

# Evaluation d'un dispositif audio-tangible pour l'apprentissage spatial chez les enfants déficients visuels

Mulet Julie<sup>1</sup>, Dimitrov Lachezar<sup>2</sup>, Anna Bartolucci<sup>3</sup>,  
Raynal Mathieu<sup>1</sup>, Tartas Valérie<sup>2</sup>, Lemarié Julie<sup>2</sup>,  
Ducasse Julie<sup>1</sup>, Jouffrais Christophe<sup>1</sup>, Macé Marc<sup>1</sup>,  
Oriola Bernard<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire IRIT – Université Toulouse III Paul Sabatier  
Toulouse, France

<sup>2</sup> Laboratoire CLLE – Université Toulouse II Jean-Jaurès  
Toulouse, France

<sup>3</sup> Institut des Jeunes Aveugles, Toulouse, France

**Abstract**—Cette communication propose une évaluation préliminaire d'un dispositif numérique interactif conçu pour l'exploration de maquette en 3D (application TangiSpace). Ce dispositif associe des retours sonores verbaux et non verbaux à l'exploration d'un plan en Lego d'un bâtiment connu. Ces retours sonores correspondent aux sons réels qui ont été enregistrés dans les locaux : ils se déclenchent lors de l'exploration du plan interactif et ont pour objectif de rendre l'expérience d'exploration plus immersive. L'évaluation préliminaire a été conduite auprès de 5 élèves déficients visuels pris en charge dans un centre spécialisé et d'une instructrice de locomotion. Les performances des élèves ainsi que l'expérience utilisateur vécue pendant l'exploration (mesurées par questionnaire) ont été évaluées et comparées à une condition d'utilisation d'un plan Lego sans retour sonore. Les perceptions de l'instructrice ont été recueillies sur la base d'un entretien. Si les premières mesures ne font pas apparaître de différence entre les deux dispositifs, les commentaires de l'instructrice permettent de considérer les avantages pédagogiques supposés de l'outil, mais aussi quelques difficultés d'utilisation et des interrogations concernant les modalités d'utilisation.

**Keywords**— *Accessibilité, carte interactive, déficience visuelle, navigation autonome, enseignement spécialisé*

## I. INTRODUCTION

Pour les personnes avec déficiences visuelles (DV), la mobilité et l'orientation dans l'espace sont des problématiques centrales et récurrentes. En effet, l'acquisition des compétences de mobilité et d'orientation sont fondamentales pour permettre aux personnes DV de se déplacer en autonomie, en sécurité et avec confiance. En France, 56% des personnes avec DV expriment des difficultés à se déplacer dans un espace extérieur et 29% ne sont pas capables de gérer seules leurs déplacements [1]. L'apprentissage de la locomotion est donc un enjeu majeur de la prise en charge éducative des enfants avec DV. Cet article porte sur l'évaluation préliminaire de TangiSpace, un dispositif numérique conçu pour l'exploration de modèles et cartes en relief. Dans un premier temps, nous présenterons des éléments théoriques concernant la construction des connaissances spatiales chez les personnes avec DV et les outils qui existent pour accompagner les élèves dans cet apprentissage. Nous présenterons ensuite le dispositif TangiSpace utilisé. Nous

présenterons ensuite une étude pilote portant sur l'évaluation de l'utilisation de TangiSpace dans une tâche d'exploration d'un bâtiment par des élèves avec DV. Nous en discuterons les principaux résultats.

### A. Construction des connaissances spatiales chez les personnes avec déficience visuelle

La vision joue un rôle majeur dans la construction des connaissances spatiales grâce à son vaste champ perceptif, sa rapidité de traitement et la finesse des discriminations qu'elle permet [2]. En l'absence de vision, d'autres systèmes sensoriels permettent d'appréhender l'espace proche. Notamment, les informations auditives soutiennent la locomotion et l'orientation [3] : elles permettent la formation d'une image mentale de l'environnement qui facilite le déplacement [4] ; elles interviennent aussi dans la détection des obstacles (écholocation). La perception tactile fait référence au toucher qui est employé pour explorer l'environnement, tandis que la perception haptique (ou tactilo-kinesthésique) renvoie à la stimulation de la peau par les mouvements d'exploration actifs de la main, mais aussi, par extension, de la canne blanche, lorsqu'elle entre en contact avec des objets [2], [3]. Si ces sens viennent se substituer à la vision pour élaborer des représentations mentales de l'espace, ils impliquent aussi un coût cognitif plus élevé. La perception haptique est nécessairement séquentielle et en tant que perception de contact, elle couvre un très faible champ perceptif. De ce fait, les informations à maintenir en mémoire pendant l'exploration sont nombreuses et impliquent une forte mobilisation des ressources cognitives [2]. La perception auditive nécessite aussi que l'attention soit constamment orientée vers les informations pertinentes de l'environnement : cela nécessite des capacités de discrimination et d'attention sélective importante, qui chargent aussi la mémoire de travail [3]. La combinaison de ces informations sensorielles permet l'intégration d'une représentation unifiée de l'environnement [5]. Cependant, parce que ce processus est plus coûteux en l'absence de représentations visuelles, les performances spatiales des aveugles congénitaux sont majoritairement inférieures à celles des voyants ou des aveugles tardifs [2]. C'est particulièrement le cas lorsqu'on s'intéresse à l'impact de la cécité sur les

perceptions et les représentations du mouvement, notamment à l'échelle de l'espace locomoteur.

De façon générale, les expériences de locomotion permettent de développer les connaissances spatiales selon une certaine séquence [6]. Tout d'abord, l'individu identifie des repères qu'il mémorise. L'action et la locomotion permettent la formation d'une représentation des itinéraires entre ces points de repères : néanmoins, ces représentations mentales restent séparées les unes des autres en fonction des expériences subjectives de locomotion. Cette connaissance de type route est utile pour reproduire des trajets appris, mais elle ne permet pas les détours. De plus, ces représentations sont de type égocentré, c'est-à-dire avec le corps du sujet en point de référence. Cela implique notamment que la représentation soit réactualisée constamment pour s'adapter aux conséquences spatiales du déplacement. Progressivement, l'individu construit une représentation plus objective et décentrée : les représentations de type « route » sont combinées pour construire une représentation de type carte. Ce niveau de représentation se construit dans un cadre de référence allocentré, qui permet d'adopter différents points de vue. Il permet d'élaborer des inférences spatiales et donc des raccourcis et des nouveaux trajets. Cette séquence d'apprentissage se construit avec des expériences répétées dans un environnement spatial chez l'adulte : elle dépend aussi du développement du système cognitif chez l'enfant [6]. De nombreux travaux montrent que les aveugles congénitaux ou précoces ont des difficultés à accéder à une représentation de type carte [7]. Cependant, certains arrivent à développer des compétences spatiales analogues à celles des voyants. Les connaissances spatiales de type carte peuvent donc être acquises mais elles nécessitent un enseignement spécifique. Pour les enfants déficients visuels, cet enseignement est généralement prodigué dans des centres éducatifs spécialisés qui adaptent ou conçoivent des supports adaptés aux élèves, mais également aux besoins de chaque professionnel spécialisé (enseignant, éducateur, instructeur de locomotion...).

#### *B. Utilisation de cartes tactiles en classe : dispositifs existants, efficacité et acceptabilité*

Les représentations symboliques de l'espace utilisées dans les centres spécialisés s'appuient sur diverses techniques plus ou moins coûteuses en termes de temps de conception et ne sont pas toujours modifiables (donc réutilisables). Elles reposent sur l'adaptation des cartes visuelles en cartes tactiles (maquettes en bois, tableaux aimantés, cartes thermogonflées...) Ces cartes tactiles sont efficaces pour le repérage dans le plan et l'apprentissage d'une configuration spatiale [8] mais elles présentent aussi différentes limites de conception et d'utilisabilité pour les enseignants (impossibilité de mettre à jour, nécessité d'un support différent pour représenter la même information à plusieurs échelles ou avec plusieurs niveaux de détails...) [9]. Leur traitement implique en outre des difficultés d'ordre cognitif pour les élèves : il a déjà été mentionné plus haut que le traitement des informations dans la modalité haptique se fait de façon séquentielle et dans un champ perceptif réduit [2], ce qui a pour effet d'augmenter les exigences cognitives liées au traitement et à l'intégration des informations. De plus, la construction d'une représentation allocentrée est difficile pour les enfants avec DV : or, les espaces dans une carte sont représentés en « vue de dessus » qui correspond à une

représentation allocentrée. Par ailleurs, les légendes des cartes sont généralement proposées en Braille [10], dont la lecture se fait également par la modalité tactile et nécessite une automatisation qui n'est pas maîtrisée par tous les enfants [7]. Les utilisateurs doivent de plus intégrer des informations provenant de deux sources distinctes (dessin tactile et légende). Les mouvements continus de va-et-vient pour faire la correspondance entre les éléments textuels et symboliques perturbent l'exploration et divisent l'attention, ce qui entraîne une surcharge de la mémoire de travail. Ceci est renforcé par le fait que les procédures exploratoires des enfants DV sont souvent peu organisées et peu efficaces [7]. Ces limites font des cartes tactiles un outil coûteux, autant en termes de conception pour les enseignants qu'en termes d'utilisation (temps et ressources cognitives) pour les élèves. De plus, elles ne peuvent pas facilement être utilisées en autonomie par les élèves.

Depuis peu, la démocratisation des outils de prototypage rapide comme les imprimantes additives permet aux éducateurs de construire facilement des modèles en 3D. A ces modèles en 3D peuvent s'ajouter des dispositifs interactifs qui délivrent des informations auditives, verbales ou non verbales (musiques, sons d'ambiance...) [11]. Cette multimodalité est généralement bénéfique pour les apprentissages : elle favorise la mémorisation et la compréhension tout en diminuant la charge cognitive [12]. Les études qui comparent l'usage des cartes tactiles classiques aux cartes interactives aboutissent toutefois à des résultats contradictoires : elles amènent parfois à des performances d'apprentissage plus élevées [13], mais pas systématiquement [11]. Ces résultats apparemment différents peuvent s'expliquer par la grande variabilité des méthodes mais aussi des contenus utilisés dans les études.

Un autre point d'intérêt concerne l'acceptabilité suscitées des dispositifs interactifs : si les approches quantitatives, basées sur des questionnaires, ne montrent pas nécessairement de perceptions plus positives à l'égard des cartes interactives de la part des apprenants [14], les approches plus qualitatives, basées sur des observations et des entretiens, concluent que l'usage de ces dispositifs induit un sentiment de satisfaction élevé, des réactions émotionnelles positives et une forte perception d'utilité [11], [13], [15] de la part des élèves et des enseignants. Ces résultats sont importants à considérer : les récents modèles d'acceptabilité soulignent que des perceptions positives après les premiers usages d'une nouvelle technologie déterminent les intentions d'usage de cet outil [16]. Dans le domaine de la pédagogie et du point de vue des enseignants, des perceptions négatives (liées à la facilité d'utilisation perçue, à l'utilité ou à l'intérêt motivationnel pour les élèves par exemple) les amèneront à ne pas proposer l'outil. Du point de vue des élèves, la valence des expériences vécues avec des outils numériques et les perceptions qui en découlent ont un impact sur les perceptions que l'élève a de ses capacités [17] et sur l'anxiété ressentie lors de l'apprentissage [18]. Si ces dimensions sont fondamentales dans toutes les situations pédagogiques, elles le sont encore plus dans le cas d'élèves en situation de handicap, ces derniers étant particulièrement vulnérables quant à l'image qu'ils ont d'eux-mêmes et de leurs capacités [19]. On comprend donc l'importance de proposer des dispositifs interactifs efficaces d'un point de vue pédagogique et dont l'usage amène

à des perceptions d'acceptabilité positives, autant pour les élèves que pour leurs enseignants et éducateurs.

## II. TANGISPACE

### A. Conception du dispositif pédagogique

L'élaboration du dispositif s'est faite en concertation avec une instructrice en locomotion dans le cadre de son intervention pédagogique au sein de l'Institut des Jeunes aveugles de Toulouse (IJA). L'objectif de l'instructrice est de favoriser chez les enfants avec DV une représentation mentale de l'espace de navigation entre les différentes pièces du centre. Elle utilise pour cela un dessin en relief (DER) non interactif composé d'aimants positionnés sur un tableau magnétique : certains représentent le plan de l'IJA (couloirs et murs) et un aimant représente un personnage que l'on peut déplacer sur le DER. L'instructrice joue des sons préenregistrés depuis son téléphone portable afin de donner des indications sonores relatives à l'emplacement représenté. L'objectif de ces sons est d'associer à la représentation symbolique construite par l'exploration du plan des expériences sonores vécues pendant le trajet réel. Deux limites sont constatées : l'interprétation des aimants comme représentation d'un espace locomoteur nécessite un degré d'abstraction trop élevé pour les jeunes élèves et le déclenchement des informations sonore induit une activité complexe et une attention constante pour l'enseignante. En réponse à ces limites, un nouveau dispositif a été co-construit. Il comporte deux dimensions : une dimension tangible constituée par un support construit par des pièces Lego au format A3 qui représentent le plan simplifié de l'IJA ; une dimension virtuelle, un logiciel qui permet d'automatiser les retours sonores en fonction de l'emplacement du pion. Plusieurs rencontres pour élaborer puis tester le dispositif ainsi que les scénarii pédagogiques ont été nécessaires.

### B. Tangible Box

La Tangible Box (Figure 1) est un plateau interactif sur lequel est positionné un figuré (dessin en relief ou maquette) ainsi que des objets physiques que l'utilisateur peut déplacer pour découvrir et interagir avec le figuré. Selon le contexte d'utilisation, il est possible d'utiliser différents types de support pour créer le figuré. On peut, par exemple, utiliser du papier thermogonflé, une plaque fine en bois sur laquelle sont gravés les reliefs du dessin, ou une plaque de Lego sur laquelle des blocs de Lego sont positionnés de manière à représenter les reliefs (cf. Figure 2). Les objets physiques positionnés sur le figuré peuvent être créés au moyen d'une imprimante additive. Chaque objet est associé à un aimant de forme et de couleur différentes qui est détecté et suivi grâce à une caméra placée à l'intérieur de la Tangible Box. Un système de suivi, à base de traitement d'images, permet alors de connaître la position exacte du pion sur le figuré. Il existe deux logiciels associés à la Tangible Box : d'une part, un éditeur qui permet à l'enseignant de définir les différentes zones du figuré pour lesquelles il souhaite associer un retour sonore ou vocal. Cette information peut être un fichier sonore ou un texte qui sera lu par une synthèse vocale lorsque l'objet physique entrera dans la zone définie. Une fois que l'enseignant a fini d'éditer les interactions du figuré, il peut enregistrer la configuration dans un fichier. L'autre logiciel est un lecteur qui est connecté avec la Tangible Box et reçoit en temps réel la position des pions sur le plateau.

En fonction de la configuration précédemment enregistrée, le lecteur peut lancer un son ou lire un texte lorsque le pion entre dans une zone interactive.



Figure 1- Photo de la Tangible Box

### C. TangiSpace

TangiSpace est une application spécifique co-conçue avec une instructrice de locomotion. Elle intègre un plateau en Lego représentant un bâtiment et un pion représentant un personnage permettant de figurer la personne qui s'y déplace. La position du pion déclenche des retours sonores verbaux (par exemple, la voix d'une personne lorsque le pion entre dans l'espace représentant son bureau) ou non verbaux (par exemple le bruit de l'ascenseur). Ces sons ont été enregistrés lors de l'exploration réelle du bâtiment



Figure 2: Photo du TangiSpace en Lego représentant le bâtiment exploré et le personnage manipulé (à droite)

## III. CAS D'ÉTUDE

L'étude réalisée consistait à évaluer l'utilisabilité de Tangispace par les élèves du point de vue des élèves et de leur instructrice en locomotion.

### A. Protocole

#### 1) Participants et contexte

Cinq élèves avec DV de 5 à 19 ans ont été recrutés au sein de l'IJA : 2 filles et 3 garçons, 3 aveugles tardifs (AT) et 2 aveugles congénitaux (AC). Une instructrice de locomotion qui travaille quotidiennement avec les élèves du groupe a aussi participé à cette étude.

## 2) Tâches et matériel

Pour assurer le fonctionnement de TangiSpace, nous avons utilisé une Tangible Box avec un ordinateur portable. La communication entre les deux s'effectuait via une connexion sans fil. Les enfants devaient réaliser 2 tâches :

*Tâche 1* : L'enfant doit effectuer le trajet « Trouver ma salle d'étude » en déplaçant le pion depuis l'entrée du bâtiment sur le plan Lego jusqu'à la salle de son instructrice. Il doit suivre le trajet précisé par l'instructrice en glissant le pion doucement tout au long du trajet.

*Tâche 2* : Réaliser le trajet réel pour trouver la salle d'étude dans le bâtiment.

Afin de respecter le scénario pédagogique usuellement mis en place par l'enseignante, les élèves ont aussi bénéficié d'un temps d'exploration libre du plan dans les deux conditions.

Les utilisateurs ont été filmés avec un caméscope après avoir obtenu leur consentement éclairé. Les questionnaires mesurant l'expérience utilisateur ont été imprimés et lus devants les personnes avec DV afin qu'ils puissent répondre oralement..

## 3) Conditions d'utilisation du plan

La variable indépendante est le type de dispositif utilisé pour le déroulement d'une activité d'apprentissage spatial : déplacement d'un pion sur un plan en Lego du centre spécialisé avec ou sans l'utilisation de la Tangible Box. La condition « sans » était déterminée par l'absence de la Tangible Box. Dans cette condition, les informations relatives à l'emplacement du pion sur le plan étaient données par l'instructrice oralement. Le plan Lego était positionné sur un tableau aimanté. La présence de la Tangible Box déterminait la condition « avec ». Le plan Lego était positionné sur la Tangible Box et l'application TangiSpace délivrait les retours sonores de façon synchrone en fonction du déplacement du pion.

## 4) Mesures

Afin d'évaluer l'intérêt du dispositif pour l'apprentissage spatial des élèves DV, deux dimensions étaient considérées. La première concernait les performances d'utilisation des élèves, la seconde concernait l'expérience d'utilisation par les élèves du point de vue des élèves eux-mêmes et de celui de l'instructrice.

### a) Performance

La performance d'utilisation des élèves a été opérationnalisée par deux mesures du temps employé pour effectuer le trajet jusqu'à la salle d'étude : l'une sur le plan Lego, l'autre dans le bâtiment.

### b) Expérience utilisateur des élèves

La version française du questionnaire meCue [16] a été utilisée pour évaluer l'expérience d'utilisation par les enfants. La version française initiale comporte 30 questions réparties en quatre modules. Nous avons modifié certaines questions de la version française afin qu'elles soient plus facilement compréhensibles par les enfants et nous en avons supprimé d'autres, jugées trop complexes. La version finale comporte six items qui évaluent : i) les perceptions instrumentales de l'outil (module I : facilité et utilisabilité perçues), ii) cinq items qui évaluent les émotions positives et négatives (module II), et iii)

un item qui propose une évaluation globale du produit (module IV). Le module III, spécifique aux intentions d'utilisation, n'a pas été inclus. Les items des modules I et II sont du type échelles de Likert à 7 points codées de 1 (« pas du tout d'accord ») à 7 (« tout à fait d'accord »). Le dernier item est à évaluer sur une échelle en 10 points allant de -5 (« mauvais ») à +5 (« bon »).

### c) Perceptions de l'outil par les instructrices

Afin de mieux comprendre les perceptions du point de vue des instructrices, un entretien d'explicitation basé sur l'auto-confrontation a été conduit avec une instructrice. Il s'agissait de demander à la personne qui effectuait l'activité d'explicitier ses actions à partir d'un enregistrement vidéo de l'activité. L'entretien portait sur l'activité des élèves et non sur celle de l'instructrice (sa propre activité).

## 5) Procédure

L'activité pédagogique a été proposée à chaque élève de façon individuelle dans les deux conditions. Ces dernières ont été alternées pour chaque enfant et le délai entre les deux conditions était d'une semaine pour éviter un biais d'apprentissage. Avant l'activité, tous les participants ont été familiarisés avec le dispositif. Les enfants ont effectué les deux tâches dans chaque condition puis ont répondu au questionnaire. A l'issue de l'étude, l'entretien d'auto-confrontation a été réalisé avec l'instructrice.

## B. Résultats

### 1) Mesure des performances d'utilisation

#### a) Durée du trajet sur plan et dans le bâtiment

*Tâche 1*. Le temps consacré au trajet « trouver ma salle d'étude » sur le plan Lego ( $M = 149.6$  ;  $ET = 96.1$ ) et sur la Tangible Box ( $M = 149.8$  ;  $ET = 39.3$ ) sont quasiment similaires et ne diffèrent pas significativement d'après le test de Wilcoxon appliqué ( $Z = -.674$ ,  $p = .50$ ).

*Tâche 2*. Le temps consacré pour effectuer le trajet « Trouver ma salle d'étude » dans le bâtiment a été un peu plus court dans la condition avec la Tangible Box ( $M = 242$  ;  $ET = 88.3$ ) par rapport au plan seul ( $M = 321.2$  ;  $ET = 178.7$ ), mais cette différence n'est pas significative d'après le test de Wilcoxon ( $Z = -1.753$ ,  $p = .08$ ).

#### 2) Mesure de l'expérience utilisateur

Les résultats du questionnaire sont issus des réponses de l'instructrice ainsi que de quatre élèves. Le cinquième enfant n'a pas pu répondre aux questions à cause de la non compatibilité du questionnaire pour son âge (5 ans). Les données issues du questionnaire sont étayées par les verbalisations de l'instructrice recueillies lors de l'entretien.

#### a) Perceptions instrumentales

Le test de Wilcoxon ne fait pas apparaître de différence significative de **l'utilisabilité perçue** de la Tangible Box ( $M = 6.22$  ;  $ET = 1.09$ ) par rapport au plan Lego seul ( $M = 6.28$  ;  $ET = 0.91$ ) ( $Z = -.27$ ,  $p = .79$ ). L'entretien avec l'instructrice met en revanche l'accent sur une difficulté propre à l'utilisation de la Tangible Box : l'aimant se détache facilement. La supervision de cette difficulté induit un partage attentionnel pour l'instructrice : « *c'est quelque chose que j'avais tout le temps en*

tête (...); de l'observer, ça me rajoute une tâche en plus ». C'est aussi un élément supplémentaire que l'institutrice signale à l'élève pendant la tâche d'exploration : « attention il y a un aimant (...), il ne faut pas que tu soulèves ». Cette gestion de l'aimant ajoute donc une tâche supplémentaire de supervision pour l'élève aussi. De plus, le personnage en lui-même peut parfois être difficile à manipuler : « Ils ont tous eu envie de le pousser par le corps et pas par la tête, sauf que quand ils le tiennent par le corps ça bloque... ça ne passait pas dans les couloirs. C'est une information que j'ai dû donner à chaque fois ».

**L'utilité perçue** du plan avec la Tangible Box ( $M = 6.33$  ;  $ET = 0.76$ ) ne diffère pas non plus significativement de la condition sans ( $M = 5.44$  ;  $ET = 1.38$ ) ( $Z = -1.60$ ,  $p = .11$ ). Cependant, l'institutrice exprime lors de l'entretien une utilité perçue forte de la Tangible Box. Un des aspects positifs est lié au caractère plaisant et motivant de l'autonomie permise grâce à l'utilisation de la Tangible Box : ce point est plus longuement présenté dans la section suivante. Un autre motif de satisfaction concerne plus spécifiquement le cas d'élèves impulsifs, qui peinent à planifier leurs déplacements et à les réajuster en cas de désorientation. C'est le cas du participant 2 (P2), comme l'explique l'institutrice : « Il est très impulsif. Tu lui donnes une carte, juste les Lego, il va toucher partout très, très vite (...). Les sons l'ont vraiment posé. » Cette fonction de maintien de l'attention est plus efficace d'après l'institutrice lorsque qu'elle est induite par un son plutôt que par des interventions humaines, en particulier pour les élèves qui ont des difficultés de concentration comme P3. L'institutrice cherche à guider régulièrement l'élève par le biais de questions, mais elle note que « tu lui poses une question et elle est déjà fatiguée que tu la lui poses parce qu'il faut qu'elle se concentre énormément pour aller chercher une réponse sur laquelle elle va se tromper quasiment à tous les coups (...). Elle a tellement de difficultés de concentration que là où (...) j'ai posé trois questions [sans qu'elle ne sache répondre] (...); avec la Tangible Box elle entend et de suite elle comprend [où aller]. » Enfin, l'institutrice souligne l'intérêt de la Tangible Box pour les élèves qui, comme P4, n'utilisent pas l'environnement sonore pour se repérer. Elle explique à propos de cet élève : « il n'utilise pas assez les sons quand je me retrouve à l'extérieur avec lui. (...) Ce serait vraiment un objectif de travail de travailler sur TangiSpace avec lui, qu'il commence à prendre des repères auditifs. »

#### b) Réactions émotionnelles

Il n'y a pas de différences des réactions émotionnelles positives ( $Z = -.95$ ,  $p = .34$ ) et négatives ( $Z = -.45$ ,  $p = .66$ ) auto-rapportées. Néanmoins, l'institutrice estime que les caractéristiques de TangiSpace rendent l'exploration plus plaisante pour les élèves. Le son donne des repères immédiats, et le fait que l'information sonore indique à l'enfant qu'il n'est pas dans la bonne direction lorsqu'il se trompe ou est désorienté ne ressemble pas à un feedback correctif. L'institutrice relève que ce retour est plus valorisant pour les élèves que de s'engager dans des manipulations anarchiques qui ne permettent pas pour autant de mieux se situer. Cela les rend plus autonomes dans leur processus d'exploration. Elle souligne aussi que les élèves ont des réactions positives lors du déclenchement des sons : « ils ont tous un sourire à chaque fois qu'ils ont entendu un son ». Enfin,

elle exprime régulièrement le plaisir qu'elle-même éprouve à utiliser l'outil lors des séances : « c'est un outil qui me plaît et je trouve ça fun et ludique (...) donc du coup, j'ai du plaisir à l'utiliser. ».

#### c) Evaluation globale

Les deux dispositifs ont été positivement évalués par les utilisateurs (échelle allant de -5 à 5). Toutefois, TangiSpace a obtenu une note significativement plus élevée ( $M = 4.25$  ;  $ET = .76$ ) que le plan Lego seul ( $M = 2.00$  ;  $ET = 3.56$ ) ( $Z = 2.03$ ,  $p = .04$ ). Somme toute, les difficultés d'utilisabilité soulevées par l'institutrice n'ont pas impacté l'évaluation globale. Elle estime par exemple que « pour les bénéfiques de l'outil, c'est des petites limites de devoir recalibrer l'aimant quand il est perdu après avoir soulevé le pion. » Un point d'interrogation a toutefois été soulevé : il s'agit de la question de la spatialisation du son. D'un côté, le son favorise le côté immersif du déplacement par rapport à une synthèse vocale : « le son, il te permet de partir du vécu parce que c'est une expérience vécue par rapport à un son que tu as entendu. C'est pour ça que c'est des sons du quotidien. C'est pas une synthèse vocale et (...) ça fait du lien là où (...) la carte tactile (...) ne permet pas de faire du lien avec une expérience ». De plus, « le fait de devoir passer plus du temps sur un endroit pour écouter les sons, ça permet vraiment de se poser comme dans la réalité ». D'un autre côté, le son ne se déclenche que lorsque le personnage manipulé entre dans une pièce sur le plan. L'institutrice estime qu'il y a une réflexion à mener sur ce point car dans la réalité, les sons peuvent aussi servir de repère lorsqu'on est hors d'une pièce : « les sons ce n'est pas quelque chose auquel j'ai l'habitude de réfléchir. Il y a tout un travail sur le déclenchement des sons, par exemple, déclencher le son du piano dans le couloir ou dans la pièce du piano ? » (...) Le son du piano vient de la pièce du piano, mais en même temps c'est très intéressant de l'avoir dans ce couloir quand il passe devant, c'est un excellent repère »

#### IV. DISCUSSION

Cette étude pilote proposait une évaluation d'un dispositif tangible interactif, TangiSpace, pour l'apprentissage spatial chez les enfants avec déficiences visuelles. Au plan descriptif, l'apprentissage du plan avec TangiSpace a permis aux élèves de se déplacer plus rapidement dans le bâtiment que lorsque le plan Lego était utilisé seul. Cette différence n'est pas significative, ce qui va dans le sens d'études antérieures [11]. Néanmoins, le nombre de participants était très faible et les élèves présentaient de grandes disparités. De plus, la tâche était similaire dans les deux conditions : malgré le délai d'une semaine on ne peut exclure la possibilité d'un biais d'apprentissage. De plus, les élèves ont pu développer des connaissances par l'exploration réelle de l'IJA qu'ils ont continué à côtoyer entre les deux sessions d'apprentissage. Par ailleurs, bien que l'institutrice estime que les élèves ont pris plus de plaisir à l'exploration du plan Lego avec TangiSpace, l'évaluation par questionnaire fait apparaître des réactions émotionnelles et des perceptions similaires dans les deux conditions. En revanche, les verbalisations de l'institutrice montrent que l'utilité qu'elle perçoit pour les élèves est élevée, et ce sur plusieurs aspects.

Au-delà de sa plus-value ludique, le retour sonore permet aux élèves d'explorer le plan en autonomie, sans que le guidage

de l'institutrice ne soit nécessaire. Cela présente un premier avantage d'ordre affectivo-motivationnel pour les élèves : les indications sonores agissent comme une aide au repérage pour l'élève, et cette aide est apportée automatiquement par le système, libérant ainsi l'élève de la nécessité de solliciter son enseignant. Des travaux antérieurs ont montré que dans le cadre d'un apprentissage, une aide fournie par un système automatisé était mieux acceptée qu'une aide délivrée par une personne [20].

Un second avantage constaté par l'institutrice, d'ordre cognitif, est que la simplicité de l'information sonore implique un traitement cognitif moins complexe qu'un guidage verbal délivré par l'institutrice. Trop d'informations simultanées peuvent en effet saturer les capacités de mémoire de travail d'un apprenant et l'apprentissage par l'action, tel qu'il est proposé dans la tâche à accomplir pour cette étude, présente un coût cognitif important [21]. Les éléments sonores de TangiSpace recentrent l'attention des enfants peinant à réguler leur action sur la tâche en cours (cf. participant 2). De plus, les informations sonores sont moins complexes que les indications verbales délivrées par l'institutrice : elles suffisent à guider l'élève sans le surcharger d'informations (cf. participant 3).

Enfin, TangiSpace offre une sensation d'immersion plus importante que le plan Lego seul, ce qui est loin d'être un détail du point de vue des objectifs pédagogiques de l'institutrice. Pour les enfants avec DV, le son est en effet primordial pour permettre la formation de l'image mentale de l'environnement, pour apprendre à se déplacer et à s'orienter [4], et l'institutrice exprime tout l'intérêt qu'elle voit à l'usage de TangiSpace pour travailler cet objectif (cf. participant 4). En revanche, la sensation d'immersion est limitée par le fait que le son ne soit pas spatialisé, ce qui motive une demande de la part de l'institutrice.

Si les résultats du questionnaire ne font pas apparaître de différence concernant l'utilisabilité perçue de TangiSpace, les verbalisations de l'institutrice mettent en lumière des difficultés de manipulation (déplacement du personnage, gestion de l'aimant). Pour l'enseignant comme pour l'élève, ces difficultés impliquent une tâche supplémentaire de supervision qui n'est pas directement liée à la tâche et qui peut interférer avec le processus d'apprentissage [22]. Elles peuvent aussi créer un sentiment de frustration lors de l'utilisation de l'outil, la facilité d'utilisation perçue étant un facteur essentiel du processus d'adoption d'une nouvelle technologie [16]. Pour autant, l'évaluation globale des deux dispositifs va en faveur de TangiSpace, ce qui indique que ces difficultés d'utilisation ont eu peu d'impact sur les perceptions générales. Cela va dans le sens de l'évaluation antérieure des modèles d'acceptabilité de nouvelles technologies auprès d'enseignants spécialisés, qui montre que l'utilité perçue est un facteur d'acceptabilité au moins aussi important que la facilité d'utilisation [23].

Compte-tenu du très faible nombre d'élèves et d'enseignants impliqués dans cette étude pilote, ces résultats doivent être pris avec précaution. D'autres limites peuvent être relevées : la disparité des élèves en terme d'âge et de profil, le fait qu'un seul exercice ait été proposé ou encore le fait que les interventions de l'institutrice n'aient pas été contrôlées ne permettent pas de généraliser ces résultats. Néanmoins, l'analyse qualitative des données à la lumière de la littérature scientifique permet d'identifier les points sur lesquels l'usage de TangiSpace

présente une plus-value. Elle permet aussi d'envisager des pistes d'amélioration et pose des questions cruciales pour la pratique pédagogique et le développement futur de l'outil.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions le laboratoire "Cherchons pour Voir" pour avoir permis de réaliser l'étude, les enfants et leurs parents, les institutrices, Anthony Bordeau pour la réalisation ainsi que la MSH de Toulouse.

#### REFERENCES

- [1] C2RP, "Déficience Visuelle - Etudes et Résultats," Lille, France, 2015.
- [2] Y. Hatwell, "Appréhender l'espace pour un enfant aveugle," *Enfance Psy*, vol. 33, pp. 69–79, 2006.
- [3] N. Lewi-Dumont, *Enseigner à des élèves aveugles ou malvoyants*. Canopé Edition, 2016.
- [4] W. R. Wiener, R. L. Welsh, and B. B. Blasch, *Foundations of orientation and mobility*, 3ème. New York: American Foundation for the Blind, 2010.
- [5] G. Revesz, *Psychology and Art of the Blind*. Londres: Longmans Greens, 1950.
- [6] A. W. Siegel and S. H. White, "The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments," in *Advances in Child Development and Behavior*, vol. 10, 1975, pp. 9–55.
- [7] Y. Hatwell, *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Paris: Dunod, 2003.
- [8] R. D. Jacobson, "Spatial Cognition Through Tactile Mapping," *Swansea Geogr.*, vol. 29, pp. 79–88, 1992.
- [9] A. Brock, "Interactive Maps for Visually Impaired People: Design, Usability and Spatial Cognition," Université de Toulouse, 2014.
- [10] P. Edman, *Tactile graphics*. New-York: AFB Press, 1992.
- [11] A. M. Brock, P. Truillet, B. Oriola, D. Picard, and C. Jouffrais, "Interactivity Improves Usability of Geographic Maps for Visually Impaired People," *Human-Computer Interact.*, vol. 30, no. 2, pp. 156–194, 2015.
- [12] S. Erhel and E. Jamet, "How Can Positive Effects of Pop-up Windows on Multimedia Learning be Explained?," *J. Educ. Multimed. Hypermedia*, vol. 20, no. 2, pp. 135–156, 2011.
- [13] E. Brulé, G. Bailly, A. Brock, F. Valentin, G. Denis, and C. Jouffrais, "MapSense: Multi-sensory interactive maps for children living with visual impairments," in *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 2016, pp. 445–457.
- [14] S. Giraud, A. M. Brock, M. J. M. Macé, and C. Jouffrais, "Map learning with a 3D printed interactive small-scale model: Improvement of space and text memorization in visually impaired students," *Front. Psychol.*, vol. 8, no. JUN, pp. 1–10, 2017.
- [15] J. Ducasse, A. M. Brock, and C. Jouffrais, *Accessible interactive maps for visually impaired users*, no. August. 2017.
- [16] M. Thüring and S. Mahlke, "Usability, aesthetics and emotions in human-technology interaction," *Int. J. Psychol.*, vol. 42, no. 4, pp. 253–264, 2007.
- [17] S. K. Jan, "The relationships between academic self-efficacy, computer self-efficacy, prior experience, and satisfaction with online learning," *Am. J. Distance Educ.*, vol. 29, no. 1, pp. 30–40, 2015.
- [18] P. Pruet, C. S. Ang, and D. Farzin, "Understanding tablet computer usage among primary school students in underdeveloped areas: Students' technology experience, learning styles and attitudes," *Comput. Human Behav.*, vol. 55, pp. 1131–1144, 2015.
- [19] G. Douglas, M. Mclinden, S. McCall, S. Pavey, J. Ware, and A. Marie, "Access to print literacy for children and young people with visual impairment : findings from a review of literature," vol. 26, no. 1, pp. 25–38, 2011.
- [20] P. Reeves and R. Sperling, "A comparison of technologically mediated and face-to-face help-seeking sources," *Br. J. Educ.*, ..., 2015.
- [21] J. Sweller, P. Ayres, and S. Kalyuga, *Cognitive Load Theory*, Springer. New York, 2011.
- [22] R. E. Mayer, *The Cambridge handbook of multimedia learning*, vol. 6. 2005.
- [23] T. Adiguzel, R. M. Capraro, and V. L. Willson, "An examination of teacher acceptance of handheld computers," *Int. J. Spec. Educ.*, vol. 26, no. 3, pp. 12–27, 2011.