance euclidienne. Pour étudier cette question, Lederman *et al.* (1985) proposent un paradigme similaire à celui proposé pour examiner l'inférence des distances euclidiennes. Ces auteurs fixent une distance euclidienne de 6,7 cm entre un point de départ et d'arrivée, et changent l'orientation et la longueur des détours entre ces deux points. Après avoir exploré librement avec leur index le détour, les sujets doivent positionner un pointeur reproduisant la direction reliant les points de départ et d'arrivée. Les résultats montrent que les estimations de la localisation ne sont pas influencées par les différents détours.

Klatzky (1999) a proposé une tâche de « complétion de triangle », au cours de laquelle les sujets (yeux bandés) suivent avec leur index droit les deux branches-segments d'un triangle (des points en relief de 2 mm de diamètre). A l'arrivée, ils doivent retrouver le point de départ du trajet en effectuant le trajet le plus court avec le même doigt. Les trajets sont formés à partir de la combinaison de trois facteurs : la longueur de la première branche, la longueur de la seconde branche et l'angle entre ces deux branches. Deux paramètres de la réponse sont mesurés : l'erreur d'amplitude (différence entre l'amplitude de la réponse du sujet et l'amplitude correcte) et l'erreur angulaire (angle formé entre la seconde branche et la branche-réponse). Les résultats montrent une sous-estimation systématique de l'amplitude, qui augmente avec la longueur réelle des deux branches (une sorte d'effet du détour) alors que les erreurs angulaires demeurent faibles et stables. D'après Klatzky (1999), ces deux paramètres seraient calculés par des processus différents : l'amplitude de la réponse relèverait d'un codage « route » alors que l'angle relèverait d'un codage de type « spatial ».

Wydoody, Gentaz, Gaunet, Chêne, & Streri (2003) ont proposé la même tâche de « complétion de triangle » avec des trajets composés de deux barres en fer. Ces deux barres peuvent être soit petites (20 cm), soit grandes (40 cm) et peuvent être connectées entre elles par un angle de 90° ou par un angle de 135°. Ainsi, si le trajet de la main est intégré dans un cadre de référence fixe, les estimations haptiques de localisation devraient être indépendantes des paramètres d'exploration de la main. Par contre, si le mode de codage est basé sur les mouvements d'exploration, les estimations de localisation devraient être influencés par la nature du trajet. Les résultats montrent un effet du détour pour les erreurs d'amplitude. Ce résultat reproduit celui de Klatzky (1999). En revanche, les résultats révèlent aussi un effet du détour pour les erreurs angulaires. Ce dernier résultat ne concorde pas avec celui de Klatzky (1999). Il est possible que cette différence s'explique par les conditions expérimentales et les stimuli proposés dans chacune des deux études. Ces résultats suggèrent actuellement que ces deux paramètres ne sont pas calculés par des processus différents.

## **6. Conclusion**

En résumé, ces recherches montrent que : 1) les orientations spatiales perçues haptiquement et visuellement sont définies dans un cadre de référence gravitaire subjectif ; 2) le déficit observé chez les patients héminégligents dans la perception haptique des orientations semble affecter de la même manière toutes les orientations, quelles que soient leurs valeurs et leurs positions spatiales ; 3) les bébés de 5 mois sont capables de discriminer manuellement (sans contrôle visuel) deux orientations (verticale vs. diagonale). De plus,

comme en vision, cette discrimination haptique est anisotropique car les bébés perçoivent mieux l'orientation verticale qu'une orientation oblique ; 4) l'effet de l'oblique semble être un phénomène général perceptif et moteur; 5) l'inférence kinesthésique d'une distance euclidienne entre deux points est influencée par la longueur du trajet pour les rejoindre seulement lorsque la main se déplace dans un petit espace ou que ce trajet comporte des points d'inflexion ; 6) l'inférence haptique de la localisation d'un point n'est pas indépendante du trajet effectué pour l'atteindre.

En conclusion, l'ensemble des recherches montre qu'il existe à la fois processus perceptifs mis en œuvre par le cerveau qui sont similaires dans les modalités visuelle et haptique, et des processus haptiques spécifiques. Ces processus spécifiques semblent souvent liés aux caractéristiques de l'exploration car celles-ci déterminent les indices et les cadres de référence disponibles.

## Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien du programme Cognitique du Ministère de la Recherche (COG 78B) et du Centre National de la Recherche. Je tiens à remercier vivement et très sincèrement Maryse Badan, Gabriel Baud-Bovy, Henri Faineteau, Yvette Hatwell, Marion Luyat, Arlette Streri et Paolo Viviani pour leurs précieuses collaborations.

## 6. Références bibliographiques

- Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: The "oblique effect" in man and animals. *Psychological Bulletin*, *78*, 266-278.
- Attneave, F., & Olson, R. K. (1967). Discriminability of stimuli varying in physical or retinal orientation. *Journal of Experimental Psychology*, *74*, 149-157.
- Banks, M. S., & Stolartz, S. S. (1975). The effect of head tilt on meridional differences in acuity: Implications for orientation constancy. *Perception & Psychophysics*, *17*, 17-22.
- Baud-Bovy, G., & Gentaz, E. (soumis). The haptic perception of orientations in the frontal plane and in space.
- Baud-Bovy, G., & Viviani, P. (sous presse). Amplitude and direction errors in kinesthetic pointing. *Experimental Brain Research*.
- Buchanan-Smith, H. M., & Heeley, D. W. (1993). Anisotropic axes in orientation perception are not retinotopically mapped. *Perception*, *22*, 1389-1402.
- Chen, S., & Levi, D. M. (1996). Meridional anisotropy in the discrimination of parallel and perpendicular lines - effect of body tilt. *Perception*, *25*, 633-649.
- Corwin, T. R., Moskowitz-Cook, A., & Green, M. A. (1977). The oblique effect in a vernier acuity situation. *Perception & Psychophysics*, *21*, 445-449.
- Dick, M., & Hochstein, S. (1989). Visual orientation estimation. *Perception & Psychophysics*, *46*, 227-234.
- Essock, E. A. (1980). The oblique effect of stimulus identification considered with respect to two classes of oblique effects. *Perception*, *9*, 37-46.
- Essock, E. A., Krebs, W. K., & Prather, J. R. (1997). Superior sensitivity for tactile stimuli oriented proximally-distally on the finger: implications for mixed class 1 and class 2 anisotropies. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 515-527.
- Faineteau, H., Gentaz, E., & Viviani, P. (2003). The kinaesthetic perception of Euclidean distance: A study of the detour effect. *Experimental Brain Research*, *152*, 166-172.
- Faineteau, H., Gentaz, E., & Viviani, P. (soumis). The kinaesthetic estimation of Euclidean distance.
- Ferrante, D., Gerbino, W., & Rock, I. (1995). Retinal vs. environmental orientation in the perception of the right angle. *Acta Psychologica*, *88*, 25-32.

- Foster, D., & Westland, S. (1998). Multiple groups of orientation-selective visual mechanism underlying rapid orientated-line. Proceedings of the Royal Society of London, Series B256, 1605-1613.
- Furmanski, C., & Engel, A. (2000). An oblique effect in human primary visual cortex. Nature Neurosciences, 3, 535-536.
- Gentaz, E. (2000a). Caractéristiques générales de l'organisation anatomo-fonctionnelle de la perception cutanée et haptique. In Y. Hatwell & A. Streri & E. Gentaz (Eds.), Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle (pp. 19-34). Paris: Presses Universitaires de France.
- Gentaz, E. (2000b). Existe-t-il un "effet de l'oblique" dans la perception tactile des orientations ? L'Année Psychologique, 1.
- Gentaz, E., Badan, M., Luyat, M., & Touil, N. (2002). The manual haptic perception of orientations and the oblique effect in patients with left visuo-spatial neglect. NeuroReport, 13, 327-331.
- Gentaz, E., & Ballaz, C. (2000). La perception visuelle des orientations et l'effet de l'oblique. L'Année Psychologique, 100, 715-744.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1996). Role of gravitational cues in the haptic perception of orientation. Perception & Psychophysics, 58, 1278-1292.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (2000). Le traitement haptique des propriétés spatiales et matérielles des objets. In Y. Hatwell & A. Streri & E. Gentaz (Eds.), Toucher pour connaître (pp. 129-162). Paris: PUF.
- Gentaz, E., Luyat, M., Cian, C., Hatwell, Y., Barraud, P.-A., & Raphel, C. (2001). The reproduction of vertical and oblique orientations in the visual, haptic, and somato-vestibular systems. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 54, 513-526.
- Gentaz, E., & Streri, A. (2002). Infants' haptic discrimination of spatial orientations. Current Psychology Letters, 9, 61-73.
- Gentaz, E., & Streri, A. (2004). An oblique effect in infants' haptic perception of spatial orientations. Journal of Cognitive Neuroscience, 16, 1-7.
- Gentaz, E., & Tschopp, C. (2002). The oblique effect in the visual perception of orientations. In S. Shovov (Ed.), Advances in Psychology Research, Volume 11 (pp. 137-163). New-York: Nova Sciences Publishers.
- Gordon, E. W., Ghilardi, M., Cooper, S., & Ghez, C. (1994b). Accuracy of planar reaching movements. II. Systematic extent errors resulting from inertial anisotropy. Experimental Brain Research, 99, 112-130.
- Gordon, E. W., Ghilardi, M., & Ghez, C. (1995). Impairments of reaching movements in patients without proprioception. I. Spatial errors. Journal of Neurophysiology, 73, 347-360.
- Gordon, J., Ghilardi, M., & Ghez, C. (1994a). Accuracy of planar reaching movements. I. Independence of direction and extent variability. Experimental Brain Research, 99, 97-111.
- Gourtzelidis, P., Smyrnis, N., Evdokimidis, I., & Balogh, A. (2001). Systematic errors of planar movements provide evidence for space categorization effects and interaction of multiple frames of reference. Experimental Brain Research, 139, 59-69.
- Hatwell, Y. (1966). Privation Sensorielle et Intelligence. Paris: PUF.
- Hatwell, Y. (1978). Form perception and related issues in blind humans. In R. Held & H. W. Leibowitz & H. L. Teuber (Eds.), Handbook of sensory physiology, VII: Perception. New York and Berlin: Springer Verlag.
- Hatwell, Y. (1994). Children's memory for location and object properties in vision and haptics: automatic or attentional processing. Current Psychology in Cognition, ?, ?
- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2000). Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la peception tactile manuelle. Paris: Presses Universitaires de France.
- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2003). Touching for knowing. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Compagny.
- Howard, I. P. (1982). Human visual orientation. New York: Wiley.

- Huttenlocher, J., Hedges, L., & Duncan, S. (1991). Categories and particulars: Prototype effects in estimating spatial location. Psychological Review, *98*, 352-376.
- Kerkhoff, G. (1999). Multimodal spatial orientation deficits in left-sided visual neglect. Neuropsychologia, *37*(?), 1387-1405.
- Kerkhoff, G., & Zoelch, C. (1998). Disorders of visuospatial orientation in the frontal plane in patients with visual neglect following right or left parietal lesions. Experimental Brain Research, *122*, 108-120.
- Klatzky, R. (1999). Path completion after haptic exploration without vision: implications for haptic spatial representations. Perception & Psychophysics, *61*, 220-235.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L., & Barber, P. O. (1985). Spatial and movement-based heuristics for encoding pattern information through touch. Journal of Experimental Psychology: General, *114*, 33-49.
- Lipshits, M., & McIntyre, J. (1999). Gravity affects the preferred vertical and horizontal in visual perception of orientation. Neuroreport, *10*, 1085-1089.
- Luyat, M. (1997). Verticale subjective versus verticale posturale: une note sur l'étude de la perception de la verticale. L'Année Psychologique, *97*, 433-447.
- Luyat, M., & Gentaz, E. (2002). Body tilt effect on the reproduction of orientations: Studies on the visual oblique effect and subjective orientations. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, *28*, 1002-1011.
- Luyat, M., Gentaz, E., Corte, T., & Guerraz, M. (2001). Reference frames and haptic perception of orientation: Body and head tilt effects on the oblique effect. Perception & Psychophysics, *63*, 541-554.
- Millar, S. (1994). Understanding and representing space. Theory and evidence from studies with blind and sighted children. Oxford: Clarendon Press.
- Regan, M., & Price, P. (1986). Periodicity in orientation discrimination and the unconfounding of visual information. Vision Research, *26*, 1299-1302.
- Saarinen, J., & Levi, D. (1995). Orientation anisotropy in vernier acuity. Vision Research, *35*, 2449-2461.
- Thinus-Blanc, C., & Gaunet, F. (1997). Representation of space in the blind: Vision as a spatial sense ? Psychological Bulletin, *121*, 20-42.
- Van Hof, M. W., & Lagers-van Haselen, G. C. (1994). The oblique effect in the human somatic sensory system. Acta Neurobiologiae Experimentalis, *54*, 259-262.
- Wade, N., & Curthoys, I. (1997). The effect of ocular torsional position on perception of the roll-tilt of visual stimuli. Vision Research, *37*, 1071-1078.
- Wydoort, P., Gentaz, E., Gaunet, F., Chêne, D., & Streri, A. (2003). Haptic estimation of spatial location in virtual and real path completion tasks. In M. A. Heller & S. Ballasteros (Eds.), Touch, blindness and neurosciences (pp. 351-361). Madrid: UNED Publishers.
- Yakimoff, N., Lansky, P., Mitrani, L., & Radil, T. (1989). Is the 45°-oblique a third dominant direction ? Acta Neurobiologiae Experimentalis, *49*, 47-50.