

---

# GeoTablet

## Exploration cartographique non visuelle *multi-touch* sur tablette tactile : "la stratégie du piano"

**Mathieu Simonnet - Cécile Bothorel - Luiz Felipe Maximiano - André Thépaut**

*Télécom Bretagne (CNRS UMR 6285 LabSTICC – IHSEV / HAAL)*

*Technopôle Brest-Iroise*

*CS 83818*

*29238 Brest Cedex 3*

*mathieu.simonnet - cecile.bothorel - luiz.dosreismaximiano - andre.thepaut@telecom-bretagne.eu*

---

*RÉSUMÉ. Le projet GeoTablet consiste à expérimenter l'efficacité de la présentation d'information géographiques non visuelles en situation mono- ou multi-touch pour une simple exploration de l'environnement sur un écran tactile. Les questions de la discrimination des éléments, de la navigation dans l'environnement, des changements d'échelle ainsi que de la gestion des couches d'informations sont inhérentes à ce sujet. Cependant en amont, se trouve la problématique de l'interaction de l'utilisateur non-voyant avec une représentation géographique sur tablette tactile. Cette étude vise à évaluer le potentiel intérêt d'une interaction multi-touch en comparaison à une interaction mono-touch. Nous mesurons les temps d'explorations ainsi les représentations spatiales intériorisées pour chacune des conditions. Nous trouvons principalement que la condition multi-touch permet de découvrir la configuration spatiale plus rapidement grâce à la "stratégie du piano".*

*ABSTRACT. The GeoTablet project aims at experiment the effectiveness of different haptic, auditory and voice feedbacks for a simple exploration of a geographical environment on a multitouch tablet. Issues of discrimination elements, navigation in the environment, changes of scale and management layers of information are inherent in the subject. However, firstly, is the problem of the interaction of the blind user with a geographic representation on tactile tablet. This study aims to assess the potential benefits of multi-touch interaction in comparison with a single-touch interaction. We measure the time of exploration and spatial representations internalized for each condition. We mostly find that the condition multi-touch allows you to discover the spatial configuration faster with the "strategy of the piano."*

*MOTS-CLÉS: déficience visuelle, géographie, exploration de carte, tablette tactile.*

*KEYWORDS: visual impairment, geography, map exploration, multitouch tablet.*

---

## **1. Introduction**

Une exploitation de l'enquête "Handicaps-Incapacités-Dépendance" (HID) de 1998-99<sup>1</sup> souligne que 86% des personnes déficientes visuelles ne prennent pas le risque de se déplacer sur un itinéraire inconnu. Ce constat soulève, entre autre, la problématique de l'accès à l'information géographique en l'absence de vision. Autrement dit, comment aider les personnes déficientes visuelles à prendre connaissance du territoire ?

### **1.1 L'intérêt des cartes en relief**

Dès 1967, Leonard et Newman montrent que des adolescents non-voyants sont en mesure de lire une carte en relief sans apprentissage préalable. Depuis, de nombreuses études ont décliné les intérêts et les conditions de l'utilisation des cartes en relief. Thorndyke et Hayes-Roth (1982) et Espinosa (1998) comparent les performances spatiales issues des explorations réalisées directement dans l'environnement avec celles réalisées sur les cartes en relief et mettent ainsi en exergue le rôle de ce support en l'absence de vision. De leur côté, Ungar *et al.* (1994) réalisent des expériences suivant des configurations simples alors que Jacobson (1998) révèle l'intérêt des cartes en relief pour explorer un environnement aussi complexe qu'un plan d'université ou encore le trait de côte de la carte géographique du pays de Galle en Grande Bretagne. Par ailleurs, Picard et Pry (2009) montrent que l'utilisation de maquettes représentant une zone géographique permet d'accroître sensiblement les connaissances spatiales de l'environnement familier des personnes en situation de handicap visuel. Autrement dit, il existe un consensus scientifique sur l'intérêt de l'utilisation des cartes en relief en tant que véritables instruments psychologiques (Vygotsky, 1930) pour accéder à l'information géographique en l'absence de vision. Cependant, ces dernières, bien que de première nécessité, font défaut au public déficient visuel tant en terme de développement (Hatwell et Martinez-Sarocchi, 2000) qu'en terme d'outil pour la vie courante. Ce déficit de cartes en relief, dites « papiers », est notamment dû à leur coût de production par rapport à la quantité d'informations représentées (Rowell et Ungar, 2003).

### **1.2 La puissance des cartes numériques**

Face à ce constat, différentes initiatives de cartes géographiques numériques ont vu le jour. En effet, le support numérique permet d'utiliser les mêmes applications d'une région à une autre en se connectant des bases de données géographiques différentes mais standardisées. Elles sont ainsi destinées à diminuer les coûts de

---

<sup>1</sup> Observatoire Régional de la santé des pays de la Loire. La population en situation de handicap visuel en France. Importance, caractéristiques, incapacités fonctionnelles et difficultés sociales. Observatoire régional de la santé des Pays de la Loire. Juillet 2005.

production et donc augmenter les utilisations. Par ailleurs la possibilité de gestion de couches d'informations géographiques se révèle particulièrement intéressante pour palier aux limites de la discrimination des modalités non visuelles. Pour finir, l'utilisation d'artefacts auditifs offre un canal sensoriel supplémentaire pour véhiculer l'information.

Jansson *et al.* (2000) furent les premiers à utiliser un bras à retour de force pour permettre la consultation de cartes géographiques numériques en l'absence de vision. Ici, les sensations de résistance et les annonces vocales permettent d'appréhender différents états américains. Les résultats montrent une certaine efficacité au cours des explorations de formes épurées, mais des limitations dans le cas de configurations plus complexes à cause du caractère séquentiel de l'exploration mono-digitale. Dans la continuité, l'application « Orienta », développée au sein du projet GRASP et financée par l'organisation espagnole ONCE, offre l'utilisation conjointe de deux bras à retour de force permettant une exploration bi-digitale. Bien que cette étude ne propose que très peu de résultats sur les performances géographiques des personnes déficientes visuelles, Gutierrez (2004) insiste tout particulièrement sur la motivation des utilisateurs déficients visuels face à l'implication des nouvelles technologies dans la découverte de l'environnement. Par la suite, Miele *et al.* (2006) s'attaquent au problème de l'ajout d'informations auditives à des cartes en relief thermoformées en les positionnant sur des tablettes tactiles (The « Talking-Maps »). Avec ce système, les annonces vocales compensent la faiblesse de la discrimination tactile mais la nature statique de la carte papier ne permet pas la gestion des couches d'informations géographiques. Finalement, les applications de simulation de navigation de Magnusson et Rasmus-Gröhn (2004) et Magnusson *et al.* (2007) et les travaux de Simonnet *et al.* (2011) montrent que les stratégies d'exploration en environnements virtuels utilisant des bras à retours de force présentent des similarités avec celles employées dans le monde réel. Bien que ces derniers résultats soient intéressants, les interfaces utilisant des bras à retour de force sont peu accessibles, du fait de leur coût, de leur fragilité et de leur sédentarité. Les tablettes tactiles, bien que ne fournissant pas de retour de force, ne présentent pas ces inconvénients.

### 1.3 L'accessibilité sur smartphone

C'est dans ce contexte que le projet européen Haptimap (2008-2012)<sup>2</sup>, piloté par l'expérimentée Charlotte Magnusson, a vu le jour. Son objectif, aujourd'hui finalisé, était de mettre à disposition de tous des outils de développement informatique (framework) permettant de faciliter la conception d'application de navigation géographique en utilisant des artefacts tactiles, auditifs et vocaux pour répondre aux besoins du public déficient visuel notamment. Ainsi l'application « Pocket Navigator » (Pielot *et al.*, 2012), basée sur Haptimap, est disponible sur smartphone

---

<sup>2</sup> <http://www.haptimap.org/>

afin de fournir un guidage urbain en l'absence de vision. L'utilisateur peut conserver son appareil dans sa poche, et se laisser guider par les vibrations (cf. figure 1).

Naturellement, ce guidage ne vise pas à permettre d'éviter les obstacles et ne remplace donc aucunement la canne blanche ou le chien guide. L'objet est bien ici de s'orienter.



**Figure 1.** *Pocket navigator.* En cours de déplacement, les informations de guidage sont générées en fonction de la direction du point à atteindre conformément au cadran ci-dessus : 2 vibrations pour tout droit, 3 pour derrière, 1 longue et 1 courte pour tourner à gauche, 1 courte et une longue pour tourner à droite.

Une autre application "TouchOverMap" (Poppinga *et al.*, 2011) offre aux personnes non-voyantes la possibilité d'explorer avec un doigt les rues des cartes géographiques sur un téléphone ou une tablette tactile à partir de vibrations et d'annonces vocales (cf. figure 2). Après avoir demandé aux participants de dessiner les rues explorées, les auteurs concluent que ce mode de présentation de l'information peut être utilisé mais nécessite d'être améliorée.



Figure 2 : *TouchOverMap*. Lorsque le doigt de l'utilisateur touche une rue (lignes bleues) sur le téléphone ou la tablette tactile une vibration continue et une annonce vocale du nom de celle-ci sont déclenchées.

#### 1.4 La cartographie enrichie libre

Haptimap facilite également l'accès aux données cartographiques libres d'OpenStreetMap (OSM)<sup>3</sup>. Ces données sont prometteuses pour deux raisons au minimum : tout d'abord elles sont libres de droit et leur accès est donc garanti. Ensuite elles peuvent être enrichies des observations des utilisateurs. C'est ainsi que le projet Wheelmap<sup>4</sup> ajoute aux cartes d'OSM consultables en ligne une information permettant de définir le statut d'accessibilité des différents lieux publics pour les fauteuils roulants. On pourrait imaginer des compléments d'informations pour le handicap visuel également.

#### 1.5 Le projet GeoTablet

De nombreux ingrédients récents viennent donc enrichir le livre de recettes de l'accessibilité à l'information géographique pour les personnes déficientes visuelles : nouveaux appareils (smartphone), nouvelles bases de données (OSM), une nouvelle bibliothèque informatique (Haptimap) et les premières implémentations logiciels (TouchOverMap).

Le présent projet cherche ici à composer une entrée en matière de consultation des informations géographiques non visuelle à plusieurs. Ainsi GeoTablet<sup>5</sup>, porté par la ville de Plouarzel, Telecom Bretagne et l'Institut pour l'insertion des déficients visuels de Brest vise à fournir des informations géographiques sur la globalité d'un territoire. Cet objectif pose différentes questions dans le domaine de l'interaction homme machine principalement.

## 2. Problématiques

### 2.1 Problématique de l'interaction non visuelle

La problématique de l'interaction en l'absence de vision implique la génération de retours sensoriels vocaux, auditifs et/ou tactiles. Or ces feedbacks ne sont pas précisément localisés sur la tablette : le son est émis par un haut-parleur, l'ensemble de la tablette vibre. La construction d'une représentation spatiale non visuelle à partir d'un tel système repose donc en grande partie sur les feedbacks générés par l'activité

---

<sup>3</sup> <http://www.openstreetmap.org/>

<sup>4</sup> <http://wheelmap.org/>

<sup>5</sup> <https://sites.google.com/site/geotablet/>

haptique (tactilo-kinesthésique) de l'utilisateur non-voyant correspondant aux positions successives et/ou simultanées des contacts d'un ou plusieurs doigts sur la tablette.

Basée sur le principe de co-conception entre personnes voyantes et non-voyantes, une réflexion sur la génération de contenus compréhensibles sans la vue est à la base des spécifications fonctionnelles de l'application.

GeoTablet gère le contact de dix doigts. La modalité vocale apporte la désignation des noms de lieux (e.g. nom de villes ou de rues) alors que la sonification (génération de sons réalistes) offre des informations sur le contexte du contact. La modalité tactile s'associe au déclenchement d'une annonce vocale afin d'améliorer la localisation de cette annonce. Mais comment l'utilisateur peut-il attribuer un son ou une vibration à la localisation d'un doigt précis lorsque plusieurs doigts sont en contact simultanément ?

La principale question de cette étude consiste donc à évaluer les possibilités d'identification des feedback des contacts tactiles en situation d'exploration d'une configuration géographique sur une tablette tactile avec plusieurs doigts en l'absence de vision.

## **2.2 Problématique des données géographiques en l'absence de vision**

La problématique de l'accessibilité aux contenus géographiques pour les utilisateurs non-voyants implique la gestion d'une discrimination spatiale moins importante que celle de la vision et complique l'affichage d'éléments cartographiques souvent nombreux dans un périmètre restreint.

Dans ce contexte, la possibilité de choisir le type de données vocales à afficher est étroitement liée à l'échelle de la vue en cours. Ainsi la possibilité d'annoncer les noms des pays, des départements, des villes ou des rues en correspondance avec des échelles spécifiques apparaît nécessaire.

Indépendamment de l'échelle, le choix des contenus d'exploration peut également faire l'objet de sélection. Ultérieurement, l'affichage d'objets culturels de types historique, faune ou flore pourra également être géré.

## **3. Spécification de Geotablet**

Une équipe composée d'un utilisateur non-voyant spécialiste de l'accessibilité, d'un éducateur, d'un enseignant chercheur et d'un développeur se réunissent régulièrement pour tester les différentes fonctions de l'application.

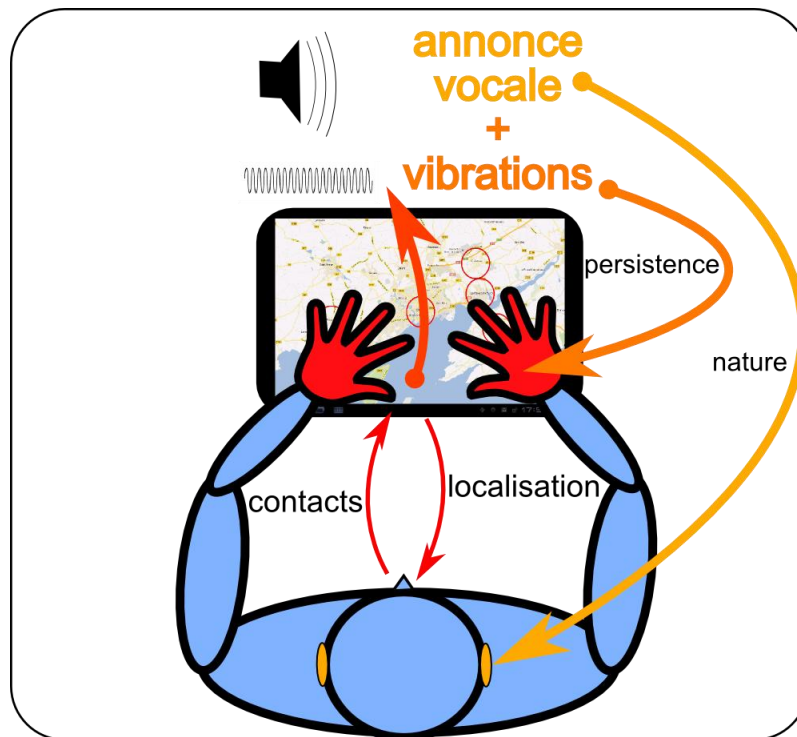
Au sein du module de consultation GeoTablet, tout contact correspond à une consultation d'information. Les interactions de commandes, telles que les changements d'échelle et de zones géographiques feront l'objet d'étude ultérieure.

### 3.1 Fonction d'annonce des villes

Lorsque les contacts des doigts de l'utilisateur (cercle de 5mm de rayon autour du centre du contact) entre en collision avec la position d'une commune, une vibration continue ainsi que l'annonce du nom de la commune correspondante sont déclenchées. Cette fonction d'annonce sera également utilisée pour les objets tels que des pays, des villes, des lieux dits, des bâtiments, des noms de rue, des points remarquables mais également des médias ponctuels (images commentées, vidéos, commentaires sur un point d'intérêt...).

### 3.2 Fonction de sonification de l'environnement

Il s'agit ici de déclencher des sons réalistes continus correspondant à la nature de l'environnement géographique de la position du doigt de l'utilisateur : des sons de clapotis sont joués lors des contacts avec la mer; des sons de vagues pour le trait de cote, des sons de chant d'oiseau lors des contacts avec la forêt, ainsi que des sons de passages de voiture sur les routes (*cf.* figure 3).



**Figure 3.** Les retours sensoriels fournis par la tablette ne sont pas localisés. Seules les positions des contacts des doigts permettent d'attribuer une position aux informations tactiles, vocales et de sonification.

#### 4. Pré-tests et co-conception

Dans le cadre de notre démarche de co-conception, nous réalisons nos premiers tests avec un utilisateur non-voyant spécialiste de l'accessibilité.

##### 4.2 La perception d'une forme

Lors de notre premier test nous avons proposé à notre utilisateur de découvrir une forme géométrique simple : un carré. Tablette posée sur la table, cette forme ne pouvait être explorée qu'à un seul doigt. Lorsque le doigt se trouvait à l'intérieur de la forme une vibration et un son continu étaient déclenchés (cf. figure 4).



**Figure 4.** Lorsque l'utilisateur non-voyant touche la carré, un son continu et une vibration sont ressenties.

L'utilisateur a reconnu la forme après avoir utilisé une stratégie de balayage de l'écran et a déclaré que le son et la vibration lui permettaient de définir les limites de cette forme.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un résultat mais plutôt d'une première étape de co-conception, ce test montre bien qu'une vibration et un son non localisés en un point précis de l'espace d'exploration (i.e. toute la tablette vibre et sonne) entraîne une perception en un point donné : celui du contact du doigt. Ce constat permet donc d'envisager l'exploration mono-digitale de formes plus complexes.

##### 4.3 La perception d'une configuration géographique *mono-touch*

Au cours d'une seconde étape de co-conception, nous proposons une configuration géographique composée de 4 villes à l'échelle 1:100000 (1cm vaut 1km). Dans cette région inconnue de l'utilisateur non-voyant, les villes sont représentées par des cercles d'1 cm de diamètre autour du centre ville. Lorsqu'un doigt entre à l'intérieur de ce cercle, l'annonce vocale du nom de la ville est déclenchée et accompagnée d'une vibration continue. Cette vibration stoppe lorsque le doigt sort du disque.

Après une exploration de 4 minutes et 1 seconde, dont 3 minutes 23 de « stratégie de la grille » (Hill et Ponder, 1976) avec un seul doigt, notre testeur a

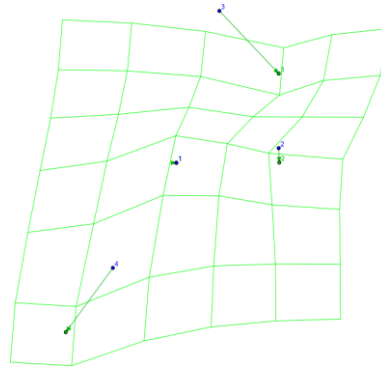


trouvé 4 villes. Ensuite, 38 secondes de « stratégie du point de référence » (Tellevik, 1992) ont été nécessaires pour les mémoriser. Il dessine alors la configuration perçue sur une feuille de papier à dessin en relief (cf. figures 5 et 6).



**Figures 5 et 6.** A gauche, après l'exploration, l'utilisateur non-voyant dessine la configuration qu'il a mémorisée sur du papier relief. A droite, la configuration reproduite sur papier relief. Nous avons annoté les croix avec des lettres.

Afin d'évaluer la précision de cette représentation graphique, nous avons superposé le dessin de l'utilisateur avec la carte de façon à obtenir les coordonnées géographiques des villes dessinées. Ensuite l'utilisation d'une régression bidimensionnelle (Friedman & Kohler, 2003) nous a permis d'obtenir un indice de ressemblance de 0.95 entre la configuration explorée et la configuration dessinée (0 = différent; 1 = identique). A l'aide d'une grille déformable, une représentation graphique nous permet de visualiser les erreurs réalisées d'une façon plus qualitative (cf. Figure 7).

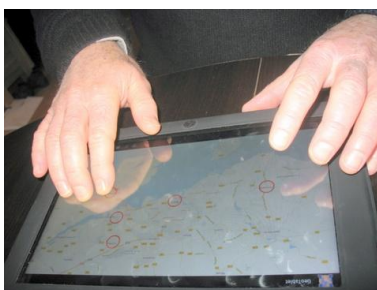


**Figure 7.** Les points bleus représentent les positions courantes des villes. Les points verts représentent les positions des villes dessinées. Les flèches indiquent la translation entre les deux configurations. La grille déformée est une représentation de la distorsion mentale de l'espace géographique mémorisé par l'utilisateur.

Nous voyons en effet une dilatation de la partie sud-ouest de la carte contre une constriction de la partie nord-est de celle-ci.

Finalement, nous évaluons la charge cognitive en demandant aux participants de répondre à la question "*Quel effort (mental et physique) avez-vous dû fournir pour atteindre votre niveau de performance?*" issue du questionnaire du NASA-TLX (Hart et Staveland, 1988; Cegarra et Chevalier, 2008) en donnant une valeur comprise entre 0 et 100. Le co-concepteur annonce 80.

#### 4.4 La perception d'une configuration géographique *multi-touch*



**Figure 8.** *Exploration d'une carte présentant 4 villes autour de Rennes. Lors du contact avec le doigt, les noms des villes sont annoncés vocalement et une vibration continue est déclenchée.*

Une dernière étape avant de réaliser une campagne de tests utilisateur a consisté observer le comportement du co-concepteur non-voyant lors d'une exploration multi-touch (cf. figure 8). Nous soulignons que c'est à la demande de celui-ci que nous nous sommes rapidement orienté vers une exploration à plusieurs doigts.

Tout d'abord, nous avons constaté que l'utilisateur n'explore pas avec les pouces. Il s'agit donc d'une navigation à huit doigts. Un problème se pose alors lorsqu'une vibration et une annonce vocale se produisent. En effet, l'utilisateur ne peut localiser la ville puisque huit contacts peuvent en être responsables. Après réflexion, l'utilisateur nous montre et nous explique sa stratégie. En présence du contact, la vibration persiste. L'utilisateur lève alors les doigts et les repose un par un. Lorsque la vibration reprend, le contact responsable est *a priori* découvert. Le renouvellement du contact entraîne à nouveau la vibration ainsi que l'annonce vocale et confirme donc la localisation de la ville en question. Nous baptisons cette technique "la stratégie du piano".

## 5. Tests d'usage

### 5.1 Participants

Les premiers tests d'usage concernent 6 personnes non-voyantes dont les caractéristiques personnelles d'âges, d'âge de perte de la vue, de sexe, de familiarité avec les cartes géographiques et de familiarité avec les tablettes tactiles sont reportées dans le tableau 1.

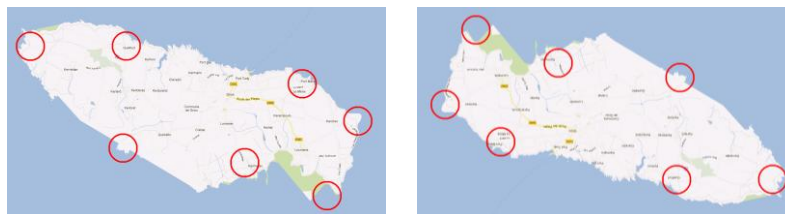
Participants	Age	Age de perte de la vue	Sexe	Familiarité avec les cartes	Familiarité avec les tablette
1	51	23	M Bruno	+++	+
2	32	20	M	+++	+++
3	51	42	M	++	+
4	36	0	M	++	++
5	48	0	F	+	+
6	35	0	M	+	++

**Tableau 1.** Caractéristiques individuelles des participants aux tests d'usage.

Notons que les participants 1, 2 et 3 sont non-voyants de naissance alors que les sujets 4, 5 et 6 ont perdu la vue tardivement. Bien que les différences de développement spatial ne soient pas démontrées, la présence de souvenirs visuels des personnes non-voyantes ayant vu plus jeunes peut constituer une différence non négligeable dans les processus cognitifs de construction d'une représentation spatiale de la configuration (Hatwell et Martinez-Sarocchi, *op.cit.*).

### 5.2 Protocole

Après des entraînements sur des cartes de test en conditions mono- et multi-touch, nous avons demandé aux six participants présentés ci-dessus d'explorer deux configurations géographiques chacune composée de 7 villes (*cf.* figure 9).



**Figure 9.** 2 configurations géographiques composées de 7 villes.

Chaque participant explore une carte avec un doigt et l'autre avec les deux mains, soit huit doigts. Naturellement les cartes sont contrebalancées afin d'éviter des biais liés aux configurations. L'ordre de conditions *mono-touch* et *multi-touch* est également contrebalancé afin d'éviter un effet d'ordre.

## 5 Résultats

Nous mesurons les variables suivantes :

- le temps d'investigation correspond au temps qui s'écoule depuis le moment où le participant entre en contact avec la carte jusqu'à l'instant où tous les éléments recherchés ont été découverts.

- le temps de mémorisation correspond au temps qui s'écoule depuis le moment où le participant a découvert tous les éléments jusqu'à l'instant où il déclare être en mesure de reproduire de mémoire la configuration des éléments.

- la ressemblance entre la configuration explorée et le croquis reproduit sur papier relief utilise la régression bidimensionnelle de Friedman et Kohler (*op.cit.*). Le coefficient R obtenu correspond à une reproduction parfaite pour la valeur 1 et l'absence totale de ressemblance entre les configurations explorée et dessinée pour la valeur 0.

- Un indice de charge cognitive est issu d'une question du questionnaire du NASA-TLX (Hart et Staveland, *op.cit.*; Cegarra et Chevalier *op.cit.*). Les participants répondent à la question "*Quel effort (mental et physique) avez-vous dû fournir pour atteindre votre niveau de performance?*" en donnant une valeur comprise entre 0 et 100 à la fin de chaque conditions.

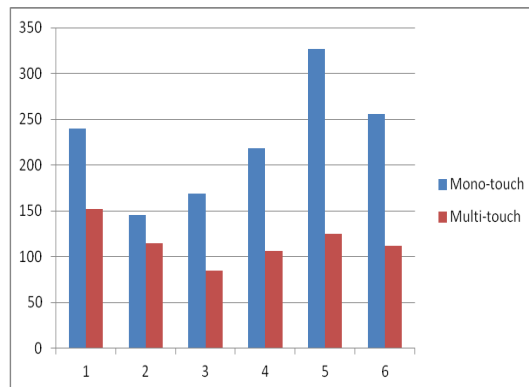
Les résultats sont présentés dans le tableau 2 suivant.

phase	condition	P1	P2	P3	P4	P5	P6
a. Temps d'investigation	mono	4'00	2'26	2'49	3'38	5'27	4'16
	multi	2'32	1'55	1'25	1'46	2'05	1'52
b. Temps de mémorisation	mono	1'00	1'24	1'15	1'44	2'19	1'57
	multi	1'20	1'31	1'08	1'33	2'43	1'18
c. ressemblance croquis	mono	0.95	0.94	0.92	0.87	0.98	0.94
	multi	0.96	0.94	0.95	0.90	0.97	0.93
d. Charge cognitive	mono	80	70	80	75	70	60
	multi	85	70	90	90	95	60

**Tableau II** : Résultats issus des différentes phases expérimentales. Les phases expérimentales d'investigation a) et de mémorisation b) ont fait l'objet de mesure de temps (minutes' secondes). L'analyse des croquis en représentant la configuration explorée c) offre des coefficients (de 0 à 1) de ressemblance (régression bidimensionnelle) alors que la charge cognitive d) est mesurée à l'aide d'un indice (compris 0 à 100) issu de la réponse à une question du NASA-TLX.

### 5.1 Temps d'investigation

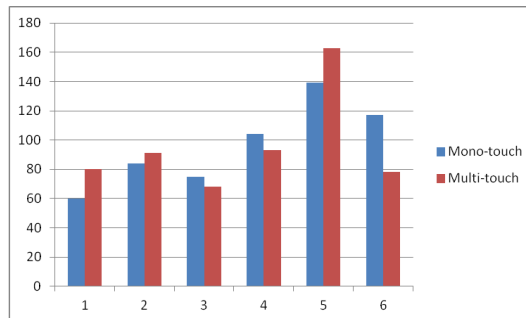
Au cours de la phase d'investigation qui consistait à découvrir les sept villes présentes sur la carte géographique (cf. tableau 2. phase a.), les participants ont eu besoin de plus de temps en condition mono-touch (médiane=229) qu'en condition multi-touch (113,5) (test de *Mann-Whitney-Wilcoxon*  $p < .01$ ) (cf. figure 10).



**Figure 10.** Temps (en secondes) d'investigation en condition mono- et multi-touch.

### 5.2 Temps de mémorisation

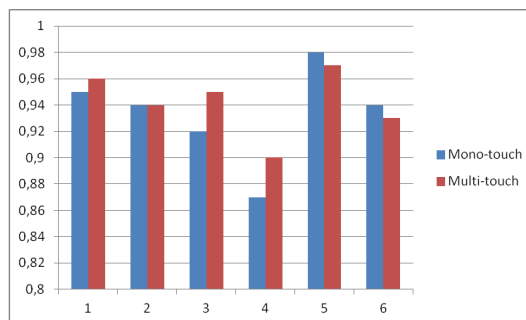
A l'inverse, au cours de la phase de mémorisation qui consistait à mémoriser les positions des 7 villes afin de redessiner la configuration (cf. tableau 2. phase b.) les participants n'ont pas besoin de plus de temps en condition mono-touch (médiane=94) qu'en condition multi-touch (85,5) ( $p>.05$ ) (cf. figure 11).



**Figure 11.** Temps (en secondes) de mémorisation en condition mono- et multi-touch.

### 5.3 Ressemblance entre les croquis reproduits et les configurations explorées.

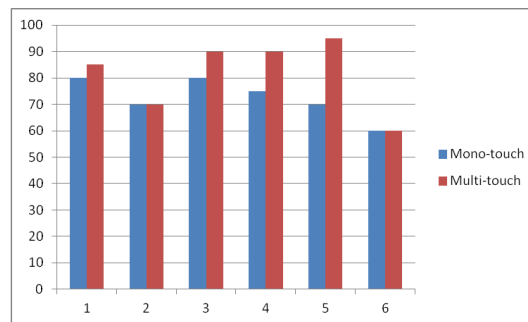
A la suite de cette phase de mémorisation, les participants dessinent des croquis de la configuration comportant des ressemblances (coefficient R de la régression bidimensionnelle) équivalents ( $p>.05$ ) en condition mono-touch (médiane=0.940) et multi-touch (0.945) (cf. figure 12).



**Figure 12.** Coefficients R de la régression bidimensionnelle entre les configurations explorées et reproduites en conditions mono- et multi-touch.

#### 5.4 Efforts liés à la tâche

A la question du NASA-TLX sur l'effort requis par la tâche, les réponses des participants ne permettent pas de dégager de différence significative ( $p > .05$ ) entre l'effort produit pendant l'activité mono- (médiane=72,5) et multi-touch (90) (cf. figure 13).



**Figure 13.** Valeurs des réponses à la question du NASA-TLX sur l'effort fourni en conditions mono- et multi-touch.

#### 5.5 Influence de l'expérience visuelle

La comparaison des résultats obtenus par les personnes non-voyantes tardives et congénitales ne révèle de différence significative ( $p < .05$ ) qu'au niveau des temps de mémorisation. En effet, les participants ayant perdu la vue présente une médiane de 77,5 secondes alors que les participants n'ayant jamais eu d'expérience visuelle présentent une médiane de 110,5 secondes.

Par contre les temps d'investigation, les ressemblances de la configuration reproduite et les efforts perçus au cours de la tâche ne présentent pas de différences significatives en fonction de l'expérience visuelle.

#### 5.6 Les stratégies

Nous avons observés visuellement et comptés les stratégies mises en œuvre par les participants parmi les stratégies connues suivantes :

- « stratégie de la grille » (Hill and Ponder, *op.cit.*)
- « stratégie des allers et retour » (Gaunet *et al.*, 1997)
- « stratégie du point de référence » (Tellevik, *op.cit.*)

- et stratégie du piano (en condition multi-touch uniquement)

Les participants tendent à réagir selon une procédure commune. En condition mono-touch, ils cherchent les sept éléments au moyen de la stratégie de la grille (Hill and Ponder, *op.cit.*), alors qu'en multitouch ils utilisent le balayement de tous les doigts simultanément. Lorsqu'un doigt ou plusieurs doigts entre en contact avec un élément, la tablette vibre et les participants lèvent tous les doigts pour ensuite les reposer un à un et identifier la localisation précise de l'élément. Cette stratégie est particulièrement utilisée lors de la phase d'investigation.

A l'inverse elle est nettement moins mise en œuvre au cours de la phase de mémorisation. Lors de cette dernière phase, les stratégies des aller et retour (Gagnet *et al.*, *op.cit.*) et du point de référence (Tellevik, *op.cit.*) sont principalement utilisées. Nous notons malgré tout qu'il est arrivé à certains participants d'utiliser à nouveau la stratégie du piano lorsqu'ils étaient en situation de recherche d'un élément qu'ils ne parvenaient pas à localiser à nouveau.

## 6. Discussion

Cette expérimentation visait à apporter un éclairage sur l'éventuel intérêt de l'exploration d'une configuration géographique simple sur une tablette tactile avec plusieurs doigts en situation de cécité. La problématique réside dans le fait que les feedbacks (retours vibratoire et audio) ne sont pas localisés par la tablette. Les participants devaient donc utiliser des stratégies d'exploration haptique afin de déterminer les positions des éléments à l'aide des positions des différents doigts.

Les premiers résultats montrent clairement l'apport de la condition multi-touch par rapport à la condition mono-touch. En effet, les temps d'investigation (découverte de tous les éléments de la configuration) sont plus longs en condition mono-touch. L'observation montre l'utilisation généralisée de la stratégie piano. Plus précisément, les participants explorent avec tous les doigts mais se trouvent en difficulté pour localiser une vibration et une annonce vocale. Ils lèvent alors tous les doigts et rétablissent les contacts uns à uns afin de déterminer le ou les doigts ayant déclenchés ces feedbacks. Bien que cette stratégie reste fastidieuse, elle présente l'intérêt d'éviter aux utilisateurs le parcours de toute la zone de travail avec un seul doigt. Cette stratégie peut également être décomposée en deux temps. Tout d'abord, elle implique une stratégie de la grille (Hill et Ponder, *op.cit.*) pratiquée à l'aide de huit doigts en parallèle. Cette stratégie, rapide mais peu précise, est ensuite complétée par une rupture de contact global avec l'espace de travail pour reprendre une succession de contacts discrets. A notre connaissance, cette activité n'a pas encore été observée au cours des recherches sur l'exploration haptique et semble directement induite par la principale limite de notre matériel : la production de feedbacks non visuels non localisés inhérents aux tablettes tactiles standards. Nous pouvons donc dire que le système "Geotablet" a entraîné l'apparition de cette stratégie du piano.



Le second résultat montre que la stratégie du piano n'influence pas la phase de mémorisation puisque les participants préfèrent réaliser des allers et retours à l'aide de l'index de leur main privilégiée, ainsi que quelques touchers successifs et alternatifs entre les index des deux mains. A l'heure actuelle, nous ne pouvons donc pas dire que le système de tablette tactile multi-touch de "GeoTablet" permettent l'appréhension directe d'une représentation spatiale globale en l'absence de vision. Ici se trouvent des limites de notre système pour pallier à ce que Millar (1994) et Hatwell et Martinez-Sarocchi (*op.cit.*) ont identifié comme la principale difficulté spatiale en l'absence de vision : l'accès à la perception globale d'un environnement. Nous sommes actuellement confronté à un choix entre les cartes papiers dont la discrimination tactile limite grandement la quantité d'information (Rowell et Ungar, *op.cit.*; Simonnet *et al.*, *op.cit.*) et les cartes numériques dont nous n'avons pas actuellement de principe d'interaction multi-touch efficace.

Le troisième constat corrobore le précédent. En effet, les représentations spatiales construites à l'aide des contacts multi-touch ne sont pas différentes de celles construites à l'aide de contact mono-touch. Nous assistons bien à un accès à l'information spatiale qui reste de nature séquentielle et nécessite toujours la reconstruction spatiale depuis les points de repères, vers les connaissances de type route pour déduire des connaissances de type carte (Siegel et White, 1975) particulièrement lourde en situation de cécité.

Finalement, l'absence de différence entre les efforts perçus en conditions mono- et multi-touch laisse penser à des activités de cognition spatiale équivalente en situation mono- et multi-touch : la reconstruction de la globalité de l'espace. Par ailleurs, les remarques des participants justifiaient ces absences de différence de la façon suivante : un seul doigt est plus contraignant puisqu'il nécessite un parcours exploratoire plus important. Cependant, plusieurs doigts sollicitent une dynamique d'esprit plus grande pour positionner correctement un élément. Il semble que ces deux contraintes exploratoire se compense approximativement sur le plan de la charge attentionnel.

## 7. Conclusion et perspectives

Bien que cette application ainsi que les tests qui l'accompagnent puissent être approfondis, cette étude présente les premiers retours d'une méthode de co-conception avec l'utilisateur final, suivi d'une batterie de tests utilisateurs.

Tout d'abord, une personne non-voyante semble parvenir à construire une représentation mentale d'un espace cartographique non tangible où les artefacts vibratoires et vocaux ne sont pas véritablement localisés (vibration de toute la tablette tactile/sortie audio non spatialisée). Dans le cas inverse la reproduction graphique n'aurait pas été possible. Ce résultat corrobore ceux de Pielot *et al.* (*op. cit.*).

Ensuite ces résultats favorisent la piste d'une interaction multi-touch dans le sens où les contacts de plusieurs doigts ne dégradent pas les performances spatiales mais permettent une investigation plus rapide. Les utilisateurs confirment cette position dans leur discours. Cependant, ces recherches nécessitent l'étude de différents types d'interaction telles que les signaux auditifs simultanés ou encore la spatialisation du son afin de permettre l'affichage de configuration géographique plus complexes (aires, routes, points d'intérêt...)

Finalement, outre la mise au point de nouveaux types d'interaction pour la navigation entre vues (i.e. Zoom, glissement de carte, etc.) et l'interaction avec l'application (i.e. Accès au menu, etc.), il paraît particulièrement important d'étudier de près les stratégies d'exploration haptiques en se rapprochant de récents travaux tels que ceux de Brock *et al.* (2012).

Bien qu'à un stade préliminaire de notre travail, nous souhaitons recueillir les avis de la communauté du handicap pour améliorer notre méthode de co-conception d'une part, et faire évoluer nos modes d'interaction d'autre part.

## 7. Bibliographie

Brock A., Lebaz S., Oriola B., Picard D., Jouffrais C., Truillet P., « Kin'touch: understanding how visually impaired people explore tactile maps », *ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, USA, Texas, Austin, 5-10 may 2012.

Cegarra J., Chevalier A., « The use of Tholos software for combining measures of mental workload: Toward theoretical and methodological improvements », *Behavior research methods*, vol. 40, n°4, 2008, p. 988-1000.

Espinosa M., Ungar S., Ochaita E., Blades M., Spencer C., « Comparing methods for introducing blind and visually impaired people to unfamiliar urban environments », *Journal of Environmental Psychology*, vol. 18, n°3, 1998, p. 277-287.

Friedman A., Kohler B., « Bidimensional regression : Assessing the configural similarity and accuracy of cognitive maps and other two-dimensional data sets », *Psychological Methods*, vol. 8, 2003, p. 468-491.

Gaunet F., Martinez J.L., Thinus-Blanc C., « Early-blind subjects' spatial representation of manipulatory space : exploratory strategies and reaction to change ». *Perception*, vol. 26, n°3, 1997, p. 345-366.

Gutierrez T., Enhanced network accessibility for the blind and visually impaired, Rapport technique, Labein, Madrid, Spain, 2005.

Hart S.G., Staveland L.E., *Development of NASA-TLX (Task Load index): Results of empirical and theoretical research*. In Hancock P.A., Meshkati N. (Eds.), *Human Mental Workload*, Elsevier Science Publishers, North-Holland, 1988, p. 139-184.

Hatwell Y., Martinez-Sarocchi F., « La lecture tactile des cartes et dessins, l'accès des aveugles aux œuvres d'art ». In Y. Hatwell., A. Streri., E. Gentaz. (Editeurs.), *Toucher pour*

*Connaître. psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Paris : PUF, 2000, p. 267-286.

Hill E., Ponder P., *Orientation and Mobility Techniques : A Guide for the Practitioner*, American Foundation for the Blind, 1976.

Jacobson D., « Cognitive mapping without sight : Four preliminary studies of spatial learning », *Journal of Environmental Psychology*, vol. 18, 1998, p. 189-305.

Jansson G., Petrie H., Colwell C., Kornbrot D., Fanger J., König H., Billberger K., « Haptic virtual environment for blind people exploratory experiments with two devices », *The International Journal of Virtual Reality*, vol. 4, 2000, p. 10-20.

Leonard J., Newman R., « Spatial orientation in the blind », *Nature*, vol. 215, 1967, p. 1413-1414.

Magnusson C., Gutierrez T., Rasmus-Gröhn K., « Test of pan and zoom tools in visual and non-visual audio haptic environments », *International Conference on Enactive Interfaces*, Grenoble, France, 19-24 november 2007.

Magnusson C., Rasmus-Gröhn K., « A Dynamic Haptic-Audio Traffic Environment », *Eurohaptics*, Munich, Germany, 5-7 june 2004.

Miele J., Landau S., Gilden D., « Talking TMAP: automated generation of audio-tactile maps using Smith-Kettlewell's TMAP software », *The British Journal of Visual Impairment*, vol. 24, 2006, p. 93-100.

Millar, S. *Understanding and Representing Space : Theory and Evidence from Studies with Blind and Sighted Children*, Oxford : University Press, 1994.

Picard D., Pry R., « Does knowledge of spatial configuration in adults with visual impairment improve with tactile exposure to a small-scale model of their urban environment? », *Journal of visual impairment and Blindness*, vol. 103, 2009, p. 199-209.

Pielot M., Poppinga B., Heuten W., Boll S., « PocketNavigator: Studying Tactile Navigation Systems In-Situ, *ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, USA, Texas, Austin, 5-10 may 2012.

Poppinga B., Magnusson C., Pielot M., Rasmus-Gröhn K., « TouchOver Map: Audio-Tactile Exploration of Interactive Maps », *MobileHCI '11: Human computer interaction with mobile devices and services*, Sweden, Stockholm 30 august - 2 september 2011.

Rowell J., Ungar S., « The world of touch : an international survey of tactile maps. Part 1: production », *British Journal of Visual Impairment*, vol. 21, 2003, p. 98-104.

Siegel A., White S., « The development of spatial representations of large-scale environments ». In Reese H., (Editeur), *Advances in Child Development and Behavior*, New York, Academic Press. 1975, p. 10-55.

Simonnet M., Vieilledent S., Jacobson D., Tisseau J., « Tactile maps and haptic digital representations of a maritime environment », *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 105, 2011, p. 222-234.

Tellevik J.-M., « Influence of Spatial Exploration Patterns on Cognitive Mapping by Blindfolded Sighted Persons », *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 86, 1992, p. 221-224.

Thorndyke P., Hayes-Roth B., « Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation », *Cognitive Psychology*, vol. 14, 1982, p. 560-589.

Ungar S., Blades M., Spencer C., Morsely K., « Can Visually Impaired Children Use Tactile Maps to Estimate Directions? », *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 88, 1994, p. 221-233.

Vygotsky L.S., *Mind of society*, Cambridge, 1930.