



HAL
open science

Perception de l'espace : paradigme de son intégration et validation expérimentale préliminaire

Edwige Pissaloux, Ramiro Velazquez

► To cite this version:

Edwige Pissaloux, Ramiro Velazquez. Perception de l'espace : paradigme de son intégration et validation expérimentale préliminaire. Handicap 2008, Jun 2008, Paris, France. hal-02093468

HAL Id: hal-02093468

<https://hal.science/hal-02093468>

Submitted on 9 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Perception de l'espace : paradigme de son intégration et validation expérimentale préliminaire.

E. Pissaloux, R. Velazquez
Université Paris 6, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique
BP 61, 92 265 Fontenay-aux-Roses
E-mail: pissaloux@isir.fr, rvelazquez@up.edu.mx

Résumé- Cette communication introduit un nouveau paradigme : l'intégration de l'espace (de sa géométrie) global à partir d'un ensemble de ses représentations tactiles partielles. Ce paradigme permet d'évaluer la compréhension par un sujet de la géométrie d'un espace plus grand (un appartement) à partir de ses représentations « tactiles » partielles (vues séparées des pièces le constituant). Une expérimentation originale d'évaluation de ce paradigme, basée sur la navigation virtuelle, ainsi qu'un ensemble d'indices quantifiant ses différents paramètres, ont été proposés. Les résultats obtenus avec des sujets sains aux yeux bandés montrent qu'une interface à stimulation tactile peut constituer un bon support pour la compréhension et l'apprentissage de la géométrie de l'espace global en vue de la mobilité.

Mots clés- perception de la géométrie de l'espace, attributs spatiaux de segments de droites, allolocalisation, autolocalisation, qualité du dessin, qualité de l'intégration de l'espace, navigation virtuelle, interface tactile, perception tactile.

I. INTRODUCTION.

La mobilité d'un sujet s'appuie sur sa perception de l'espace, et sa qualité sur sa capacité à adapter, voire anticiper, sa posture au mouvement que l'on souhaite exécuter.

Or notre posture est fortement influencée par les propriétés géométriques de l'espace navigable (de l'environnement où nous nous déplaçons). Selon les neuroscientifiques [Val 07, Gal 90 ; Rud 04], la navigation basée géométrie est l'une des stratégies fondamentales de navigation chez l'homme. Aussi, la perception de cette géométrie et sa compréhension (allolocalisation et autolocalisation) sont-elles ses éléments-clés.

Dans le cas de sujets sains, l'exploitation de la géométrie de l'environnement est une tâche « automatique » : on acquiert cette capacité, en principe, à partir de 4 ans mais sans en prendre totalement conscience [Che, 86], [Her 94], [Vas 03], [Hut 07].

Des sujets déficients visuels ne peuvent pas percevoir visuellement la géométrie de l'environnement. Aussi, à partir d'autres sens, doivent-ils élaborer un mécanisme palliatif qui leur permet de s'autolocaliser, d'allolocaliser les passages entre les obstacles, d'exécuter une trajectoire rectiligne, de la vectoriser... L'exécution de ces tâches élémentaires doit d'appuyer sur une aide technologique adéquate.

Or, force est de constater que les aides à la mobilité existantes n'assistent pas de telles tâches.

Les ETA (Electronic Travel aids) existants [Pis 03], [Tre 07], [Pis 07]) s'inspirent surtout de la navigation des robots (SLAM) ou servent comme accompagnement d'un trajet prédéterminé. Ils n'intègrent pas en outre, les besoins sociaux des utilisateurs finaux auxquels doivent répondre ces aides [Uza 07]. Par ailleurs, ils ne permettent pas à l'utilisateur de comprendre et d'apprendre son environnement afin d'accroître son autonomie et son indépendance lors des déplacements.

Les cartes de nos villes, même en relief (Figure 1), sont toujours orientées dans la direction du nord par rapport à un référentiel fixé arbitrairement par leurs réalisateurs ; la position actuelle du sujet navigant n'y est pas indiquée (l'autolocalisation est impossible). Même si elles proposent une représentation d'un grand espace (qui peut être considéré comme global), l'échelle de cette représentation n'est pas adaptée au déplacement effectif local : il s'ensuit une tâche cognitive très complexe de mise en correspondance : carte → géométrie du monde réel.



Figure 1. Carte en relief d'une ville.

Cette communication propose une solution pour permettre aux déficients visuels de mieux percevoir leur espace environnant. Elle étudie le paradigme de l'intégration de l'espace global à partir de ses représentations locales.

La Section 2 propose une définition de ce paradigme ainsi que des paramètres caractérisant son intégration. La Section 3 en donne une évaluation expérimentale, tandis que la Section 4

analyse les résultats obtenus. La Section 5 conclut l'étude et donne les perspectives de cette recherche.

II. PARADIGME DE L'INTEGRATION DE L'ESPACE

2.1. Définition du paradigme.

L'expression « intégration de l'espace » désigne la possibilité de reconstruire l'espace global à partir de vues partielles obtenues durant la navigation (physique ou virtuelle) dans cet espace.

Les vues partielles peuvent être fixées sur différents supports comme la rétine, des photos, une surface tactile, un espace sonore temporel (comme celui construit dans la cas des aides de substitution visuo-auditives : the Voice, Sonic Glasses™ ou Sonic Guide de Kaspá™)...

L'intégration de l'espace considéré peut être conduite à différents niveaux de perception :

- topologique (relations spatiales d'ordre partiel entre les objets) ;
- géométrique (relations spatiales métriques d'ordre partiel entre les objets) ;
- cognitives (relation sémantique définie sur l'ensemble des objets).

Une représentation externe de l'espace peut supporter plusieurs niveaux simultanément.

Dans le cas du niveau topologique, l'implantation expérimentale du paradigme vise à évaluer la perception de la géométrie de l'espace sans que les relations métriques précises entre les objets de l'espace soient quantifiées.

2.2. Paramètres de l'intégration de l'espace au niveau topologique.

La topologie d'un appartement a été sélectionnée comme un exemple de mise en œuvre du paradigme de l'intégration de l'espace ; cela est justifié par le fait qu'un appartement est un environnement de base pour la mobilité de tout sujet (sain ou déficient visuel).

La topologie et la géométrie d'un appartement (représentation d'architectes) sont simplement représentées par la projection orthographique d'un appartement vide. Cela correspond à un ensemble de segments de droites (parfois aussi semi-cercles) formant différentes figures géométriques. Ainsi, tout affichage sur un support 2D va stimuler les biorécepteurs adéquats car fournissant un gradient de l'information. Ainsi, un affichage tactile (Figure 2, l'interface tactile TactiPad de l'Université Paris 6 par exemple), balayé manuellement va stimuler les mécanorécepteurs des doigts en créant des stimuli tactiles à la base de la perception tactile et de la formation du percept tactile.

Pour comprendre la géométrie et la topologie d'un appartement, chaque segment doit être égo-localisé (par rapport au sujet navigant) et allolocalisé (un segment par rapport aux autres).

Un segment est caractérisé par ses trois attributs spatiaux :

- (1) sa position spatiale P par rapport au sujet
($P = R, L$ ou F (à droite, à gauche, en face))
- (2) son orientation O par rapport aux trois plans anatomiques fondamentaux de l'homme

($O = F_P, S, D, A_D$ (fronto parallèle, sagittal, diagonal, anti diagonal),

(3) par sa distance D par rapport au sujet

($D = F, C$ (loin ou proche)

En outre, tout segment est caractérisé par l'attribut physique : sa longueur $L = S$ ou B (petit (2 taxels au maximum) ou grand).

Ainsi, un segment est cognitivement représenté par le quadruplet $\langle P, O, D, S \rangle$.

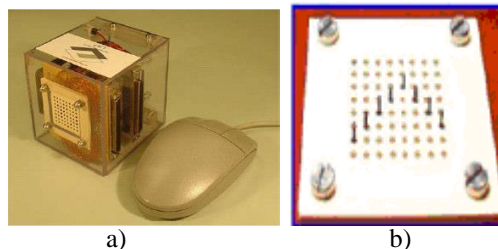


Figure 2. a) Interface tactile PactiPad de l'ISIR, Université Paris 6 ; b) l'exemple d'un motif affiché sur le TactiPad.

Un semi-cercle a des attributs similaires ; mais dans cette première approche de l'intégration de l'espace, nous ne considérons que les segments de droite.

La figure 3 montre l'exemple d'un appartement simple utilisé dans notre expérimentation pour évaluer le paradigme de l'intégration de l'espace.



Figure 3. Exemple d'un appartement simple.

Cet appartement est composé de 4 pièces adjacentes. Chaque pièce a une entrée et une sortie. Sauf la première et la dernière pièce, la sortie de la pièce i constitue l'entrée de la pièce $(i+1)$. Les pièces sont des figures géométriques de complexité cognitive croissante : d'une simple association des segments orthogonaux via l'adjonction des segments obliques.

2.3. Métriques pour l'évaluation du paradigme.

Trois mesures ont été proposées pour quantifier (et pour pouvoir comparer) la qualité de l'intégration de l'espace global ; ce sont :

- (1) la perception des quatre attributs spatiaux et physiques de chaque segment,
- (2) la reconnaissance de la topologie de l'espace global,
- (3) le temps de reconnaissance.

La perception des attributs spatiaux peut être évaluée à partir du dessin de chaque pièce, dessin établi après son exploration tactile (avec des yeux bandés). La reconnaissance de la topologie de l'espace global peut être quantifié par le résultat de la mise en correspondance des dessins créés par chaque sujet et un ensemble de topologies de l'appartement proposées. Le temps de reconnaissance correspond à la somme des temps nécessaires à chaque participant pour comprendre la

représentation tactile de chaque pièce (et seulement ce temps). Ce temps n'est pas borné.

III. EVALUATION EXPERIMENTALE DE L'INTEGRATION DE L'ESPACE.

Dans ce paragraphe, nous présentons les acteurs de l'évaluation du paradigme de l'intégration de l'espace : les sujets, l'interface tactile et le protocole expérimental mis en place.

3.1. Sujets.

5 étudiants volontaires de master de l'Université Paris 6 (dont 1 femme) de 24 à 28 ans ont participé à l'expérimentation. Ils sont tous sans déficience sensorielle ou cognitive quelconque, droitiers et naïfs (sans usage d'une interface tactile quelconque ni même de jeux haptiques).

Durant l'expérimentation, le sujet aux yeux bandés a été assis et l'interface tactile a été posée (immobile) sur la table en face de lui (Figure 4). Les 4 pièces sont affichées dans l'ordre de leur occurrence dans l'appartement, de gauche (1^{ière} pièce) à droite (dernière pièce) (Figure 5). La navigation est virtuelle, car le sujet reste immobile et le PC simule son déplacement indiqué par les chiffres 1 à 4.

Lors de la navigation, le sujet explore la surface de TactiPad (la pièce) avec sa main. Aucune restriction de la main utilisée ni de la façon d'explorer la surface n'est imposée.

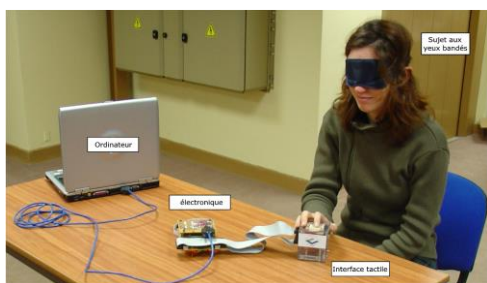


Figure 4. Système expérimental pour la navigation virtuelle dans un appartement.

3.2. Système expérimental.

Le système utilisé (Figure 4) est composé de trois éléments :

- (1) l'interface tactile TactiPad (Figure 2)
- (2) le PC pour le contrôle de pièce de l'appartement affiché sur le TactiPad
- (3) l'interface électronique de puissance qui encode les formes géométriques affichés à l'écran du PC en mouvements de taxels de TactiPad.

La surface à stimulation tactile TactiPad a été conçue et prototypée à l'ISIR (LRP), Université Paris 6. La figure 2a montre la taille de ce dispositif portable, tandis que la figure 2b donne un exemple de l'affichage des motifs géométriques sur cette même surface [Vel 08]. TactiPad est une surface de Braille de 8 x 8 stimulateurs tactiles (taxels) interdistant à

2,54mm. La caractéristique essentielle de TactiPad pour cette expérience est la présence d'une encoche sur l'un de ses bords. Cette encoche, originalité de TactiPad, représente le sujet dans la scène affichée sur le TactiPad (une pièce de notre appartement (Figure 3)).

Afin de faciliter la compréhension de la topologie de pièce codée tactilement (et notamment l'extraction de tous les attributs des segments constituant la pièce), le PC met en correspondance (calibre) l'encoche avec le centre de l'entrée dans la pièce. Le sujet est informé de ce fait (ce qui lui permet d'extraire l'orientation des segments de la pièce).

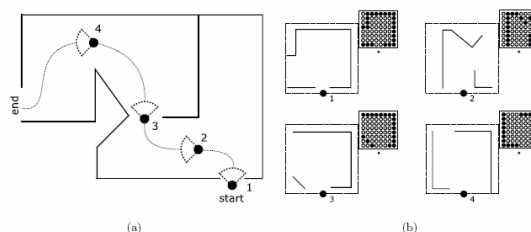


Figure 5. Navigation virtuelle dans l'appartement de droite (pièce 1, start) à gauche (pièce 4, end).

3.3. Protocole expérimental.

L'expérience a été menée en deux étapes

- (1) préparation, et
- (2) quantification des métriques proposées.

La préparation consistait à faire comprendre au sujet le principe de l'affichage tactile de l'information, et d'une pièce d'un appartement en particulier.

De même, le principe de navigation virtuelle a été expliqué (et surtout le principe de substitution de la sortie de pièce i avec l'entrée dans la pièce $(i+1)$).

Durant l'expérimentation, le sujet bandé navigue virtuellement dans l'appartement en commençant par la pièce 1. Il s'arrête à l'entrée de chaque pièce et apprend sa topologie et sa géométrie (ce temps est chronométré). Il décide à quel moment il va passer à l'exécution du dessin de la pièce (le TactiPad est alors désactivé). L'analyse de l'affichage tactile et le dessin sont répétés quatre fois (quatre pièces). A la fin de l'expérimentation, 4 appartements sont proposés au sujet qui doit sélectionner le bon en s'appuyant sur ses propres dessins.

IV. RESULTATS OBTENUS.

Les résultats collectés sont quantifiés avec les trois métriques proposées (§ 2.3) : la qualité des dessins, l'intégration de l'espace global (la reconnaissance de la topologie globale de l'appartement), et le temps d'exploration tactile.

Qualité des dessins.

Les dessins exécutés par chacun de cinq sujets (Figure 6) ont été évalués par la mise en correspondance manuelle avec le modèle de chaque pièce (Figure 5b). Ce processus met en

correspondance les attributs de chaque couple (segment du dessin, segment du modèle) et attribue le code du succès (1) ou d'un échec (0). Les résultats de la comparaison sont donnés dans la table 1.

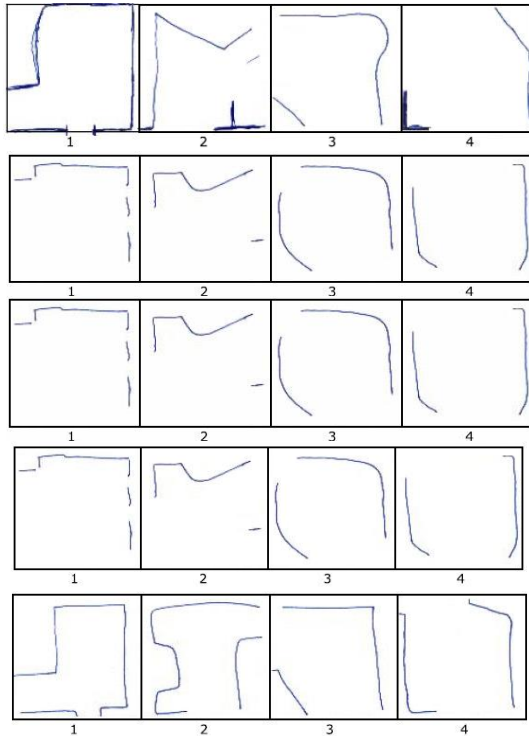


Figure 6. Dessins de cinq sujets établis après la navigation spatiale.

Room	Line Segment Orientation	Line Segment Size	Distance to subject	Subject 1	Subject 2	Subject 3	Subject 4	Subject 5
Room 1	FPR	b	C	0	1	0	0	1
	CFPL	b	C	0	0	1	1	1
	FPR	b	F	1	1	1	1	1
	FPL	s	F	1	1	1	1	1
	SR	b	C	1	1	1	1	1
Room 2	SL	b	F	1	1	1	0	1
	FPR	s	C	1	1	1	1	1
	FP	b	F	1	1	1	1	0
	SR	b	C	1	0	1	0	1
	SL	b	C	1	1	1	1	1
Room 3	DR	b	F	0	1	0	1	1
	ADL	b	F	0	1	0	1	1
	FPR	s	C	0	0	0	0	0
	FP	b	F	1	1	1	1	1
	SR	b	C	1	1	1	1	1
Room 4	ADL	b	C	1	1	1	1	1
	FPL	b	C	0	0	1	1	1
	FPR	b	F	1	1	1	1	0
	SR	b	C	1	1	1	1	1
Room 4	SL	b	C	1	1	1	1	1

Table 1. Résultats de la mise en correspondance manuelle des dessins avec le modèle de chaque pièce.

L'analyse des résultats obtenus pour la pièce 1 montrent que les segments fronto-parallèles sont perçus et reconnus en moyenne avec 75% de succès, et avec 100% de succès pour les segments éloignés et grands. Il faut souligner que les segments fronto-parallèles proches (correspondant aux murs de l'entrée) n'ont pas été considérés par tous les sujets. Cela a été signalé

par les sujets dans la discussion globale après l'expérimentation ; cela explique aussi le score très bas (40%) de leur reconnaissance. On peut constater que tous les sujets ont bien reconnu la forme de la pièce 1 composée de segments orthogonaux.

Dans la pièce 2, les segments fronto-parallèles ont été reconnus à 90%, tandis que les segments sagittaux droites ont été reconnus par 60% de sujets, et ceux de gauche par tous les sujets. Les segments obliques ont été reconnus par 60% des sujets. Il faut souligner que les segments diagonaux ont été reconnus par certains, mais pas les segments anti diagonaux (et vice versa).

Les résultats globaux de la reconnaissance des segments de la pièce 2 sont moins bons que ceux de la pièce 1. Il est fort probable que la présence du segment oblique dans la pièce 2 a été une tâche cognitive trop complexe, car trop rapidement introduite dans l'expérimentation. Cependant, ces résultats confirment les difficultés de perception des obliques notées précédemment [Mai 05] et par d'autres auteurs [Ben 04]. Il n'est pas à exclure que la trop grande résolution spatiale de TactiPad (2,54 mm entre les taxels) introduit un processus de crénelage plus important que les données physiologiques le laissent prévoir. Ce résultat suggère que la résolution de TactiPad devrait être améliorée.

Les résultats de la reconnaissance globale de la pièce 2 sont moins bons que ceux de la pièce 1 : 60% de succès. Il est important de noter que tous les sujets ont bien localisé la sortie de la pièce 2.

Dans la pièce 3, comme dans la pièce 1, aucun des sujets n'a perçu le segment fronto-parallèle proche de l'entrée. Tous les autres segments ont été correctement reconnus. Il est fort probable que ce bon résultat est dû au processus d'apprentissage qui s'est mis en place dès le début d'expérience ; en effet, tous les segments rencontrés dans cette pièce sont déjà présents dans les deux pièces précédentes. La topologie globale de la pièce a été reconnue par tous les sujets ; ils ont également bien localisé la sortie vers la pièce 4.

Dans la pièce 4, tous les segments sagittaux ont bien été reconnus. Le segment fronto-parallèle proche a été ignoré par certains sujets, d'où sa faible reconnaissance. Tous les sujets ont bien perçu la topologie globale de cette pièce, mais 3 seulement ont bien localisé la sortie.

En conclusion, il semble que les segments sagittaux sont les plus simples à reconnaître, suivis des segments fronto-parallèles ; les segments obliques sont plus difficiles à percevoir.

La reconnaissance de segments éloignés semble meilleure que celle des segments proches ; cela devrait être affiné avec des interfaces tactiles de taille plus importante.

Les grands segments (de taille supérieure à 2 taxels) sont mieux perçus que les petits segments. Cela est certainement dû à une stimulation du plus grand nombre de mécanorécepteurs de la main par les segments de taille importante.

La topologie de toutes les pièces a été reconnue dans 80% des cas.

Ces résultats très encourageants confirment que le TactiPad crée des stimulus pertinents à leur analyse cognitive, et qu'il peut être utilisé pour afficher la topologie des lieux.

Intégration de l'espace.

Ce paramètre est une variable binaire exprimant la bonne mise en correspondance de la topologie globale de l'appartement avec les quatre dessins associés.

La figure 7 donne les quatre appartements proposés au sujet pour l'appariement.

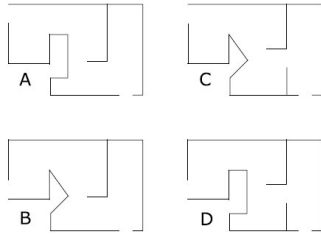


Figure 7. Quatre appartements proposés pour la phase de l'intégration.

Les topologies incorrectes des appartements diffèrent par au moins un point de la bonne solution (appartement B) : les obliques et la position de la sortie de la pièce 1.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent que 60% des sujets ont correctement reconnu la topologie de l'appartement B. Avant de donner leur réponse définitive, les sujets ont largement utilisé leurs dessins et, en les analysant ensemble, ils ont été capables de corriger leurs propres incohérences.

Temps de reconnaissance.

La figure 8 donne les temps mesurés durant les explorations tactiles des différentes pièces affichées sur le TactiPad.

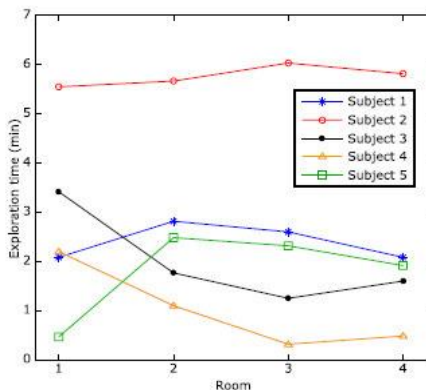


Figure 8. Temps d'exploration de chaque pièce affichée sur TactiPad.

On y observe que pour quatre sujets sur cinq le temps d'exploration tactile diminue avec la durée de l'expérience de 2 minutes en moyenne au début de l'expérience à moins d'une minute et demie à la fin de l'expérience (soit une amélioration de près de 25%).

Cela permet de supposer que l'apprentissage se met en place, et il sera d'autant plus efficace que le nombre de pièce va

augmenter. Aussi, est-il possible d'espérer que l'appropriation de TactiPad comme un outil pour l'affichage de la géométrie est fort probable.

V. CONCLUSION.

Cette communication définit le paradigme de l'intégration de l'espace global à partir de ses vues locales. Elle propose également son implantation dans le cadre de l'affichage tactile des représentations de l'espace.

L'évaluation expérimentale du paradigme proposé a été réalisée dans le cadre de l'intégration de la topologie de l'appartement entier à partir de la topologie des pièces le constituant. La représentation tactile d'une pièce a été affichée sur l'interface à stimulation tactile appelée TactiPad conçu et prototypé à l'ISIR, Université Paris 6.

Les résultats de l'expérimentation validant le paradigme montrent que le TactiPad génère les stimuli permettant de créer une perception tactile et un percept cognitif, et qu'il peut être utilisé pour afficher la topologie des lieux

En effet, les segments sagittaux et fronto-parallèles sont bien reconnus dans leur globalité. La moins bonne reconnaissance de segments obliques peut être due au fort effet de crénelage induit par la matrice de taxels de TactiPad de trop faible résolution (la distance intertaxels est de 2,54 mm). Cette question doit donc être approfondie.

Les 60% de succès dans l'intégration de l'espace global, accompagnés de la réduction du temps de l'analyse cognitive de l'affichage tactile de près de 25% au cours de l'expérimentation chez 80% des sujets permettent d'affirmer qu'il est possible de comprendre la topologie des lieux représentés tactilement et d'utiliser le TactiPad comme moyen de navigation virtuelle.

Il faut bien entendu affiner ces résultats tant à l'aide d'une interface tactile à meilleure résolution spatiale qu'en impliquant un plus grand nombre de sujets, et surtout de sujets déficients visuels. Il est également impératif d'inclure les informations fournies par le vestibule voire de passer à la navigation réelle.

Pour mieux quantifier et accélérer l'évaluation de la qualité des dessins manuels, il faut automatiser la mise en correspondance des dessins avec leur modèle.

REMERCIEMENTS

Nous remercions (1) le CNRS, programme ROBEA, pour le soutien financier apporté à la recherche présentée dans cette communication, (2) le prof. Alain Berthoz du Collège de France pour ses fructueuses observations, (3) le CONACYT pour son support financier pour cette recherche, (4) tous les étudiants, stagiaires et personnels administratifs du LRP/ISIR pour leurs participations aux expérimentations.

REFERENCES

- [Ber 03] Berthoz, A., Viaud Delmon, I., Lambrey, S., *Spatial memory during navigation: What is being stored, maps or movements?*, in Galaburda, A.M. Kosslyn, S.M. Christen, Y. (eds) *The languages of the brain*, pp. 288 - 306, Harvard University Press, 2003.
- [Che, 86] Cheng, K., *A purely geometric module in the rat's spatial representation*, *Cognition*, 1986, 23, 149-178

- [Gal 90] Galistel, C.R., The organization of learning, MIT Press, 1990.
- [Gol 99] Golledge, R.G., Human wayfinding and cognitive maps. Dans: "Wayfinding Behavior", pp 5-45. The John Hopkins University Press, 1999.
- [Hen 99] Henderson, J., M., Hollingwaorth, A., High-level scene perception, An. Rev. of Psych. vol. 50, 243-271, 1999
- [Her 94] Hermer, L., Spelke, E.S., A geometric process for spatial reorientation in young children, Nature, 1994, 370, 19-20
- [Hut 03] Huttenlocher, J., Vasilyeva, M., How toddlers represent enclosed spaces, Cognitive Science, 2003, 27, 749-766
- [Lou 07] Lurenco, S.F., Huttenlocher, J. ? Using geometry to specify loction : implications for spatial coding in children and nonhuman animals, Psych. Res., 2007, 71, 252-264
- [Ben 04] Benali-Khoudja, M., Orange, Ch., Maingreud, F., Hafez, M., Kheddar, A., Pissaloux, E., "Shape and Direction Perception Using the VITAL: A Vibro-TactiLe Interface", 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. Intel. Robots & Systems (IROS 2004), Sept. 28 – Oct. 2, 2004, Sendai, Japan, pp. 721-726
- [Mai 05] Maingreud, F., Pissaloux, E., Velazquez, R., Gaunet, F., Hafez, M., Alexandre, JM., A Dynamic Tactile Map As a Tool for Space Organization Perception : Application to the Design of an Electronic Travel Aid for Visually Impaired and Blind People, Septembre 1-5, 27th Intl Conf. IEEE Engineering In Medecine and Biology Society (EMBS), Shanghai, Chine, 2005.
- [Pis 03] Pissaloux, E., *Assistance aux déplacements*, in A. Pruski, (ed.) in Assistance technique au handicap, Hermès, Traité IC2, 2003, pp. 121-202
- [Pis 07] Pissaloux, E., Maingreud, F., *Déplacement dans l'espace : quelles aides technologiques*, J. de Basse Vision, Mars/Avril, 2007, pp. 22- 26
- [Tre 07] Treuillet, S., Royer, E., Chatuea, Th., Dhome, M., Lavest J-M., Système portatif de localisation et d'orientation des personnes malvoyantes par vision monoculaire, CR, Journée GDR STIC-Santé, Paris, 11 octobre 2007
- [Rud 04] Ruddle, R., Peruch, P., effects of proprioceptive feedback and environmental characteristics on spatial learning in virtual environments, Int. J. of Human-Computer Studies, 2004, 60, 299-326
- [Val 07] Valiquette, C.M., McNamara, T.P., Labrecque, J.S., « Biased representations of the spatial structure of navigable environments, Psych. Res., 2007, 71, 288-297.
- [Vel 08] Velázquez, R., Pissaloux, E., Hafez, M., Szewczyk, J., *Tactile Rendering with Shape Memory Alloy Pin-Matrix*, IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, 57(5), 2008, pp. 1051-1057.
- [Uza 07] Uzan, G., Besoins des utilisateurs finaux et conception des aides pour les déficients visuels, CR, Journée GDR STIC-Santé, Paris, 11 octobre 2007.