



Développement d'une carte géographique basée sur la réalité augmentée pour élèves non-voyants

Jérémy Albouys-Perrois

► To cite this version:

Jérémy Albouys-Perrois. Développement d'une carte géographique basée sur la réalité augmentée pour élèves non-voyants. Interface homme-machine [cs.HC]. 2017. hal-01566496

HAL Id: hal-01566496

<https://inria.hal.science/hal-01566496>

Submitted on 21 Jul 2017

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.

- 3ème Année FILIERE INGENIEUR -

RAPPORT de STAGE ENTREPRISE

« Développement d'une carte géographique basée sur la réalité augmentée pour élèves non-voyants »

Présenté par

Jérémy - ALBOUYS

Effectué au sein du laboratoire Inria



dans l'équipe POTIOC

Sous la direction de

Madame Anke Brock

- 1ère Période - JUILLET 2017 -

Résumé :

Le projet VISTE, ou « Empowering spatial thinking of students with visual impairment », est un programme européen ERASMUS +. Dans le cadre de ce projet, Inriales chercheurs d’Inria visent à créer une technologie de réalité augmentée pour concevoir une carte interactive qui sera par la suite utilisée dans des établissements spécialisés pour enseigner la locomotion à des enfants atteints de déficiences visuelles.

C’est dans ce contexte que j’ai intégré l’équipe de recherche Potioc chez Inria au cours de mon stage de fin d’études à l’ENSC.

J’ai donc pu réaliser cette carte interactive durant mon stage. Mon principal objectif était de développer un prototype fonctionnel tout en mettant en place une démarche de conception participative pour fournir un outil répondant la plus possible aux besoins des futurs utilisateurs. Cette démarche a abouti à la création d’un prototype fonctionnel présentant deux modes principaux de fonctionnement. De plus, des tests utilisateurs réalisés vers la fin de mon stage ont permis de montrer l’acceptabilité du système.

Mots clés : Réalité augmentée, carte interactive, accessibilité, déficience visuelle.

Abstract :

The VISTE project, or “Empowering spatial thinking of students with visual impairment”, is an ERASMUS+ European project. As a part of this project, Inria wants to create an augmented reality technology to design an interactive map which will be used by specialized establishments to teach mobility and orientation to visual impaired students.

It is in this context that I joined the research team Potioc during my last internship at the ENSC.

I was able to develop this interactive map during my internship. My main objective was to create a functional prototype while setting up a participatory design to provide a tool to respond the needs of all the future users

Keywords: Augmented reality, interactive maps, accessibility, visual impairment.

Remerciement

Je souhaite dans cette partie exprimer ma gratitude à l'ensemble des personnes qui m'ont accompagné pendant toute la durée de stage.

Tout d'abord, je voudrais remercier ma maître de stage Anke BROCK, en premier lieu pour avoir accepté que je réalise ce stage à ses côtés. Mais aussi pour toute l'aide et qu'elle a su me procurer tout au long de la conception de ce projet. Merci également de me permettre de continuer à travailler sur ce sujet tant qu'ingénieur.

Je remercie aussi Martin HACHET, le directeur de l'équipe Potioc, pour les conseils et l'aide apporté tout au long du projet.

Je souhaite remercier Joan SOL ROO, pour toute l'aide et le soutien qu'il m'a apporté dans la compréhension de la technologie de la réalité augmentée et dans son utilisation. Je remercie également Jérémy Laviole, pour l'aide qu'il m'a apportée concernant l'utilisation de sa technologie, Papart.

Je désire aussi remercier mon tuteur, Jean-Marc Salotti, pour sa présence lors de ce stage de troisième année.

Je suis extrêmement reconnaissant à l'IRSA et plus particulièrement aux instructrices de locomotion Carine BRIANT, Ève URBAN et Isabelle CAMPAIGNOLLE pour leur implication dans ce projet. Sans cela il n'aurait pu aller aussi loin.

Je remercie également l'ENSC ainsi que l'ensemble du corps enseignement, pour avoir fourni une excellente formation.

Et pour finir, merci à toute l'équipe Potioc de l'Inria, pour toute l'aide qu'elle m'a procurée. Pour l'enthousiasme dans de très nombreux domaines qu'elle a su me prodiguer et pour l'ensemble des choses qu'elle m'a apporté aussi bien sur le plan personnel que le plan professionnel.

Table des matières

Résumé :	2
Abstract :	2
Remerciement.....	3
I. Introduction	7
II. Présentation de l'ENSC et de la Cognitique	7
III. Présentation du laboratoire.....	8
1. Inria, Institut de recherche français	8
2. Organisation	9
3. Le centre de recherche Inria Bordeaux – Sud-Ouest.....	9
4. L'équipe de recherche POTIOC.....	10
IV. Analyse du problème.....	11
1. Le projet VISTE	11
2. État de l'art	11
a. Digital Interactive Maps	12
b. Hybrid Interactive Maps	13
3. Conception participative	14
a. Conception Participative et déficiences visuelles.....	14
b. Créations d'idées et explicitations des choix.	14
4. Planning.....	19
V. Réalisations	20
1. PapARt et la réalité augmentée spatiale	20
2. Réalisation de la base du prototype de carte interactive	23
a. Mise en place des interactions avec notre prototype	23
b. Représentation des données de la projection	26
c. Boitier et token pour le prototype.....	27
3. Les Modes d'Interaction.....	30
a. Mode Exploration	30
b. Mode Construction.....	32
4. Expérimentation du prototype	34
a. Protocole expérimental.	35
b. Présentation des résultats	37
VI. Étude de marché	40
VII. Analyse des enjeux « Développement Durable » et « Responsabilité Sociétale »	41
VIII. Conclusion	42
Bibliographie:.....	43

Annexe 1 : Fiche de familiarisation pour les tests utilisateurs	45
Annexe 2 : Protocole d'expérimentation, mode Exploration	47
Annexe 3 : Protocole d'expérimentation, mode Construction	50
Annexe 4 : Panel d'utilisateurs :	56
Annexe 5 : Résultat des Test SUS.....	56
Annexe 6 : Consistance des réponses du test UEQ.....	57
Annexe 7 : Gantt effectif du projet.....	57
Annexe 8 : Compte rendu de la réunion du 20 février 2017	58
Annexe 9 : Diagramme de Séquence du mode Construction.....	62

Figure 1 : Organigramme d'Inria	10
Figure 2 : Présentation des différents rendez-vous dans le cadre de la conception participative	15
Figure 3 : Carte thermo gonflée de du réseau TBM et sa légende associée.....	16
Figure 4 : Maquette représentant un arrêt de tram de la ville de Bordeaux	17
Figure 5 : Plaque aimantée et aimant	17
Figure 6: Élève déficiente visuelle dessinant sur une feuille DYCEM.....	18
Figure 7: Planning prévisionnel du stage	19
Figure 8: Version 2 du système PapARt	21
Figure 9 : Feuille délimitant une surface d'interaction avec des QR Codes.....	21
Figure 10 : Dessin augmenté grâce à l'utilisation de Papart.....	22
Figure 11 : Carte interactive réalisée grâce au système Papart	23
Figure 12 : Exemple de boutons imprimés en 3D	25
Figure 13: Fond de carte (tiré de OpenStreetMap) et le fichier au format SVG créé manuellement qui lui est associé	26
Figure 14: Exemple d'une figure représenté au format SVG	27
Figure 15 : Exemple d'aimants avec des formes différentes et recouvertes de mousse	28
Figure 16: Image présentant un paquet de Wikki Stix	29
Figure 17 : Boîtier permettant de limiter la surface d'interaction	29
Figure 18 : Présentation du fonctionnement de l'algorithme de détection de la distance entre un doigt et un chemin	31
Figure 19 : Élève explorant la carte interactive de la Gare Saint-Jean après les travaux.....	31
Figure 20: Déroulement de l'algorithme de détection d'un nouvel élément.....	33
Figure 21: Construction d'une carte tactile par un élève	34
Figure 22: Plan thermogonflé de la gare Saint-Jean	35
Figure 23: Comparaison de la moyenne du score du test SUS par rapport aux quartiles, à des adjectives et à l'acceptabilité du système (Bangor, Kortum, & Miller, 2008b)	37
Figure 24 : Résultat du SUS pour les participants	38
Figure 25: Résultat du test UEQ du prototype	39
Tableau 1: Tableau de comparaison de différents systèmes de TTS (Test-To-Speech)	24

I. Introduction

Dans le cadre de ma troisième année à l'École Nationale Supérieure de Cognitique (ENSC), j'ai intégré l'équipe de recherche Potioc au sein de l'Institut Nationale de Recherche en Informatique et en Automatique (Inria) à Talence. Au cours de ce stage, j'ai été amené à développer une carte interactive destinée à des personnes déficientes visuelles.

J'ai repris un système existant, Papart, permettant à l'origine de réaliser du dessin à partir d'une interface de réalité augmentée (Jeremy Laviole & Hachet, 2012)¹ afin de créer cette carte. Plus globalement PapARt est un outil permettant de réaliser des applications en réalité augmentée en utilisant un projecteur, une webcam et une caméra de profondeur.

Plus précisément, j'ai utilisé de la réalité augmentée spatiale afin de créer ce système. La réalité augmentée peut se définir comme étant « *une interface entre des données virtuelles et le monde réel* » (Bimber & Raskar, 2005). Dans le cadre de la réalité augmentée spatiale, les informations vont directement être projetées sur un objet physique afin d'ajouter de l'information, notamment grâce à un vidéoprojecteur.

Plusieurs objectifs se sont présentés à moi lors de ce stage. Le principal a été l'élaboration d'une démarche de conception participative avec des personnes déficientes visuelles. Une fois les premières étapes de cette conception mises en place, j'ai pu commencer à développer une carte tirant parti de la réalité augmentée.

II. Présentation de l'ENSC et de la Cognitique

La Cognitique peut se définir comme la science du traitement de l'information, mais aussi de la connaissance. Si l'on désire être plus précis, on parle du traitement automatique de la connaissance et la relation entre l'humain et les technologies de l'information et de la communication (TIC).

Cela amène à parler de la Cognitique comme une science pluridisciplinaire qui mêle de nombreux domaines. Des compétences à la fois en informatique, mais aussi en psychologie ou encore en neurobiologie sont nécessaires, même obligatoires, à l'ingénieur cognitif.

C'est dans l'objectif de former des ingénieurs possédant l'ensemble de ces compétences que l'ENSC accueille des étudiants. C'est pourquoi les bases du développement informatique y

¹ <https://project.inria.fr/papart/>

sont enseignées. On y retrouve en plus des cours portant sur des facteurs humains comme de l'ergonomie, de la psychologie ou des neurosciences. Les sciences liées au monde de l'ingénieur sont une part très importante au sein de la formation.

La robotique est également une voie qui peut être suivie lors de ces études à l'ENSC. En effet, une famille de robots, les COBOT (Robot Collaboratif), prend une part de plus en plus importante dans les entreprises. Ces robots sont amenés à interagir avec l'humain de nombreuses façons. C'est pourquoi le profil de l'ingénieur Cogniticien permet de travailler à l'établissement de ces interactions.

C'est dans ce contexte de formations que se déroule ce stage d'une durée de 6 semaines au cours de la troisième et dernière année d'étude à l'ENSC.

III. Présentation du laboratoire

Cette partie présente une brève histoire d'Inria et son organisation actuelle.

1. Inria, Institut de recherche français

Inria, l'Institut Nationale de Recherche en Informatique et en Automatique, est un institut de recherche français en informatique et en mathématiques créé en 1967. Sa création entre dans la mise en place du plan « Calcul » par le Général de Gaulle. Ce plan avait pour objectif premier de permettre le développement de l'informatique en France pour faire du pays un futur leader européen dans le domaine.

Le premier centre Inria fut construit à Rocquencourt. Aujourd'hui, il s'agit du siège de l'institut, mais, jusqu'en février 2016, il abritait également un centre de recherche.

Le premier nom de l'institut fut IRIA (Institut de Recherche en Informatique et en Automatique). Jusqu'en 1979, les débuts de l'IRIA sont complexes. Le manque de main-d'œuvre employée (seulement 80 chercheurs en 1963) l'empêche d'atteindre un développement conséquent.

En 1979, l'IRIA se déplace à Sophia-Antipolis et, s'apprête à fusionner avec L'IRISA (Institut de Recherche en Informatique et Système Aléatoire), de Rennes. Jean Marie Lion, enseignant chercheur à l'université de Rennes, parvient à maintenir l'institut qui prend alors son nom actuel : Inria.

Entre 1975 et aujourd'hui, plusieurs centres Inria ont été construits en France dans le but de créer un maillage sur l'ensemble du territoire :

- L'Unité de recherche de Rennes (1975)
- L'unité de recherche de Sophia Antipolis (1983)
- L'unité de recherche de Lorraine (Loria) (1986)
- L'unité de recherche du Rhône-Alpes (1992)
- Les unités de recherche future de Bordeaux et Lille Saclay (depuis 2003)

Aujourd'hui, Inria emploie environ 2600 collaborateurs, dont 1750 scientifiques, réparties parmi les 8 centres de recherches dont est composé l'institut.

2. Organisation

Inria est divisé en équipe projet, il s'agit de groupes de recherche formés autour d'un projet scientifique centralisé. Ce modèle d'organisation permet une grande flexibilité dans la façon dont sont menées les recherches. En 2016, l'établissement comptait 178 équipes dont 139 étaient en collaboration avec des universités.

Depuis 2014, et pour une durée de 5 ans, Inria est dirigé par Antoine Petit. L'organigramme d'Inria est présenté en Figure 1.

3. Le centre de recherche Inria Bordeaux – Sud-Ouest

Le centre Inria Bordeaux dans lequel j'ai réalisé mon stage a ouvert en 2008 sur le campus de Talence. Il est composé de 336 employés répartis dans 21 équipes différentes.

Les recherches qui y sont menées sont basées sur 4 axes scientifiques majeurs :

- Modélisation, calcul intensif et architectures parallèles
- Gestion des incertitudes et optimisation
- Modélisation et simulation pour la santé et la biologie
- Humain et Numérique : interaction et visualisation.

Inria Bordeaux dispose de très nombreux partenaires en France (Bordeaux INP, CNRS, Université de Bordeaux...), mais aussi à l'internationale dans un grand nombre de pays autour du globe.

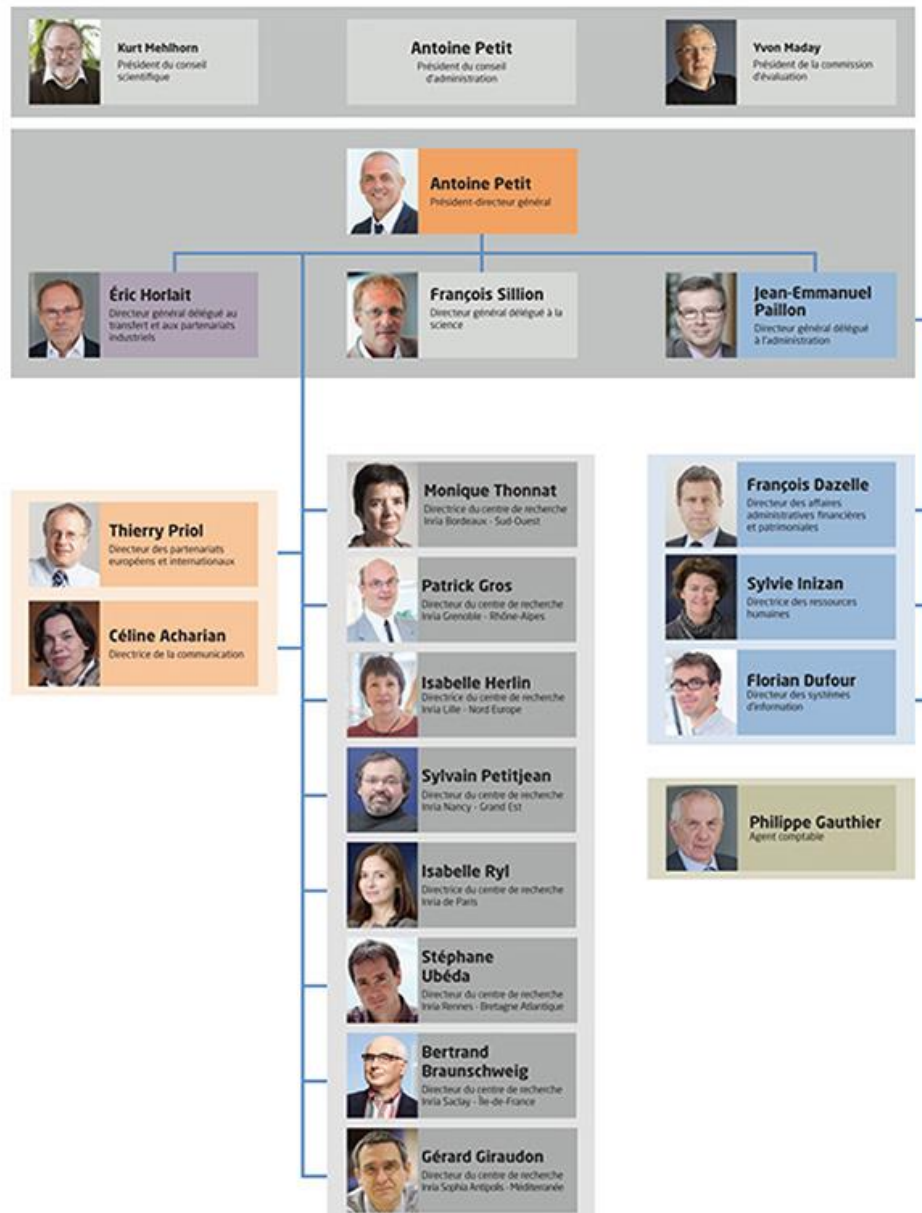


Figure 1 : Organigramme d'Inria

4. L'équipe de recherche POTIOC

POTIOC² est une équipe projet commune à Inria, l'Université de Bordeaux et le CNRS. Son objectif est d'explorer des pistes pour fournir de nouvelles interactions entre le numérique et l'homme au travers d'interface.

L'équipe est composée de 4 membres permanents. Martin HACHET, le responsable, Fabien LOTTE et Anke BROCK, chercheurs Inria ainsi que Pascal GUITTON professeur à

² <https://team.inria.fr/potioc/fr/>

l'université de Bordeaux. À l'heure actuelle, six doctorants et deux ingénieurs font également partie de l'équipe, ainsi que plusieurs stagiaires.

Les travaux de POTIOC touchent de nombreux domaines pour fournir ces nouvelles interfaces. On peut par exemple parler des interfaces cerveaux-ordinateurs (BCI) (Pillet et al., 2017) pour l'apprentissage ou l'utilisation de la réalité virtuelle pour le travail collaboratif (Clergeaud & Guitton, 2017). L'éducation et l'art sont aussi des domaines dans lesquels Potioc tente d'innover. Hobbit par exemple (Furié et al., 2017), est un système utilisant la réalité augmentée tangible permettant de simuler des expériences d'optique pour l'apprentissage.

IV. Analyse du problème

1. Le projet VISTE

Le projet VISTE³ est un projet ERASMUS+ disposant d'un financement Européen. Ce projet est prévu pour durer du 1er septembre 2016 au 31 août 2019. L'objectif principal de ce projet est : l'amélioration de la cognition spatiale des étudiants possédant des déficiences visuelles.

Ce projet dispose de nombreux partenaires européens comme l'université nationale technique d'Athènes. Trois partenaires éducatifs participent également au projet : deux écoles spécialisées dans l'accueil d'élèves déficients visuels en Grèce et en Roumanie et un institut roumain dont l'objectif est la formation d'instructeurs qui travailleront avec des personnes déficientes visuelles.

C'est dans le cadre de ce projet que Inria prévoit de livrer un prototype de carte interactive qui sera présenté aux différents partenaires lors d'un workshop en septembre 2018.

2. État de l'art

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur des cartes interactives pour déficients visuels. Ducasse et al. (2017) ont proposé de classer ces cartes interactives en deux catégories distinctes : les cartes digitales interactives (DIMs, Digital Interactive Maps) et les cartes interactives hybrides (HIMs, Hybrid Interactive Maps).

³ www.visteproject.eu

a. Digital Interactive Maps

Les DIMs sont des cartes qui peuvent être projetées sur une surface plane ou affichées directement sur un écran. Afin d'interagir avec ses dernières, il est possible d'utiliser directement ses doigts, ou des dispositifs adaptés comme un clavier, une souris ou encore un joystick. Les retours fournis par une telle carte pourront concerner différentes modalités sensorielles. Il pourra s'agir par exemple de retour audio ou tactile.

La grande force de ce type de carte réside dans le grand nombre d'outils qui permettent d'explorer cette dernière. On peut parler de systèmes de pointage donnant des retours haptiques ou auditifs. Par exemple, l'utilisation d'une souris présentant des retours de force afin d'indiquer les limites de la carte explorée permet à l'utilisateur de maintenir une orientation spatiale correcte (Golledge, Rice, & Jacobson, 2005).

L'utilisation d'écran tactile ou capacitif pour réaliser une exploration directement avec les doigts est très fréquente avec les personnes déficientes visuelles. Les limites de l'écran permettent de donner à l'utilisateur un repère spatial sur la zone à explorer. Cependant, de par leur nature, il est impossible actuellement de donner des feedbacks tactiles avec ce genre de système.

La capture de positions ou de geste en 3D grâce à des caméras présente les mêmes avantages et retours que l'utilisation d'un écran tactile ou capacitif (Pielot, Henze, Heuten, & Boll, n.d.). Cependant, la robustesse d'un tel système dépend énormément des conditions extérieures comme la luminosité. De plus, un tel système est difficilement transportable s'il désire être utilisé en dehors d'une salle, dans une rue par exemple.

L'utilisation du clavier comme outil d'exploration reste minoritaire. Il est plus souvent utilisé comme outil complémentaire pour utiliser certaines commandes comme la possibilité de faire défiler une carte ou encore de zoomer (Bahram, 2013).

Les cartes digitales peuvent donc être utilisées avec un grand nombre d'outils différents, mais aussi dans des contextes différents en fonction du système utilisé (portable ou non). Cependant, l'absence de retour tactile pendant l'exploration est un manque qu'il est nécessaire de combler.

b. Hybrid Interactive Maps

Les HIMs sont des cartes réalisées à partir d'un dispositif digital (caméra de profondeur pour capturer la position des doigts par exemple), mais également grâce à des systèmes physiques. En fonction du système physique utilisé, il est possible de diviser les HIMs en trois sous catégories distinctes (Ducasse et al., 2017).

Les Cartes Tactiles Interactives, sont des cartes dont la représentation est figée et non modifiable. Il s'agit par exemple d'une carte imprimée ou construite en relief dont la légende qui l'accompagne, habituellement en braille, est remplacée par une sortie sonore (Voir Figure 4. Afin d'interagir avec cette dernière deux technologies différentes sont utilisées : la détection des doigts de l'utilisateur grâce à une ou des caméras ou la détection des doigts grâce à une table multi-touch (Brock, Truillet, Oriola, Picard, & Jouffrais, 2015).

Les Cartes tangibles sont la seconde catégorie d'HIMs répertoriée. Concrètement, une interface tangible combine des objets physiques avec des données digitales afin de permettre la création d'une interaction entre ces données à travers une interface physique. (Ullmer & Ishii, 1997).

Les cartes tangibles sont donc composées de différents éléments physiques afin de représenter différents éléments de la carte. L'utilisateur va donc manipuler les différents éléments qui vont composer la carte afin de, par exemple, reproduire cette dernière à travers différentes instructions (Ducasse, Macé, Serrano, & Jouffrais, 2016; Schneider & Strothotte, 2000).

Les Cartes Tactiles Actualisables, sont des cartes qui peuvent être rendues directement en temps réels. Pour cela, on utilise une matrice de picots dont la hauteur peut être modifiée afin de créer du relief.

Le dynamisme de ce type de carte est un très grand avantage. La petite taille de tels systèmes donne une mobilité également importante. Cependant, ce sont des systèmes qui sont aujourd'hui encore relativement onéreux, de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers d'euros ce qui est un frein non négligeable.

Comme nous venons de le voir, il existe de très nombreux types de cartes interactives différentes destinés aux personnes déficientes visuelles. Cela s'explique, car certaines recherches ont démontré que l'apprentissage avec ces types de cartes était plus rapide, mais aussi plus apprécié par les utilisateurs qu'avec des cartes en relief avec du braille (Brock et

al., 2015), ou que les utilisateurs mémorisent mieux des informations avec des cartes interactives (Giraud, Brock, Macé, & Jouffrais, 2017). Au vu des différentes contraintes liées au développement du prototype (utilisation du système PapARt) et des demandes des futurs utilisateurs, nous avons pu précisément nous orienter vers un type de carte particulier.

3. Conception participative

La conception participative est, un processus de conception dont l'objectif est d'impliquer les utilisateurs durant la totalité du processus de développement.(Greenbaum & Kyng, 1991; Sears & Jacko, 2009)

a. Conception Participative et déficiences visuelles.

Il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes ou guides permettant de mettre en place un tel système de conception. Cependant, la grande majorité d'entre eux suppose que l'utilisateur dispose de la quasi-totalité de ses capacités visuelles. Il nous a donc fallu utiliser des méthodes et outils nous permettant de travailler avec des personnes malvoyantes ou non voyantes (Brock et al., 2010). Brock et. al mettent en avant de nombreuses recommandations à prendre en compte afin d'arriver à mettre en place une conception participative avec des personnes non voyantes. En cas de réunion par exemple, il faut limiter le nombre de participants (10 maximums) et, veillez à ce que le lieu choisit soit parfaitement accessible aux différents invités (par exemple prévoir la place pour un chien guide d'aveugles).

b. Créations d'idées et explicitations des choix.

Afin de créer un prototype répondant le plus aux attentes des futurs utilisateurs, nous avons donc décidé de mettre en place une démarche de conception participative. Pour cela, nous avons collaboré avec l'IRSA, l'Institut Régionale des Sourds et Aveugles. Nous avons travaillé avec deux instructrices en locomotions travaillant au sein de l'institut avec des jeunes atteints de déficiences visuelles : Carine BRIANT, Ève URBAN et Isabelle CAMPAIGNOLLE.

Pour débiter cette conception participative, nous avons dans un premier temps réalisé une phase d'analyse. L'objectif de cette phase était de comprendre les méthodes de travail utilisé par les instructrices, mais aussi de définir avec elles les besoins auxquels notre outil allait devoir répondre. Lors de cette première phase, avons assisté à deux cours de locomotion. Il s'agit de cours permettant aux jeunes l'apprentissage de l'autonomie dans les déplacements

ainsi que la sécurisation de ces derniers. Cela va passer par l'utilisation d'outils comme la canne blanche ou la mise en place d'automatisme pour se repérer. C'est dans le cadre de ces

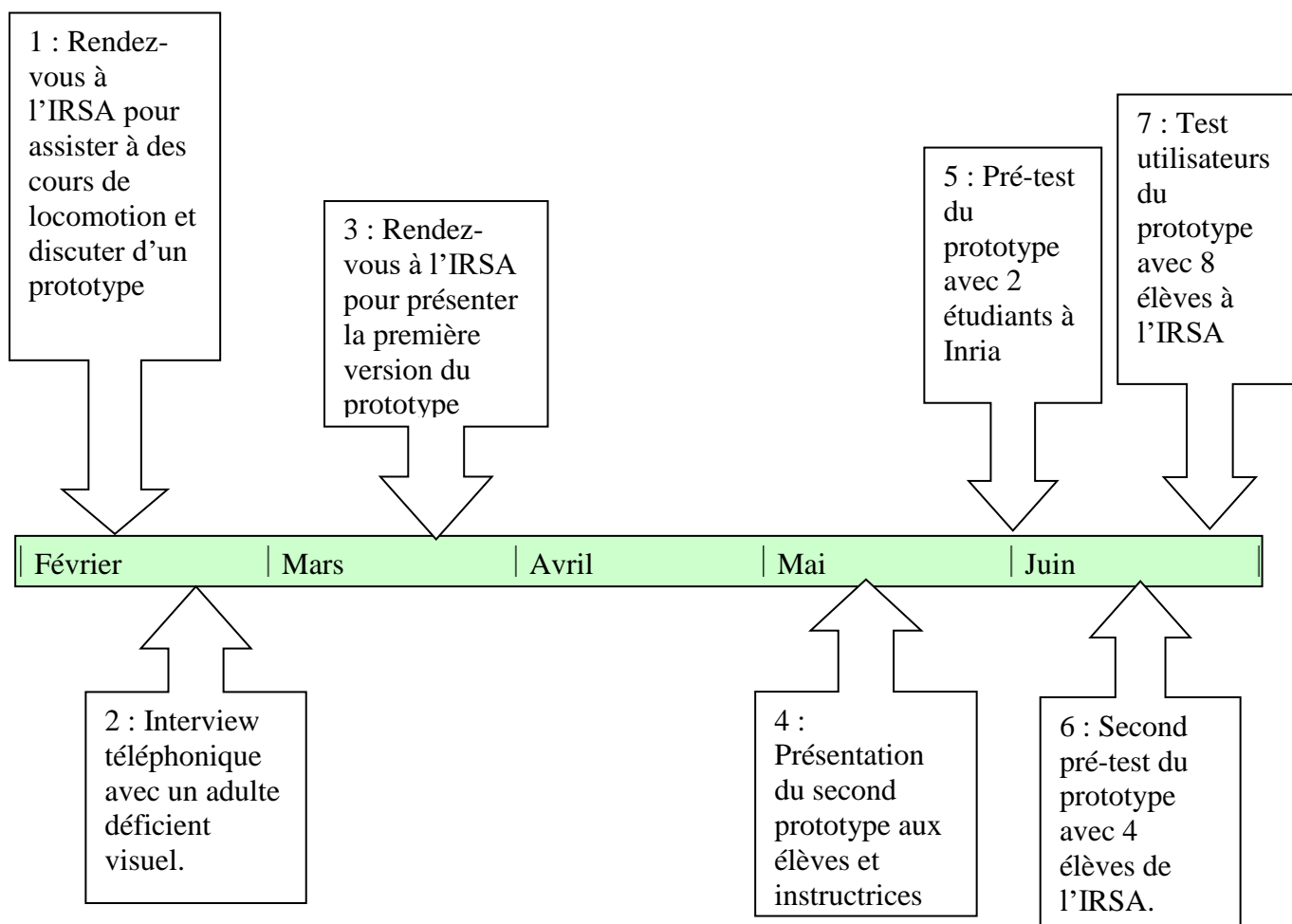


Figure 2 : Présentation des différents rendez-vous dans le cadre de la conception participative

cours que notre outil sera amené à être utilisé.

Nous avons eu trois réunions ou nous avons pu observer la séance de cours, mais aussi discuter de cette dernière avec les élèves et les professeurs. Une interview téléphonique avec une personne déficiente visuelle ayant auparavant suivi des cours de locomotion a également eu lieu. Grâce à cela, nous avons pu mettre en place avec elles les différents besoins et réalisé une interview quant à la solution que nous comptons leur proposer.

Le principal besoin, à savoir l'utilisation d'une carte interactive, a été mis en avant lors de la présentation des différents outils utilisés lors de ces cours. En effet, l'exploration et la construction de plans/cartes sont des phases primordiales dans l'apprentissage de la

locomotion. Cela permet aux déficients visuels de se forger une représentation mentale d'un lieu qu'il a déjà exploré ou qu'il sera amené à explorer plus tard.

Dans le cadre de l'exploration d'une carte, trois outils peuvent être utilisés. Le papier thermo gonflé est un papier à l'intérieur duquel se trouvent de minuscules capsules d'alcool. Une fois imprimé, ce papier est chauffé afin de réaliser un relief (voir Figure 3).

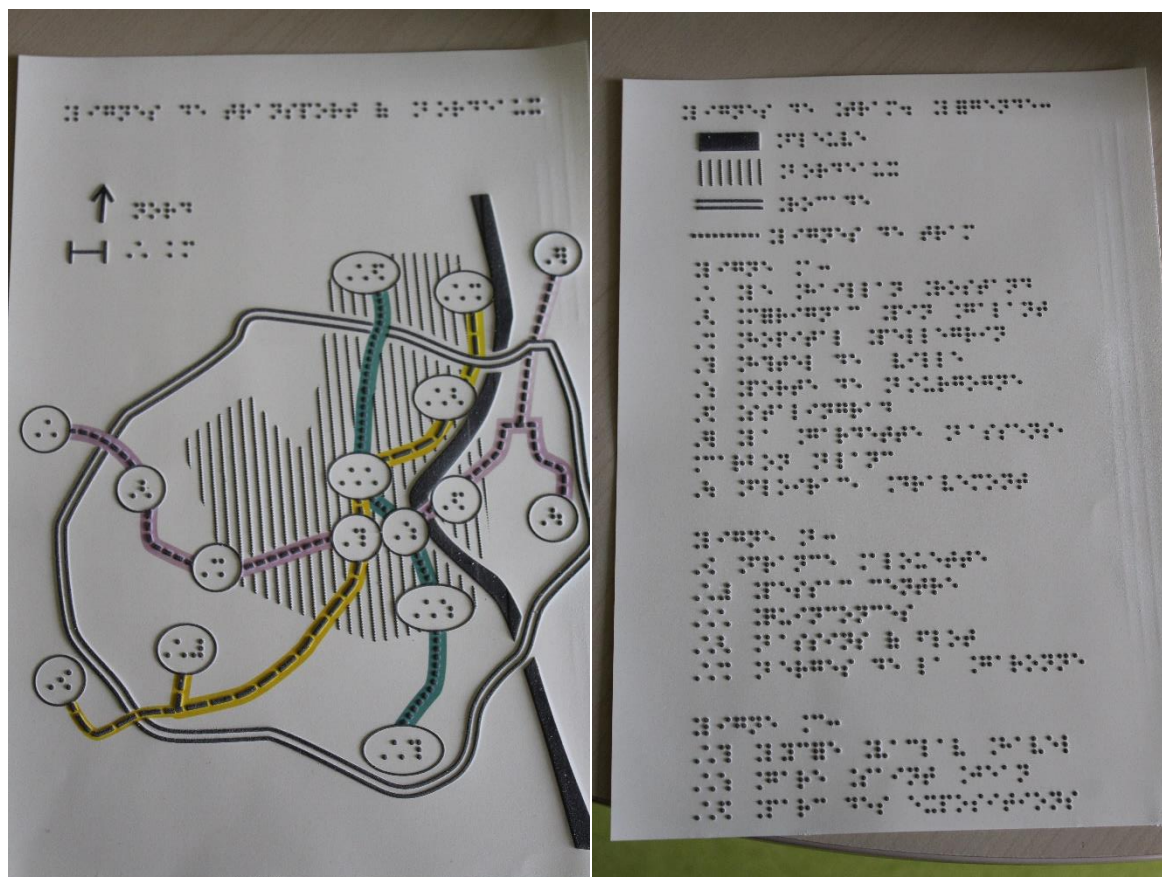


Figure 3 : Carte thermo gonflée de du réseau TBM et sa légende associée

Cependant, ce mode de représentation présente de nombreux soucis. Le premier est la limitation quant à la quantité d'information qui peut être indiquée. En effet comme on le voit il est nécessaire d'avoir une légende complètement séparée de la carte afin de pouvoir renseigner toutes les informations. Pour les élèves lisant uniquement le braille, cela implique de devoir, dans la plupart des cas, retirer ses deux mains de la carte pour aller lire la légende. À cause de cette manipulation, l'élève peut mettre du temps à retrouver l'endroit exact qu'il était en train d'explorer avant d'aller consulter la légende. De plus, la réalisation de telles cartes coûte un certain prix et il n'est pas possible de les modifier facilement. Une carte interactive peut donc être plus avantageuse qu'une carte en relief possédant une légende en braille.

Une maquette (modèle à petite échelle) peut également être un outil utilisé afin de permettre l'exploration d'un lieu.



Figure 4 : Maquette représentant un arrêt de tram de la ville de Bordeaux

La maquette utilisée à l'IRSA (Figure 4) permet de travailler sur la structure d'un arrêt de tramway. Les critiques à ce genre de système sont les mêmes que pour la feuille thermo gonflée, le temps de réalisation peut être élevé et, une fois créées elles sont figées dans le temps.

La construction d'une carte quant à elle passe aussi par l'utilisation de deux outils différents. Le premier, est une plaque aimantée, sur cette dernière les élèves peuvent construire grâce aux indications de l'instructeur, un lieu qu'ils vont ou ont déjà visité avec des aimants de différentes tailles (voir Figure 5).

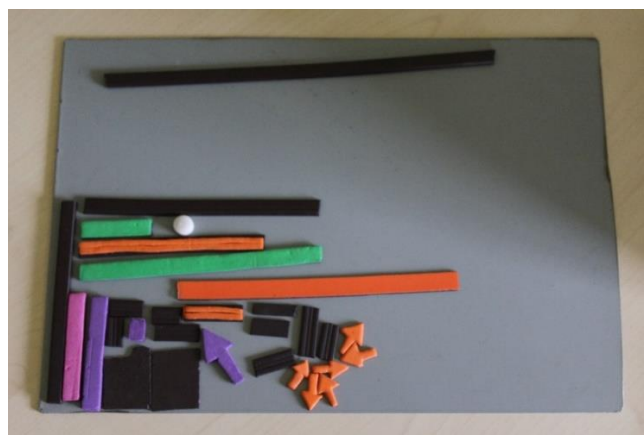


Figure 5 : Plaque aimantée et aimant

Le second outil utilisé est, une feuille DYCEM. Il s'agit d'une feuille de papier transparente où lorsque l'on dessine dessus grâce à un stylo, le tracé se ressent en relief. Cela en fait un très bon outil pour permettre en élèves de dessiner une carte.

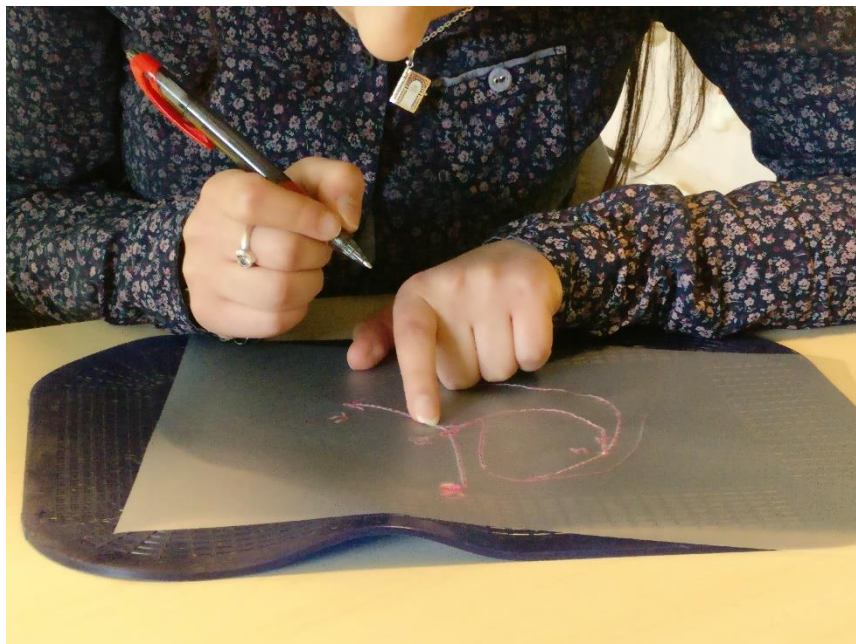


Figure 6: Élève déficiente visuelle dessinant sur une feuille DYCEM

Cependant, ces deux outils de construction présentent aussi des limites. Le premier est l'espace limité. En effet, la plaque aimantée tout comme la feuille DYCEM sont limitées en termes de taille et peuvent donc empêcher des réalisations complexes. Le second est que la construction réalisée par les élèves ne correspond pas forcément à la réalité, en particulier en ce qui concerne les proportions. En revanche l'un des plus gros avantages de la plaque aimantée est que cette dernière peut être amenée lors des déplacements. Cela permet l'utilisation d'un tel système directement à l'extérieur. À partir de toutes ces observations et d'une phase de brainstorming avec les professeurs (voir le compte rendu de réunion en Annexe 8 : Compte rendu de la réunion du 20 février 2017 , nous avons défini plusieurs objectifs pour le prototype :

- Création de deux modes permettant l'exploration ou la construction d'une carte
- Mettre en place des retours audios afin de rendre possible l'interaction avec le système
- Faire en sorte que la carte explorée ou construite soit le plus proche possible de la réalité.

4. Planning

Dans la cadre de la réalisation de ce projet, un planning prévisionnel a été mis en place relativement tôt afin de permettre de se situer au cours de ce dernier. Ce planning a été énormément modifié suite aux différentes réunions faites dans le cadre de la démarche de conception participative, et suite aux contraintes des différentes parties impliquées dans ce projet.

De façon plus concrète, ce planning pouvait se découper en quatre trois périodes distinctes :

- Une première période de prise en main de l'outil au cours de laquelle j'ai développé un logiciel affichant simplement une carte sur laquelle il était possible d'ajouter des informations.
- Puis, suite à différents jalons où j'allais présenter ce prototype à notre partenaire, l'IRSA, j'avais prévu de commencer à développer un premier puis un second prototype en tenant compte des besoins exprimés suite à ces présentations.
- La troisième période aurait été une période de tests utilisateurs afin de valider notre réalisation.

Voici la première version du planning réalisé peu après avoir commencé le stage :

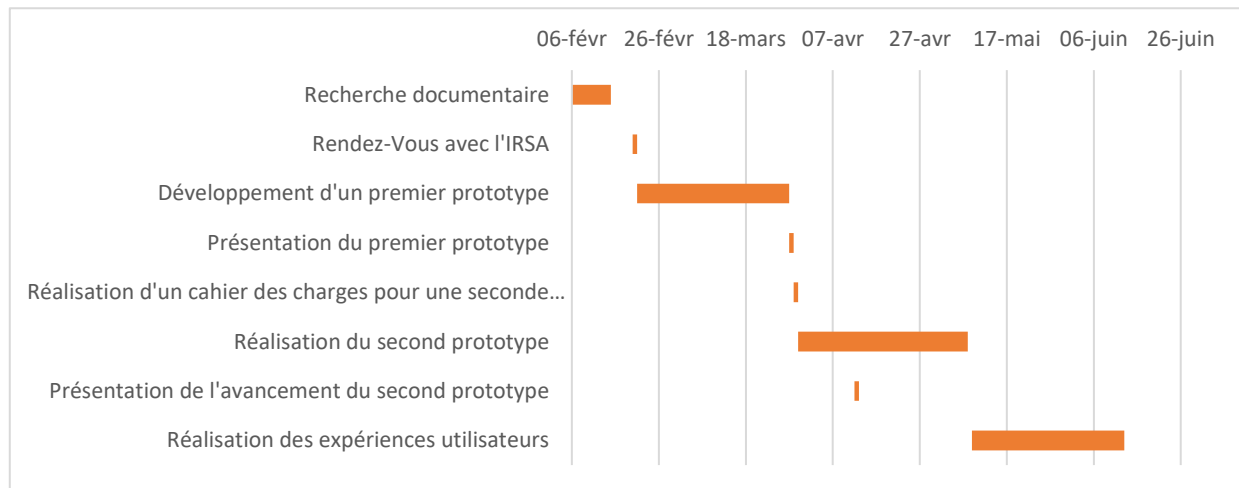


Figure 7: Planning prévisionnel du stage

Ce planning a été modifié de nombreuses fois suite aux différentes réunions que nous avons eues avec l'IRSA. La version finale du planning est disponible en annexe 7.

V. Réalisations

1. PapARt et la réalité augmentée spatiale

PapARt est un système développé par Jérémie LAVIOLE, ancien doctorant de l'équipe Potioc au cours de sa thèse : « Interaction en réalité augmentée spatiale pour le dessin physique » (Jérémie Laviolle, 2013). Cet outil permet de façon relativement simple de développer des applications en réalités augmentées. Pour rappel la réalité augmentée peut se définir comme une interface entre des données virtuelles et le monde réel. L'objectif premier voulu lors du développement de cet outil était de pouvoir permettre à une souhaitant apprendre à dessiner de réaliser des dessins tout en ajoutant virtuellement des informations grâce à la réalité augmentée spatiale.

Afin de permettre la mise en place d'une interaction en réalité augmentée, PapARt est composé de 3 outils différents contenus dans sa « tête » (voir Figure 8).

Le premier est un vidéoprojecteur, l'objectif de ce dernier est de projeter les informations virtuelles sur la surface de travail, généralement une surface plane comme une table ou un bureau.

La seconde partie du système est une caméra de profondeur. Actuellement il s'agit d'une caméra Kinect développée par Microsoft. Cette caméra utilise des capteurs de profondeur en 3D afin d'évaluer les distances entre les différents objets dont elle dispose dans son champ de vision. Dans le cadre de l'utilisation de PapARt, l'objectif de cette caméra est de pouvoir détecter les interactions avec ce qui est projeté. En effet, en détectant la position des doigts ou d'un doigt dans « l'écran » qui est projeté par le vidéoprojecteur, il devient alors possible d'ajouter des interactions avec le système.



Figure 8: Version 2 du système PapARt

La dernière partie composant PapARt est une webcam. L'objectif de cette webcam est double. Le premier est la reconnaissance de QR Codes. Ces derniers sont utilisés afin de délimiter des surfaces d'interactions.

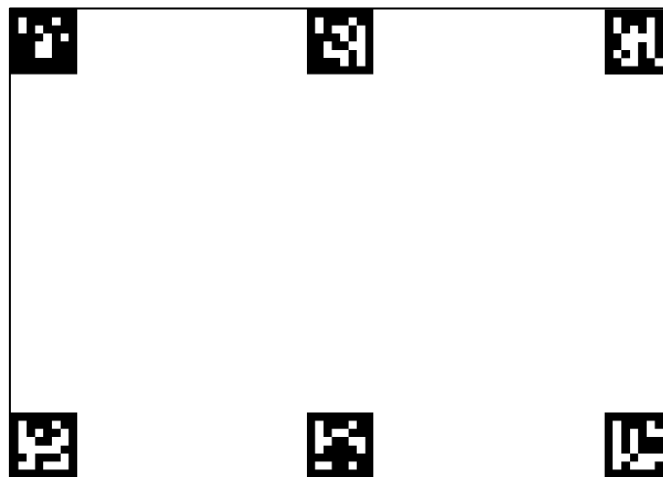


Figure 9 : Feuille délimitant une surface d'interaction avec des QR Codes

Par exemple, grâce à la feuille mentionnée précédemment, PapARt créera un espace de travail à l'intérieur de cette dernière. Il sera possible d'y projeter des informations et d'interagir physiquement au système grâce à cette dernière. Mais, cela permet également d'avoir une surface de travail dynamique. En effet, comme le système va chercher en temps réels la position des différents QR Codes, si ces derniers sont déplacés, l'affiche sera mise à jour en

temps réel. Il est donc tout à fait possible de faire effectuer une translation ou une rotation à notre espace de travail à n'importe quel moment.

La webcam sera également utilisée pour détecter des couleurs et ainsi obtenir la position d'objets colorés au sein du champ de vision de la caméra.

L'ensemble de ces outils contrôlés par un ordinateur permet donc la mise en place d'un système de réalité augmentée spatiale. De plus il est important de noter que le système d'exploitation utilisé est un système Linux, c'est un élément à prendre en compte lorsque l'on souhaite développer des applications avec Papart. Comme précisé plus haut, l'objectif premier du développement de PapARt était de mettre en place du dessin augmenté (voir Figure 10). Cependant, les utilisations d'un tel système peuvent être plus variées.



Figure 10 : Dessin augmenté grâce à l'utilisation de Papart

Dans le cadre de son stage au sein de l'équipe Potioc, Julia Chatain a réalisé une carte interactive en utilisant PapARt (voir Figure 11) et la réalité augmentée spatiale. Dans son projet elle a ainsi pu utiliser l'ensemble des fonctionnalités de PapARt afin de créer une carte interactive, soit en utilisant les fonctionnalités liées à la détection des doigts, soit en utilisant par exemple la détection de couleur (Chatain, Demangeat, Brock, Laval, & Hachet, 2015).



Figure 11 : Carte interactive réalisée grâce au système Papart

2. Réalisation de la base du prototype de carte interactive

Comme nous venons de le voir, PapARt est un outil puissant permettant de réaliser de nombreuses actions à partir d'informations projeté visuellement dans notre espace de travail. Cependant dans le cadre du projet, notre prototype sera destinée principalement à des personnes présentant des déficiences visuelles pouvant aller jusqu'à la cécité complète. Il nous a donc fallu intégrer différentes solutions afin de permettre aux futurs utilisateurs de pouvoir interagir avec notre système.

a. Mise en place des interactions avec notre prototype

Dans cette partie, nous présenterons les différentes solutions mises en place afin de permettre l'implémentation de ce qui constituera la base de notre prototype.

Le premier élément sur lequel nous avons décidé de nous pencher concernait la façon dont les futurs utilisateurs allaient interagir avec notre prototype. Plus précisément nous avons travaillé sur la façon dont l'outil allait pouvoir leur donner des retours sur les différentes actions entreprises. Nous ne pouvions bien sûr que très peu nous reposer sur des retours visuels, une partie des futurs utilisateurs étant atteints de cécité ou de malvoyance. Nous avons donc décidé de mettre en place des retours audios sur les différentes actions des utilisateurs. Pour cela, nous avons décidé de mettre en place un retour TTS (Text-To-Speech) dont le rôle est de convertir un texte en un fichier audio qui en lira le contenu.

Dans un premier temps nous avons utilisé un logiciel de synthèse vocal gratuit et disponible dans de nombreuses langues : MaryTTS⁴. Son fonctionnement simple nous a amenés à

⁴ <http://mary.dfki.de/>

pouvoir l'implémenter rapidement au sein de l'outil et de pouvoir implémenter les premiers retours.

Cependant, lors des premiers tests réalisés avec quatre étudiants (étape 3 sur la timeline de la Figure 2) nous avons eu des critiques sur la voix utilisée. Cette dernière était perçue beaucoup trop robotique et, dans un certain nombre de cas beaucoup trop difficiles à comprendre, en particulier lorsque le texte lu était relativement long. Nous avons donc pour la suite réalisée un nouvel état de l'art afin de sélectionner plusieurs voix sur différents critères qui nous semblaient pertinents (voir Tableau 1). Par exemple, internet n'étant pas forcément disponible dans les lieux où sera placé le prototype, le fait de pouvoir s'en séparer est d'une grande importance.

Nom	Prix	Besoin d'accéder à Internet	Compatible avec Linux	Langues multiples ?	Remarque
Acapela	1000€/an pour la licence de développement. Puis l'achat de la licence pour distribuer le logiciel final	Non	Oui	Grand nombre de voix et de langues différentes	
Nuance	Non indiqué	Non	Non indiqué	30 langues et 70 voix différentes	Il s'agit de Loquendo TTS un système de synthèse vocale qui est vendue avec un système de reconnaissance en plus.
MaryTTS	Gratuit	Non	Oui	Nombreux fichiers de langues disponibles	Voix perçue beaucoup trop robotique par les utilisateurs cibles
Google	Gratuit	Oui	Oui	Nombreuses langues disponibles	Il s'agit de l'API de TTS de Google.
Svoxpico	Gratuit	Non	Oui	Une voix française et deux voix anglaises	Voix très agréable à entendre. Il s'agit du moteur de synthèse vocale utilisé par Google sous Android.

Tableau 1: Tableau de comparaison de différents systèmes de TTS (Test-To-Speech)

À la suite de l'élaboration de ce tableau, nous avons décidé d'utiliser le système TTS Svoxpico. Malgré sa gratuité, la voix utilisée nous a semblé plus agréable et compréhensible à l'écoute. Cela s'est vérifié suite aux avis positifs sur cette dernière lors des différents tests du prototype. De plus, la compatibilité avec le système d'exploitation Linux sous lequel

fonctionne PapARt et la non-nécessité d'avoir Internet pour son fonctionnement sont des arguments de poids.

En plus d'une voix fluide et compréhensible, plusieurs points ont été mis en avant pour être intégrés au prototype. Les élèves habitués à la lecture de texte audio grâce à différentes technologies de lecteur d'écran nous ont demandé la possibilité de pouvoir régler deux paramètres concernant la voix. Le premier est la vitesse de cette dernière : lors de texte relativement long, ils souhaitent pouvoir accélérer la voix afin de pouvoir entendre le texte le plus rapidement comme ils le font avec des lecteurs d'écran. Le second est la hauteur de la voix, ce paramètre permet de modifier la tonalité du texte qui sera lu afin d'améliorer le confort d'écoute.

Il nous a fallu également réfléchir à la façon dont les élèves allaient pouvoir interagir avec le système. Utiliser une interface informatique et donc projeter par PapARt était possible, mais beaucoup trop contraignant quant à son utilisation avec des personnes non voyantes. Nous avons donc imaginé deux solutions afin de pouvoir leur permettre d'interagir avec le système.

La première est l'utilisation d'un STT, Speech-To-Text, il s'agit d'un logiciel réalisant l'opération inverse du TTS utilisé précédemment. Il s'agit d'un outil permettant, grâce à un micro, de recueillir des informations et si cela est possible de les traduire sous forme de texte. Les deux exemples les plus connus de systèmes de STT sont les assistants Siri et Cortana des sociétés Apple et Microsoft.

La seconde méthode imaginée pour permettre l'interaction avec notre outil est la création d'un système physique de bouton imprimé en 3D.

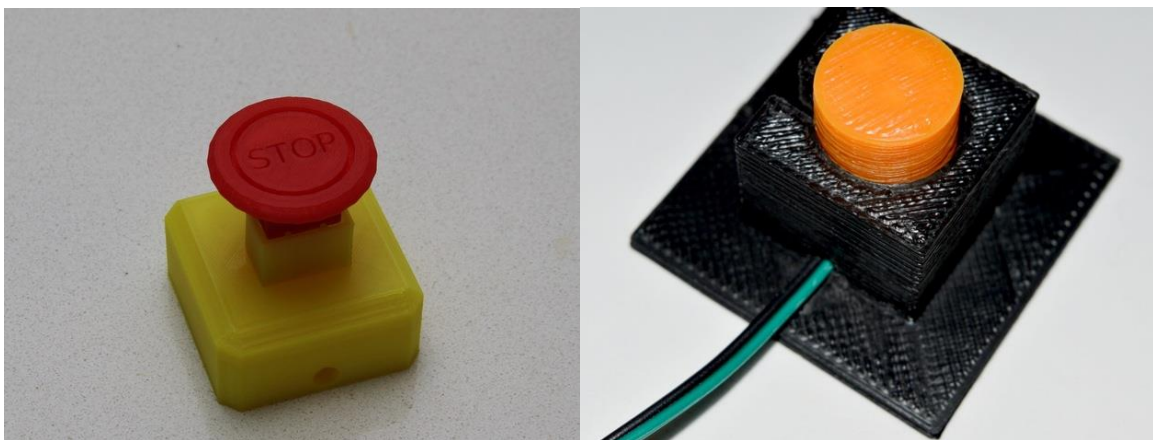


Figure 12 : Exemple de boutons imprimés en 3D

L'idée mise en avant ici est de réaliser ici un système électronique composé de plusieurs boutons reliés à PapARt. En fonction du bouton qui serait actionné, le système réaliserait une action. Chaque bouton serait identique dans sa structure et ne serait différent que par la texture sur la face supérieure de ce dernier afin qu'il puisse être facilement différencié.

Après avoir présenté ses deux solutions pour interagir avec notre système nous avons eu des réactions à la fois bonnes et mauvaises sur les deux idées. Nous avons donc décidé d'implémenter les deux solutions dans notre système avec la possibilité de choisir celle que l'on désire utiliser. Actuellement aucune des deux solutions n'est implémentée et l'interaction se fait grâce à certains boutons reconnaissables d'un clavier. Cependant au l'ajout de ces deux fonctionnalités est envisagé dans un futur proche.

b. Représentation des données de la projection

Afin de proposer un prototype permettant de réaliser une carte interactive, il a également fallu réfléchir à la façon dont nous allions représenter les données d'une telle carte au sein de notre système. La représentation d'une carte va donc être représentée par deux fichiers différents au sein de notre système : un fichier image et un fichier contenant des données vectorielles (SVG). Le SVG est un format de données qui a été conçu pour représenter des images au format vectoriel et qui est basé sur le système de fichier XML.

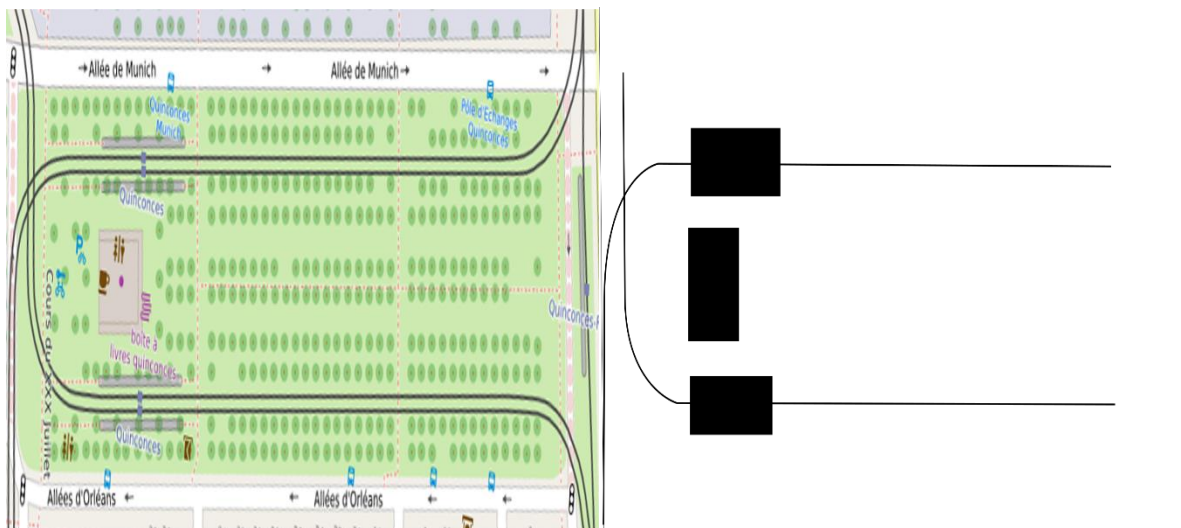


Figure 13: Fond de carte (tiré de OpenStreetMap) et le fichier au format SVG créé manuellement qui lui est associé

Le fond d'une carte (voir Figure 13) sera tout simplement une image qui sera projetée par notre système. Même si elle n'est pas forcément lisible pour tous les élèves qui utiliseront

notre prototype, il s'agit d'une composante importante pour les instructeurs qui travailleront avec eux.

Le fichier SVG quant à lui contiendra toutes les informations que ne peut pas contenir le fond de carte. Il contiendra bien entendu les positions des différents éléments de la carte avec lequel on souhaite que l'élève interagisse, mais également des informations qui seront par exemple lues par notre système. Par exemple, le fichier SVG pourra contenir les descriptions sous forme de texte des différents éléments qui le composent (voir Figure 14). L'idée sera que les professeurs choisissent le contenu de ces fichiers SVG en fonction des informations qu'ils souhaitent transmettre aux élèves.

```
<path
  style="fill:none;stroke:#000000;stroke-width:0.26458332px;stroke-linecap:butt;stroke-linejoin:miter;stroke-opacity:1"
  d="m 302.79345,87.94808 -4.91818,33.36061 52.46346,0.4287 z"
  id="path4514"
  inkscape:connector-curvature="0">
<desc
  id="desc4524">Paté de maison triangulaire</desc>
<step>3</step>
<narrative>
Bravo ! la première partie du trajet est finie ! Loco doit désormais se déplacer à pied pour rejoindre
Motion :
Entre l'arrêt de tramway et le jardin Public se trouve un pâté de maison triangulaire.
Positionne le pâté de maison
</narrative>
```

Figure 14: Exemple d'une figure représenté au format SVG

Grâce au format XML, il est relativement simple d'ajouter des informations à un tel fichier. Dans la Figure 14, les 2 dernières balises (« step » et « narrative ») par exemple ont été ajoutées afin de pouvoir réaliser le mode construction de notre prototype. La balise « desc » quant à elle est déjà présente dans le format SVG et contiendra la description de la figure. Le reste sont des informations qui seront utilisées pour dessiner l'élément, ici par exemple il s'agit d'un chemin fermé représenté un polygone, et plus précisément un triangle.

Afin de pouvoir interagir avec ces données, il nous a fallu utiliser un élément physique afin de définir une zone de projection. Pour cela, nous utilisons une feuille au format A3 présentant différents QR Code (voir Figure 9). C'est à l'intérieur de cette feuille que sera projetée la carte et qu'il sera possible d'interagir avec cette dernière avec les doigts.

c. Boitier et token pour le prototype.

En plus de l'interaction avec notre prototype et la représentation des données de la carte, nous avons dû mettre en place une modalité supplémentaire afin de pouvoir réellement permettre aux élèves d'interagir avec notre carte interactive. En effet, uniquement projeter la carte sur

une surface plane et demander aux élèves d'interagir avec cette dernière serait difficile sans l'ajout d'informations tactiles sur notre carte. Pour cela dans un premier temps, nous avons réfléchi au type d'éléments tactiles (token) que nous pourrions utiliser pour notre prototype. Lors de nos séances de conception, nous avons observé que, pour représenter des plans, les élèves aimaient utiliser la plaque aimantée fournie par leur professeur ainsi que des aimants. En nous basant sur cette information, nous avons donc décidé d'ajouter à notre prototype une plaque aimantée et de réaliser des aimants possédant des tailles et des textures différentes en rajoutant par exemple de la mousse dessus (voir Figure 15).

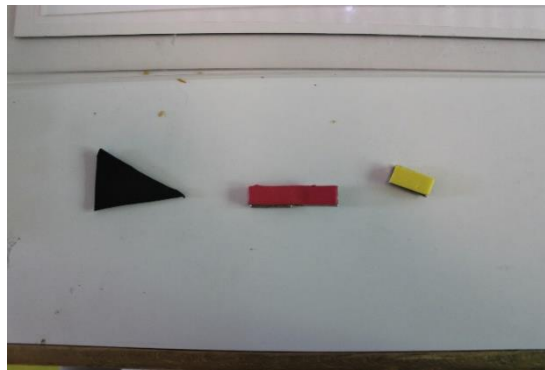


Figure 15 : Exemple d'aimants avec des formes différentes et recouvertes de mousse

Cependant, les aimants ne sont pas les meilleurs moyens pour représenter des éléments non rectilignes comme des routes ou des lignes de tramway. En effet leur dureté en fait des éléments très peu malléables et le besoin de faire correspondre notre carte interactive le plus possible à la réalité doit pouvoir permettre la réalisation d'éléments courbés. Dans un premier temps nous avons mis à disposition des utilisateurs lors des premiers tests de la pâte à modeler. Suffisamment malléable nous pensions que c'était un excellent outil pour servir d'élément tactile au sein de notre carte interactive. Malheureusement cette dernière a été difficile d'utilisation pour les utilisateurs déficients visuels. Nous avons remarqué que lors des tests utilisateurs réalisés au mois de mars (étape 3 de la timeline de la Figure 2) il leur était difficile de faire d'un tas de modeler la pâte à modeler pour réaliser des chemins sur notre carte lorsqu'il devait construire cette dernière. Après avoir discuté autour de ce souci avec les instructrices de locomotion, ces dernières nous ont présenté les Wikki Stix (voir Figure 16). Il s'agit de fil de laine entouré d'une cire colorée. Ces fils sont extrêmement malléables et, la cire qui les entoure permet, en appuyant, de les tenir fixés d'une façon relativement efficace sur notre carte.



Figure 16: Image présentant un paquet de Wikki Stix

Après avoir réalisé les premiers tests, nous avons remarqué qu'utiliser uniquement la feuille comme surface de projection pose problème lors de l'utilisation avec des non-voyants. En effet, la feuille n'est pas un élément suffisant pour déterminer tactilement la limite d'interaction de notre carte. Il n'était pas rare de voir les élèves sortir de la feuille lors de l'utilisation de notre prototype.

Pour la suite, nous avons imaginé un boîtier dont le rôle serait de contenir cette feuille et donc la surface de projection et ainsi de bien délimiter les limites d'explorations de notre prototype. Ce boîtier a été réalisé en plastique et découpé grâce à une découpeuse laser. Il est composé de deux éléments. Le premier est une simple plaque de plastique possédant des dimensions supérieures à celle d'une feuille A3. Le second est un cadre, venant se poser sur les bords de la plaque et dont les dimensions internes sont celle d'une feuille A3.



Figure 17 : Boîtier permettant de limiter la surface d'interaction

Grâce à ce système, la surface d'interaction est parfaitement délimitée et les élèves ne tentent plus d'utiliser notre système en dehors de ce boîtier. De plus, ce dernier a été pensé afin de

pouvoir intégrer directement les futurs boutons imprimés en 3D. Ceci permettra aux élèves de ne pas avoir à trop s'éloigner de la surface d'interaction afin de cliquer sur ces derniers.

3. Les Modes d'Interaction

a. Mode Exploration

Le mode exploration est la première des deux fonctionnalités que nous avons implémentées dans le cadre de la carte interactive. Ce mode permet à un étudiant d'explorer une carte en relief, grâce à différents éléments placés sur l'espace de travail. Puis d'avoir des informations grâce au retour audio intégré dans l'outil. Le principe est similaire à celui proposé par Brock et al. (Brock et al., 2015), mais avec une technologie différente : dans notre cas les appuis sur la carte sont détectés par une caméra, alors que Brock et al. utilisaient un écran tactile.

La principale problématique lors de cette étape fut de mettre en place le lien entre la position des doigts et les informations contenues dans la carte projetée. La position du doigt étant représentée par deux coordonnées X et Y, en fonction du type de forme qui permet de représenter les informations dans le fichier SVG (Figure 13) il nous a fallu développer des algorithmes permettant de savoir si le doigt était en contact ou non avec une de ces informations. Pour éviter de trop complexifier cette phase, nous avons décidé de limiter la représentation des informations à quatre formes à l'intérieur du fichier SVG :

- Chemin ouvert
- Rectangle
- Cercle
- Chemin fermé

En utilisant ces 4 types différents, il nous alors possible de représenter un grand nombre d'éléments différents sur nos cartes.

Nous avons donc dû développer différents algorithmes afin de vérifier si un doigt détecté par PapARt était bien positionné sur une information projetée. Dans le cadre d'un rectangle ou d'un cercle, l'opération est relativement simple. Il suffit de vérifier si le doigt est à l'intérieur ou non de la structure.

Dans le cadre d'un chemin, l'opération est plus délicate. Dans un dessin vectoriel, un chemin est représenté par un ensemble de points qui seront reliés entre eux. Pour savoir si notre doigt est proche ou non d'un chemin, nous avons développé un algorithme (voir Figure 18). Cet

l'algorithme va vérifier les distances entre chaque segment formé par les points du chemin et la position du doigt pour ne garder que la plus petite. Si cette distance est inférieure à une constante, on considère que le doigt est en contact avec l'information et cette dernière sera donnée vocalement à l'utilisateur.

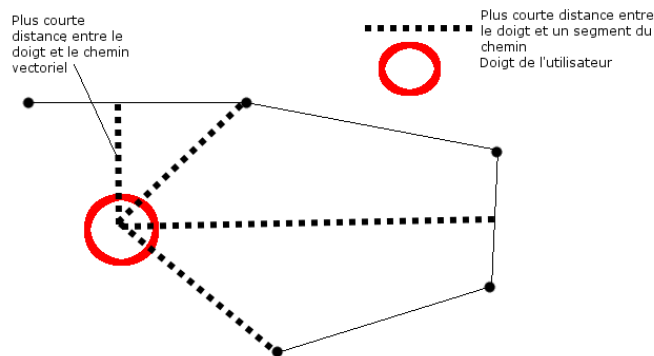


Figure 18 : Présentation du fonctionnement de l'algorithme de détection de la distance entre un doigt et un chemin

Pour le dernier type, un chemin vectoriel fermé peut être considéré comme un polygone. Pour vérifier si un utilisateur a bien positionné son doigt à l'intérieur d'une telle figure, nous avons utilisé un algorithme qui va vérifier combien de côtés du polygone traversent une droite passant par le point représentant le doigt. Si le nombre de côtés traversé est pair, le point est à l'extérieur au contraire, si le nombre est impair, le point sera à l'intérieur.

Lorsqu'un doigt est donc considéré à l'intérieur ou proche d'un élément, l'information sera donnée vocalement grâce au système de Text-To-Speech. L'information qui sera lue est celle qui est contenue dans la balise « desc » du fichier «.svg ».

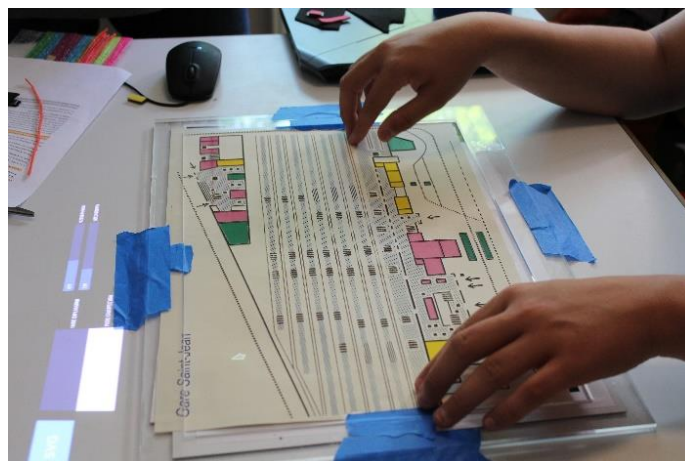


Figure 19 : Élève explorant la carte interactive de la Gare Saint-Jean après les travaux

Ainsi, il est possible pour un étudiant malvoyant ou non voyant d'explorer une carte et ainsi d'obtenir des retours vocaux sur une carte tout en s'affranchissant d'une légende en braille posé en dehors de la carte. Grâce à notre système, il est possible d'utiliser des cartes imprimées en trois dimensions déjà existantes. Il suffit de projeter les informations à la bonne échelle sur la carte physique et laisser l'élève explorer cette dernière. Cependant cette étape nécessite une excellente calibration de l'outil et un réglage plutôt précis avec que ce qui sera projeté soit parfaitement positionné par rapport à la carte en relief.

b. Mode Construction

Le mode construction est un mode de notre carte qui se veut ludique. L'objectif de cette partie est de permettre à l'étudiant de construire, étape par étape, une carte selon un scénario écrit par leur instructrice de Locomotion. Cela est intéressant dans le cadre de ces cours, en effet pour les élèves construire physiquement une carte leur permet de se faire une représentation mentale du lieu et donc de la mémoriser plus facilement. Il y a relativement peu de projets qui permettent à des élèves déficients visuels de construire une carte (Ducasse et al., 2016; Schneider & Strothotte, 2000). L'approche de Schneider & Strothotte (2000) est la plus proche de l'implémentation choisie dans notre projet.

Dans un premier temps, il a fallu mettre en place cette notion de scénario dont les différentes étapes allaient être lues à la machine. Pour cela nous nous sommes appuyés une nouvelle fois sur le fichier au format vectoriel (SVG) afin d'ajouter deux informations à chaque figure qui s'y trouve : le numéro de l'étape et la consigne associée qui sera lu par notre système. Chacune de ces étapes sera lu une à une et, pour chaque étape, l'élève positionnera un élément sur notre carte interactive afin de pouvoir dans le même temps se construire étape par étape sa propre carte mentale.

Une fois un élément tel qu'un élément tactile a été positionné par l'élève, il faut que le système vérifie si cet élément a été bien positionné ou non. Comme nous l'avons vu plus tôt, l'élève dispose de deux types d'éléments pour positionner les points d'intérêt annoncé par le système : les aimants et les Wikki Stix. Dans le mode construction, les aimants serviront à représenter des structures fermes comme des polygones ou des cercles. Les fils quant à eux seront utilisés pour représenter des éléments linéaires comme des routes ou des voies de tramway par exemple.

Dans le cas où c'est la position d'un aimant quelconque qui est utilisé, deux algorithmes ont été testés afin de pouvoir vérifier le bon positionnement de ce dernier. Le premier algorithme est basé sur du traitement d'image (voir Figure 20). En regardant les différences sur deux images prises avant et après le positionnement d'un aimant, l'algorithme en question va pouvoir déterminer les contours de l'élément qui a été ajouté. Puis en recherchant les angles présents sur ce contour, on devient alors capable de calculer le barycentre de cette forme nouvellement ajoutée. Il suffit alors de comparer la position de ce barycentre trouvé grâce à ces manipulations par rapport à la position qu'il devrait avoir pour que la carte soit correcte. Si la distance entre les deux est trop grande, le système donnera alors une ou deux directions à l'élève afin de corriger son erreur, par exemple : « Tu dois déplacer l'objet en haut à droite ».

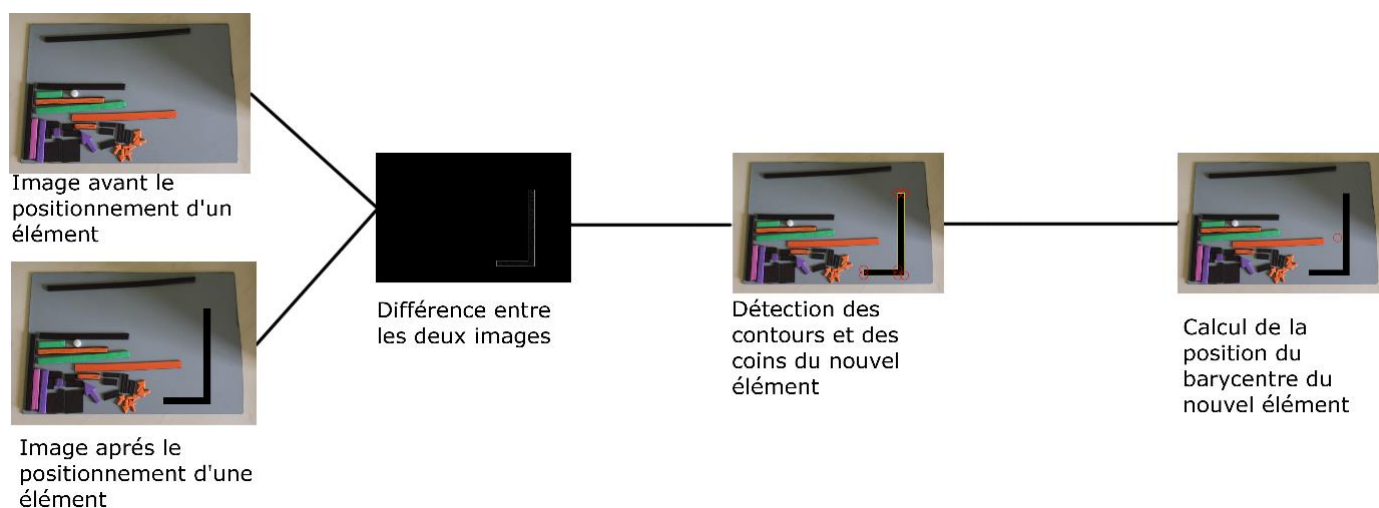


Figure 20: Déroulement de l'algorithme de détection d'un nouvel élément

Seulement cette méthode de vérification implique plusieurs contraintes. Tout d'abord l'utilisateur doit complètement retirer ses doigts de la carte pour que l'algorithme ne détecte pas ces derniers comme étant un élément rajouté. De plus, si d'autres éléments sont déplacés par inadvertance, le risque était qu'il soit détecté par erreur.

Nous avons donc imaginé un second algorithme basé sur le même fonctionnement que le mode exploration. Avec ce dernier, l'élève en doit plus que pointer du doigt l'élément qu'il vient de poser et demander au système de vérifier sa position. On va alors comparer la position du doigt de l'utilisateur et la position du barycentre attendu calculé à partir des données contenues dans le fichier vectoriel.

Ces deux méthodes présentent le même inconvénient, dans les deux cas l'orientation de l'objet n'est pas vérifiée dans l'algorithme. De plus, dans le second cas le résultat peut être

faussé si par exemple l'élève positionne son doigt au bord de l'objet. Cependant, c'est la seconde méthode qui a été gardée dans le prototype final. Cela afin de garder une cohérence quant à son fonctionnement par rapport au mode exploration, mais aussi par rapport à la vérification d'un élément linéaire.

Pour la vérification d'un objet linéaire, la même approche a été mise en place pour vérifier que l'élément est bien placé (Figure 21). Il suffit que l'élève pointe son doigt vers l'une des extrémités et demande le début de la validation. Il lui suffit ensuite de suivre du doigt l'ensemble du tracé. Un bip constant se fera entendre tant que le tracé est correct afin de donner un retour à l'utilisateur comme quoi ce qu'il effectue est correct. Si jamais le tracé et donc le doigt de l'utilisateur s'éloignent trop de la position attendue, un retour vocal lui sera donné afin de permettre à l'utilisateur de corriger le tracé.

Ainsi, étape par étape, le mode construction permet donc bien à l'élève de construire par lui-même une carte géographique à partir d'élément tactile.

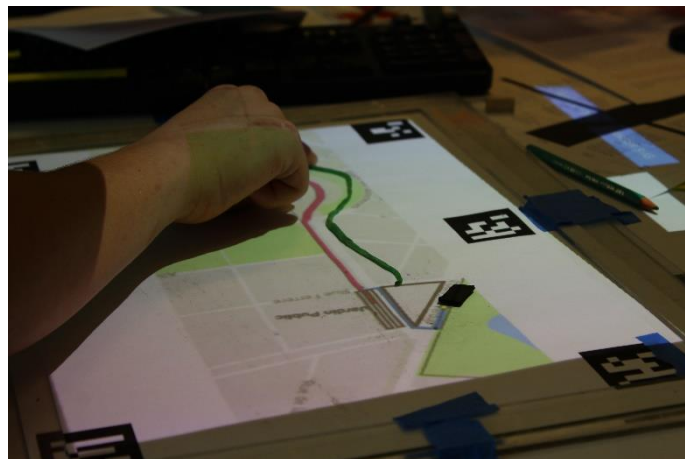


Figure 21: Construction d'une carte tactile par un élève

4. Expérimentation du prototype

Une fois les deux modes intégrés au prototype, nous avons réalisé une phase d'expérimentation grâce au partenariat avec l'IRSA. Nous avons pu réaliser ces tests utilisateurs avec huit élèves de différents âges et possédant des pathologies visuelles différentes (voir Annexe 4 : Panel d'utilisateurs :). En plus de ces 8 élèves, nous avons réalisé 6 prétests afin d'apporter des modifications finales au prototype. Deux d'entre eux ont eu lieu à Inria et les 4 autres directement dans les locaux de l'IRSA.

a. Protocole expérimental.

Afin de réaliser ces expériences, un protocole expérimental a été mis en place. L'objectif principal de ces tests était de vérifier l'utilisabilité de l'outil, mais aussi la satisfaction des utilisateurs quant à leur utilisation de notre système.

Nous avons donc mis en place un protocole d'expérimentation similaire à des études menées précédemment (Brock et al., 2015; Giraud et al., 2017) permettant de tester les deux modes de fonctionnement de notre système : le mode exploration et le mode conclusion. L'ensemble des documents relatifs à ces expériences sont disponibles dans les annexes 1 à 3.

Un premier questionnaire a été élaboré afin d'obtenir des informations personnelles sur l'élève comme son âge, le type de déficience visuelle ou encore son niveau de lecture du langage Braille par exemple. Nous avons ensuite élaboré en collaboration avec l'IRSA deux scénarios, un pour chaque mode d'utilisation. Pour chaque étudiant, nous avons contrebalancé l'ordre de tests de ces deux modes. L'objectif de cela était d'éviter de mettre en place un biais en réalisant toujours le même ordre de tests avec les utilisateurs. Au sein du panel nous avons également fait attention à avoir une répartition de femmes et d'hommes égales dans chacune des deux catégories. Nous avons souhaité cela suite à d'anciennes recherches mettant en avant le fait que la cognition spatiale était plus faible chez les femmes que chez les hommes (Linn & Petersen, 1985).

Le test du mode exploration a été réalisé à partir d'une carte thermogonflée de la carte Saint-Jean de Bordeaux après les travaux actuellement en cours. Cette carte a été réalisée par les services dédiés de l'IRSA.

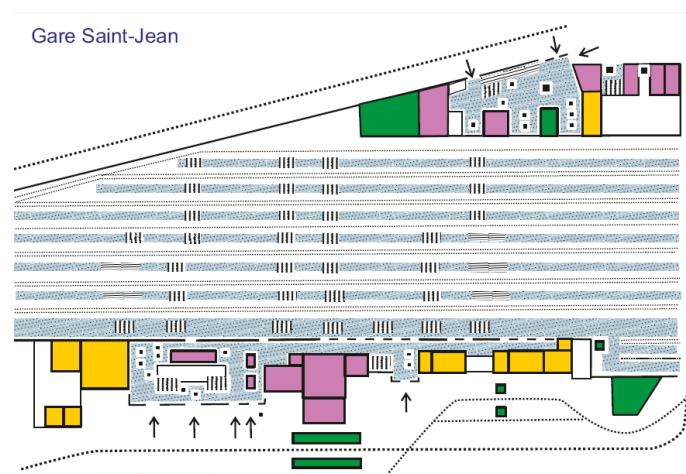


Figure 22: Plan thermogonflé de la gare Saint-Jean

Pour cette phase, nous avons dans un premier temps laissé l'élève explorer librement la carte et demandé des retours audios pendant une durée maximum de 10 minutes. Puis nous leur avons posé deux séries de questions, la première toujours avec la possibilité d'explorer la carte pour demander des informations. La seconde en retirant complètement la possibilité de consulter la carte. L'objectif de cette étape était de vérifier que l'utilisation de notre plan permettait aux différents élèves d'avoir le maximum d'information possible, mais aussi, que ce dernier leur permettait effectivement de construire une carte mentale du lieu.

Le scénario du mode exploration quant à lui a été élaboré en grande partie par les instructrices de locomotion de l'IRSA (annexe 3). Cette partie a été préparée pour ressembler le plus possible à un cours de locomotion standard tout en utilisant notre outil. L'objectif pour les élèves était donc de construire étape par étape un trajet allant de la place des Quinconces de Bordeaux jusqu'au jardin publique. Entre les différentes étapes où le système donnait les instructions et vérifiait l'élément placé par l'élève. L'institutrice intervenait afin de poser différentes questions relatives au trajet comme la façon de traverser les rails de tramway par exemple. Lors du test de ce mode, un fichier permettant de récupérer des données est généré par notre système. Pour chaque étape de la construction, le fichier contient les informations suivantes :

- La durée pour réussir l'étape
- Le nombre de fois où la consigne a été répété
- Le nombre d'erreurs de l'élève lors du placement de l'objet (le nombre de fois où le prototype indique que l'objet est mal positionné)

Ces données serviront à établir des statistiques quant au fonctionnement du mode exploration.

Une fois l'utilisation du prototype terminé, nous avons finalisé l'expérimentation avec un questionnaire divisé en trois parties (annexe 4). La première partie est un questionnaire standardisé de 10 questions, le SUS (System Usability Scale) (Bangor, Kortum, & Miller, 2008a). Composé de 10 questions, son objectif est de mesurer rapidement la satisfaction des utilisateurs avec un système informatique. La seconde partie est également un questionnaire : le UEQ (User Experience Questionnaire) (Laugwitz, Held, & Schrepp, 2008) utilisé pour mesurer l'expérience utilisateur avec un produit interactif. La dernière partie quant à elle était un questionnaire plus libre dont l'objectif était de dialoguer avec l'élève sur son expérience de façon plus ouverte.

b. Présentation des résultats

Les tests utilisateurs ont été menés sur un panel de 8 élèves (Annexe 5). Avant cela deux prétests ont été réalisés sur un panel de 2 puis de 4 utilisateurs. Les deux premiers prétests ont été réalisés en magicien d'Oz (Kelley & F., 1984), car une partie du système n'était pas encore implémentée. Ces différents prétests nous ont amenés à modifier certaines parties du scénario du mode construction (voir Annexe 3 : Protocole d'expérimentation, mode Construction, mais aussi à modifier le questionnaire du mode exploration (voir Annexe 2 : Protocole d'expérimentation, mode Exploration. Cette partie traitera en pour l'essentielle des résultats des tests de satisfaction. Les différentes informations enregistrées par le système lors de la phase de construction n'ayant pas pu encore être étudiées de façon précise.

Concernant le SUS réalisé dans la première partie du questionnaire de satisfaction les résultats précis se trouvent en annexe 6. Le SUS est un questionnaire donnant une valeur comprise entre 0 et 100. Cette valeur peut servir à noter l'acceptabilité de notre système comme proposé par Bangor et al. (2008) et montré dans Figure 23.

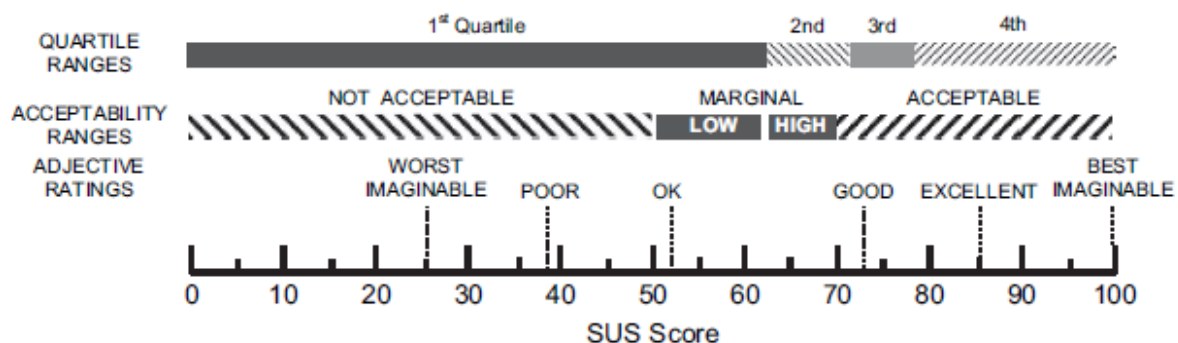


Figure 23: Comparaison de la moyenne du score du test SUS par rapport aux quartiles, à des adjectifs et à l'acceptabilité du système (Bangor, Kortum, & Miller, 2008b)

Concernant l'acceptabilité de notre système, la note moyenne obtenue est de 74,375 (écart type : 14.27). En se basant sur l'échelle de la Figure 23, l'acceptabilité de notre système se trouve notée comme haut. De même ce dernier reçoit l'adjectif de bon, ce qui semble être une

bonne nouvelle.

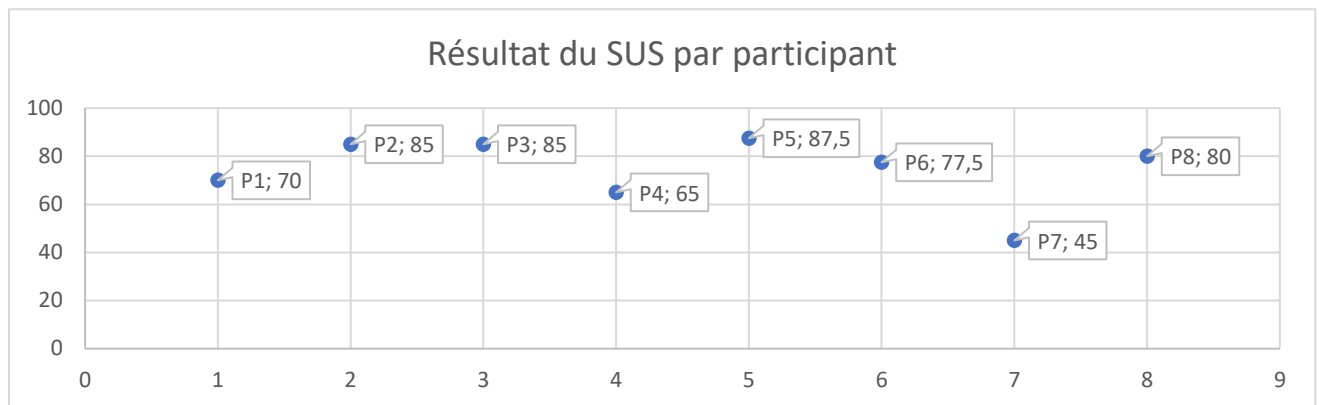


Figure 24 : Résultat du SUS pour les participants

Cependant en regardant la valeur minimum obtenue lors de ce test, 45, on remarque que cette dernière est vraiment faible comparée aux autres et peut expliquer l'écart type important. Cette note seule catégorise notre système de « pauvre » ce qui peut montrer la présence de problème dans ce dernier. Cependant afin d'appuyer cette valeur il peut être intéressant de la comparer à celle obtenue lors du second test réalisé : le UEQ.

Le UEQ quant à lui va permettre de noter notre prototype selon six caractéristiques :

- L'attraction
- La compréhensibilité
- L'efficacité
- La Contrôlabilité
- La stimulation
- L'originalité.

Cependant, avant d'étudier concrètement les résultats de ce test UEQ, nous avons réalisé une comparaison entre les deux populations : celle ayant commencé par le mode de construction puis fini par le mode exploration et celle ayant fait l'inverse. Pour cela nous avons réalisé un T-test sur chacune des caractéristiques de l'UEQ et nous n'avons remarqué aucune différence significative entre les deux populations. Voici pour chacun des objets la valeur retournée par le T-Test et qui montre bien l'absence de différence significative :

- Attraction : 0.74
- Compréhensibilité : 0.65
- Efficacité : 0.53

- Contrôlabilité : 0.34
- Stimulation : 0.89
- Originalité : 0.12

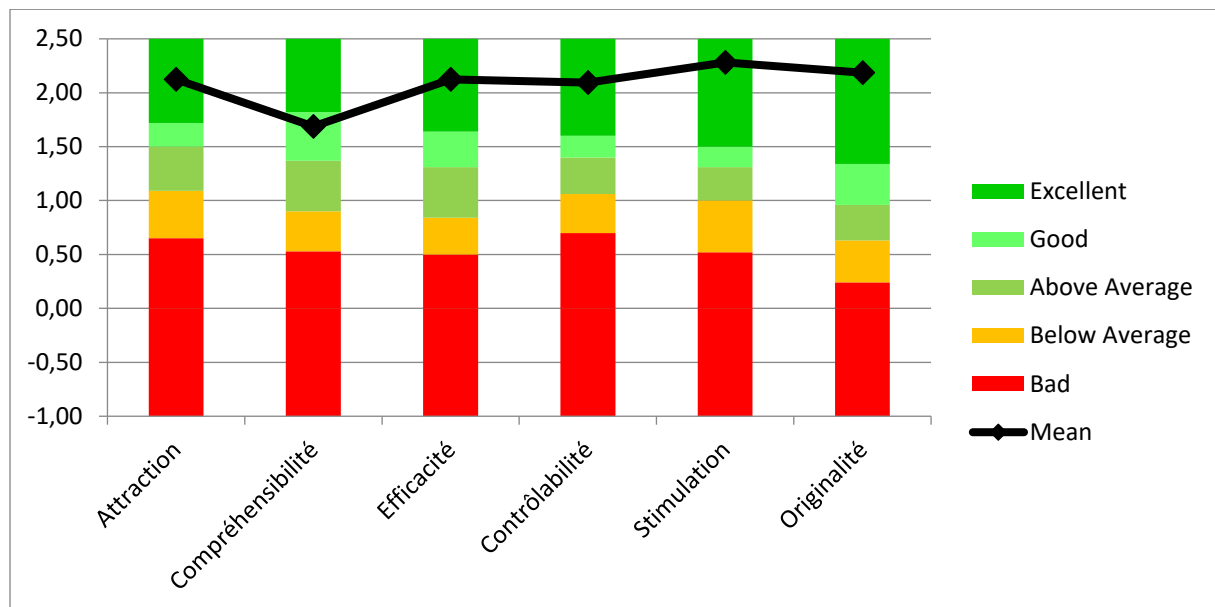


Figure 25: Résultat du test UEQ du prototype

En regardant les différentes notations obtenues par ce test on remarque que la quasi-totalité des caractéristiques est bien notée par les utilisateurs. Seule la compréhensibilité semble poser un réel problème, ce qui rejoint les différentes remarques que nous avons concernant la voix utilisée qui pour certaines personnes n'était pas forcément très claire.

Le UEQ permet également de vérifier la consistance des réponses des utilisateurs (annexe 7). On remarque que l'avant-dernier participant (P7) possède un nombre élevé de réponses contradictoires au cours du test. Il s'agit du même élève dont le test SUS a mis en avant la note la plus basse. Après avoir discuté avec les instructrices de locomotions il semblerait que cette élève dispose d'une déficience cognitive, ce qui peut expliquer les contradictions lors du UEQ ainsi que la faible note due SUS.

D'un point de vue qualitatif, nous avons remarqué certains soucis dans le cadre d'utilisation de notre prototype. Tout d'abord la détection des doigts n'est pas extrêmement précise. Il arrive parfois un écart d'environ un centimètre en la position réelle du doigt et la position détectée par le système. La voix bien que possédant une meilleure qualité que la première utilisée ne semble pas être comprise par tous les utilisateurs du premier à la première écoute. Il pourrait être intéressant de tester encore d'autres voix ou de donner la possibilité de ralentir celle que nous utilisons déjà afin d'améliorer la compréhensibilité.

VI. Étude de marché

Aujourd'hui il existe nombre d'entreprises qui fournissent des outils pour les personnes déficientes visuelles sur le marché. Ces entreprises peuvent fournir des outils physiques par exemple les cannes blanches, indispensable à la locomotion pour certaines personnes. D'autres entreprises vont être plus spécialisées dans des outils numériques comme des lecteurs d'écran (JAWS pour Windows par exemple).

Cependant, dans la cadre de l'apprentissage de la locomotion, très peu d'entreprises fournissent des solutions et il n'est pas rare que les instructeurs doivent eux-mêmes créer leurs propres outils. Ceci est encore plus vrai pour les cartes interactives. Aujourd'hui nombre d'entre elles ne sont que des projets de recherche qui ne sont pas commercialisés.

C'est dans ce contexte précis que se trouve l'intérêt de l'outil que nous avons développé au cours de ce stage. Le public visé n'est pas à proprement parler les personnes déficientes visuelles, mais plutôt les structures d'accueil qui utiliseront ce type de carte. En France, 30 établissements accueillent des déficients visuels et pourraient éventuellement être intéressés par l'achat d'un tel prototype. Cependant d'autres structures plus communes liées à l'éducation comme des écoles, collèges ou lycées pourraient vouloir acquérir un tel produit ce qui en fait un marché plutôt prometteur. De plus ce projet étant un projet européen, il pourrait y avoir une très forte possibilité d'exporter ce produit en dehors de la France en ajoutant différentes langues.

Afin de pouvoir cependant assurer la faisabilité opérationnelle du produit, il convient cependant de prendre en compte le prix de ce dernier. Le prototype est composé de trois parties comme nous l'avons vu dans ce rapport : PapARt pour la réalité augmentée, le boîtier pour délimiter l'espace d'interaction et le logiciel comprenant les modes d'explorations et de construction. PapARt est actuellement vendu par une startup bordelaise Reality Tech⁵ pour un prix avoisinant les 2000€. Pour de nombreux établissements, cela représente un investissement non négligeable et il convient de le prendre en compte si l'on désire commercialiser le produit. Une idée serait par exemple de laisser le code source la partie logiciel libre et gratuitement disponible. Cela rentre la politique d'Inria concernant les logiciels libres. On pourrait par contre imaginer la possibilité de commercialiser pour un prix raisonnable le boîtier.

⁵ <http://rea.lity.tech/fr/>

VII. Analyse des enjeux « Développement Durable » et « Responsabilité Sociétale »

Inria est un institut extrêmement engagé dans ces deux domaines que sont le développement durable et la responsabilité sociétale.

Au niveau international, l'institut dispose d'une « commission nationale développement durable » dont l'objectif est de définir un plan pluriannuel. Dans chaque centre on retrouve des « commissions locales du développement durable » dont l'objectif est de mettre en œuvre des préconisations tout en intégrant les spécificités de chaque site. Dans le cadre du centre Bordeaux Sud-Ouest par exemple, au vu du grand nombre de gobelets en plastique utilisés chaque jour au sein du centre, des éco-cup ont été misent à disposition des employés. Remises gratuitement, à condition de s'en servir le plus possible.

Parmi les autres gestes préconisés par Inria, on peut également citer le fait de favoriser l'utilisation de transports en commun. En effet afin d'inciter les employés à venir par exemple en bus ou en tramway, l'institut rembourse 50% des frais engagés sur le trajet du domicile jusqu'au lieu de travail. Le tri sélectif par la mise en place de poubelles différentes est également un enjeu majeur pour le laboratoire.

D'un point de vue responsabilité sociétale, Inria s'est engagé dans une vaste campagne afin de limiter les risques professionnels. Le CLHSCT (Comité Local d'Hygiène, de sécurité et des conditions de travail) travaille dans ce sens. Il s'agit d'un comité dont les membres sont formés aux différentes méthodes et procédés à mettre en œuvre pour limiter les risques. Afin de limiter les risques au sein des instituts, des consignes de sécurités, mais aussi des fiches de risques contre les principaux risques ont été créées afin d'informer les employés. De plus, si un employé repère un risque il lui est possible de le signaler grâce à deux registres différents : le SST (Santé et Sécurité au Travail) et le DGI (Danger Grave et Imminent). Si malgré toutes ces préventions un accident a lieu, chaque centre est équipé de plusieurs trousse de secours. De nombreux agents sont également formés aux gestes de premiers secours et sont à même de prodiguer les premiers soins en attendant les secours.

Dans ce domaine de la responsabilité sociétale, Inria s'investit en plus en réalisant différents projets de recherche. Celui réalisé au cours de mon stage entre parfaitement dans cette catégorie. En effet, le public visé par la réalisation de ce prototype, mais aussi par la démarche

mise en place lors de son développement montre bien l'implication de l'institut et plus particulièrement ici l'équipe Potioc dans une dynamique d'enjeux sociétale.

VIII. Conclusion

Les expériences réalisées lors de la fin du test mettent en avant un prototype qui a rempli une grande partie des objectifs qui lui ont été fixés. Les différentes réalisations semblent conformes à la plupart des attentes des élèves et pour la suite un questionnaire sera distribué aux instructrices de locomotion ainsi qu'aux membres du personnel ayant assisté aux tests utilisateurs afin de savoir si le prototype répond également à leurs attentes.

Ce stage m'a permis de me confronter pour la première fois à un système permettant de réaliser des applications en réalité augmentée et de développer avec ce dernier. Cette prise en main a par ailleurs été le principal problème rencontré au début du stage, mais qui a rapidement été résolu. Le besoin de créer, mais également d'adapter une technologie pour des personnes présentant une déficience a pour moi été une véritable motivation pendant ce stage.

Concrètement de nombreuses améliorations peuvent être apportées au prototype comme en témoignent les observations que nous avons réalisées lors des différentes expérimentations. On peut par exemple affiner la détection du doigt de l'utilisateur. Le prototype en lui-même n'est pas non plus entièrement fini. L'ajout des boutons tactiles ou de commandes grâce à la reconnaissance vocale sont des challenges qu'il faudra remplir par la suite. Le développement d'un outil permettant facilement aux instructeurs de réaliser les cartes pour notre prototype est également envisagé. Une dernière amélioration consistera à imaginer un moyen de rendre portables certains éléments du prototype afin qu'il puisse être utilisé en déplacement comme l'est aujourd'hui la plaque aimantée. Ces améliorations seront des éléments sur lesquels je vais continuer de travailler jusqu'à la fin de mon stage, mais également pendant une période six mois grâce à un poste d'ingénieur au sein de Inria.

Finalement ce projet s'inscrit dans le cadre du projet européen VISTE et je serai également amené à contribuer à ce projet, par exemple en créant une version anglaise du prototype, et en contribuant aux livrables du projet comme les spécifications techniques.

Bibliographie:

- Bahram, S. (2013). Multimodal eyes-free exploration of maps. *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*, (106), 3–11. <https://doi.org/10.1145/2505401.2505402>
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008a). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008b). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. A. K. Peters, Ltd. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1088894>
- Brock, A. M., Truillet, P., Oriola, B., Picard, D., & Jouffrais, C. (2015). Interactivity Improves Usability of Geographic Maps for Visually Impaired People. *Human-Computer Interaction*, 30, 156–194.
- Brock, A. M., Vinot, J.-L., Oriola, B., Kammoun, S., Truillet, P., & Jouffrais, C. (2010). Méthodes et outils de conception participative avec des utilisateurs non-voyants. *IHM'10 - Proceedings of the 22nd French-Speaking Conference on Human-Computer Interaction*, 65–72. <https://doi.org/10.1145/1941007.1941017>
- Chatain, J., Demangeat, M., Brock, A., Laval, D., & Hachet, M. (2015). Exploring input modalities for interacting with augmented paper maps. *IHM'15 - 27ème Conférence Francophone Sur l'Interaction Homme-Machine.*, 6. <https://doi.org/10.1145/2820619.2825002>
- Clergeaud, D., & Guitton, P. (2017). Pano: Design and evaluation of a 360° through-the-lens technique. In *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)* (pp. 2–11). IEEE. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2017.7893311>
- Ducasse, J., Brock, A., & Jouffrais, C. (2017). Accessible Interactive Maps for Visually Impaired Users. *Mobility in Visually Impaired People - Fundamentals and ICT Assistive Technologies*.
- Ducasse, J., Macé, M., Serrano, M., & Jouffrais, C. (2016). Tangible Reels: Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users. *Chi'16*, 2186–2197. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858058>
- Furié, D., Fleck, S., Bousquet, B., Guillet, J.-P., Canioni, L., & Hachet, M. (2017). HOBIT: Hybrid Optical Bench for Innovative Teaching. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '17* (pp. 949–959). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025789>
- Giraud, S., Brock, A. M., Macé, M. J.-M., & Jouffrais, C. (2017). Map Learning with a 3D Printed Interactive Small-Scale Model: Improvement of Space and Text Memorization in Visually Impaired Students. *Frontiers in Psychology*, 8, 930. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00930>
- Golledge, R. G., Rice, M., & Jacobson, R. D. (2005). A Commentary on the Use of Touch for Accessing On-Screen Spatial Representations: The Process of Experiencing Haptic Maps and Graphics. *The Professional Geographer*, 57(3), 339–349. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.2005.00482.x>

- Greenbaum, J. M., & Kyng, M. (1991). *Design at work : cooperative design of computer systems*. L. Erlbaum Associates.
- Kelley, J. F., & F., J. (1984). An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. *ACM Transactions on Information Systems*, 2(1), 26–41. <https://doi.org/10.1145/357417.357420>
- Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In A. Holzinger (Ed.), *HCI and Usability for Education and Work* (Vol. 5298, pp. 63–76). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9>
- Laviole, J. (2013). Spatial augmented reality for physical drawing. Retrieved from <https://hal.inria.fr/tel-00935602>
- Laviole, J., & Hachet, M. (2012). PapARt: Interactive 3D graphics and multi-touch augmented paper for artistic creation. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2012, 3DUI 2012 - Proceedings*, 3–6. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2012.6184167>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479. <https://doi.org/10.2307/1130467>
- Pielot, M., Henze, N., Heuten, W., & Boll, S. (n.d.). Tangible User Interface for the Exploration of Auditory City Maps. In *Haptic and Audio Interaction Design* (pp. 86–97). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-76702-2_10
- Pillette, L., Jeunet, C., Mansencal, B., 'Kambou, R. N., 'Kaoua, B. N., & Lotte, F. (2017). PEANUT: Personalised Emotional Agent for Neurotechnology User-Training. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01519480>
- Schneider, J., & Strothotte, T. (2000). Constructive exploration of spatial information by blind users. In *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies - Assets '00* (pp. 188–192). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/354324.354375>
- Sears, A., & Jacko, J. A. (2009). *Human-computer interaction. Development process*. CRC Press. Retrieved from https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=cIMsHX-JfyMC&oi=fnd&pg=PA121&dq=Prototyping+development+and+tools.+Lafon&ots=7rgR8oguAq&sig=PXgfYULBdwKmPCwpgqoiEgGJ_w#v=onepage&q=Prototyping+development+and+tools.+Lafon&f=false
- Ullmer, B., & Ishii, H. (1997). The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces. *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 223–232. <https://doi.org/10.1145/263407.263551>

Annexes

Annexe 1 : Fiche de familiarisation pour les tests utilisateurs

Expérience VISTE JUIN 2017 (IRSA)

Text Introduction

Vous allez participer à une expérience portant sur une carte géographique interactive et accessible sans vision.

Nous prévoyons une durée de 2h pour cette expérience au total.

Dans un premier temps, vous auriez l'occasion de vous familiariser avec le fonctionnement du prototype. Par la suite, vous allez tester deux modes de ce type de carte : un mode exploration, et un mode construction. Je vais vous expliquer par la suite ce que signifient ces deux modes. Entre les différentes phases et à la fin de l'expérience, nous allons vous poser quelques questions.

Dans cette expérience, nous voulons détecter les forces et faiblesses de notre prototype. Nous n'évaluons pas votre faculté à mémoriser des cartes ou interagir avec le prototype. Il n'y a donc pas de bons ni de mauvais participants.

Vous pourrez poser des questions à chaque moment.

Je vous rappelle que vous avez le droit d'arrêter définitivement cette expérience à tout moment, sans avoir à vous justifier.

Avez-vous bien compris ces instructions ? Voulez-vous poser des questions ?

Faire remplir le questionnaire personnel :

<https://sondages.inria.fr/index.php/737496/lang-fr>

Familiarisation

On va maintenant passer à la phase de familiarisation qui vous permet de découvrir comment interagir avec le prototype.

Explication du mode exploration

Dans le mode exploration vous pouvez explorer une carte en relief avec les deux mains comme vous avez peut-être l'habitude de le faire. Notre prototype permet de vous donner des retours verbaux sur le contenu de cette carte (par exemple les noms des points d'intérêts).

Pour ce faire pointez un seul doigt sur un élément tactile de la carte et appuyez ensuite sur la barre espace sur le clavier posé à côté de vous. Si vous posez plusieurs doigts, les retours du système ne seront pas fiables, donc il convient de mettre une main sur le clavier et garder une seule main sur la carte. Si vous voulez que les retours soient répétés, appuyez sur la barre espace.

Nous allons tester cela sur une partie du plan de tram de Bordeaux. Vous avez devant vous une partie de la ligne de tram C. Essayez d'explorer la carte et demander des informations pour les éléments tactiles

<quand il/elle y arrive bien, passer à la suite>

Explication du mode construction

Le mode de construction est un mode ludique qui vous permet de construire une carte géographique vous-même en utilisant des aimants sur une plaque aimantée ainsi que des wiki sticks. Je vais vous donner des exemples d'aimants et wiki sticks à toucher.

<Leur donner les deux à prendre en main>

Le mode construction vous guidera étape par étape selon un scénario préparé par les instructrices de locomotion de l'IRSA. C'est l'ordinateur qui vous dira si les éléments seront bien placés. Si vous avez besoin d'aide vous pouvez à tout moment demander de l'aide de notre part.

Placez d'abord un aimant qui représente un point d'intérêt. Comme dans le mode exploration, vous devez pointer sur un élément avec un seul doigt et ensuite appuyer sur la barre d'espace pour obtenir un retour vocal du système. Pensez à enlever la deuxième main de la carte.

Placez d'abord le quai du tram ligne C Quinconces en haut et au milieu du plan. Vérifiez si l'élément est au bon endroit et corrigez si besoin.

<Faire tester, si ça marche passer à la suite. S'ils placent l'élément au bon endroit immédiatement quand même leur montrer ce que ça donne si on ne place pas bien.>

Vous pouvez également vérifier des éléments linéaires, comme les routes ou voies de tram.

Les éléments seront construits par des wiki sticks. Une fois que vous avez placé un wiki sticks, vous pouvez vérifier son emplacement de la manière suivante : pointez avec un seul doigt sur le début de la ligne, appuyez avec l'autre main sur la barre espace, suivez maintenant le wiki sticks avec le doigt pointé. Tant que le système rend des sons « bip » l'élément est bien placé. Si l'élément n'est pas bien positionné, le système vous dira comment le corriger. Par exemple si le système vous dit « vous devez vous déplacer vers le haut », il faudrait déplacer le wiki sticks vers le haut. Essayez d'abord des petites corrections, jusqu'à arriver à la bonne position. Si vous voulez que les retours soient répétés, dites « répéter » à voix haute.

Placez maintenant la ligne tram C qui passe à travers le quai que vous avez déjà placé de manière horizontale. Vérifiez si l'élément est bien placé.

<Faire tester, si ça marche passer à la suite. S'ils placent l'élément au bon endroit immédiatement quand même leur montrer ce que ça donne si on ne place pas bien.>

Annexe 2 : Protocole d'expérimentation, mode Exploration

Expérience VISTE JUIN 2017 (IRSA) - Exploration

Participant ID : _____ **Date :** _____ **Heure :** _____
Order : ☐ Exploration – Construction ☐ Construction – Exploration

Vous allez maintenant tester la carte dans le mode exploration.

Pour rappel : <relire s'ils ont passé l'étape construction entre familiarisation et exploration, pas nécessaire juste après la familiarisation>

Dans le mode exploration vous pouvez explorer une carte en relief avec les deux mains comme vous avez peut-être l'habitude de le faire. Notre prototype permet de vous donner des retours verbaux sur le contenu de cette carte (par exemple les noms des points d'intérêts). Pour ce faire pointez un seul doigt sur un élément tactile de la carte et appuyez ensuite sur la barre espace sur le clavier posé à côté de vous. Si vous posez plusieurs doigts, les retours du système ne seront pas fiables, donc il convient de mettre une main sur le clavier et garder une seule main sur la carte. Si vous voulez que les retours soient répétés, appuyez sur la barre espace.

Est-ce que vous avez des questions ?

Si c'est ok : « nous allons maintenant commencer l'expérience »

Aujourd'hui nous allons découvrir la gare de Bordeaux Saint-Jean. Avant d'activer les informations vocales, je vous invite à explorer le plan qui est devant vous juste avec les deux mains. Il représente le rez-de-chaussée de la gare dans son ensemble. Dès que vous le souhaitez passez à l'étape suivante pour enclencher la légende vocale comme testé pendant la phase de familiarisation. Nous vous laisserons 10 minutes pour découvrir le plan librement, puis nous allons vous demander de répondre à une série de questions. Vous allez trouver les réponses à ces questions en explorant le plan.
 Bonne découverte !

Noter l'heure & minute ou lancer timer : _____
Arrêter l'exploration après 10 minutes !

Nous allons maintenant vous poser quelques questions sur le plan. Vous allez devoir explorer le plan avec les retours verbaux afin de trouver les réponses. N'hésitez pas d'explorer le plan dans sa globalité.

Noter l'heure & minute ou lancer timer : _____

Transports et structure générale :

Quel est le numéro de voie de train le plus élevé sur cette carte ?

☐ 10 ☐ 12 ☐ 14 ☐ 16

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

Quelle ligne de tram se trouve devant la gare ?

☐ aucune ☐ ligne A ☐ ligne B ☐ ligne C

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

De quel côté de la gare se trouve l'arrêt de la ligne de tram sur la carte ?

☐ en haut au milieu ☐ en bas au milieu ☐ à gauche ☐ à droite

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

Combien de portes d'entrée possède le hall 1 ?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

Commerces :

Combien de magasins de la chaîne « brioche dorée » est-ce qu'il y a dans cette gare ?

☐ aucun ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

Combien de toilettes est-ce qu'il y a dans la gare ?

☐ aucune ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

Lequel des restaurants suivants se trouvent dans le hall 3 ?

☐ Costa Coffée ☐ Paul ☐ Brioche Dorée ☐ Le grand comptoir

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

De quel côté du plan se trouve le bureau d'échange ?

☐ en haut à gauche ☐ en bas à gauche ☐ en bas à droite ☐ en haut à droite

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

Services :

Lequel des services ou commerces suivants se trouve au même endroit que les objets trouvés ?

☐ l'assistance voyageurs handicapés ☐ le salon grand voyageur

☐ Hema (équipement de maison) ☐ Paul

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

De quel côté du plan se trouve le salon grand voyageurs ?

☐ en haut à gauche ☐ en bas à gauche ☐ en bas à droite ☐ en haut à droite

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

De quel côté du plan se trouve l'assistance voyageurs handicapés ?

☐ en haut à gauche ☐ en bas à gauche ☐ en bas à droite ☐ en haut à droite

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ? ☐ Oui ☐ Non

Combien d'espaces d'attente est-ce qu'il y a sur le plan ?

☐ aucun ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

A besoin d'explorer la carte afin d'avoir la réponse ?

☐ Oui

☐ Non

.....
Noter l'heure & minute ou lancer timer : _____

Nous allons maintenant enlever le plan et poser quelques questions. Essayez de répondre en vous basant sur vos souvenirs. Si vous vous ne rappelez pas, il n'y a aucun souci

Annexe 3 : Protocole d'expérimentation, mode Construction

Expérience VISTE JUIN 2017 (IRSA) - Construction

Participant ID : Date : Heure début :
 Order : ☐ Exploration – Construction ☐ Construction – Exploration

Vous allez maintenant tester la carte dans le mode construction.

Pour rappel : <relire s'ils ont passé l'étape exploration entre familiarisation et construction, pas nécessaire juste après la familiarisation>

Le mode construction vous permet de construire une carte géographique vous-même en utilisant des aimants sur une plaque aimantée ainsi que des wiki sticks.

Le mode construction vous guidera étape par étape selon un scénario préparé par les instructrices de locomotion de l'IRSA. C'est l'ordinateur qui vous dira si les éléments seront bien placés. Si vous avez besoin d'aide vous pouvez à tout moment demander de l'aide de notre part.

Comme dans le mode exploration, vous devez pointer sur un élément avec un seul doigt et ensuite appuyer sur la barre d'espace pour obtenir un retour vocal du système. Pensez à enlever la deuxième main de la carte.

Vous pouvez également vérifier des éléments linéaires, comme les routes ou voies de tram. Les éléments seront construits par des wiki sticks. Une fois que vous avez placé un wiki sticks, vous pouvez vérifier son emplacement de la manière suivante : pointez avec un seul doigt sur le début de la ligne, appuyez avec l'autre main sur la barre espace, suivez maintenant le wiki sticks avec le doigt pointé. Tant que le système rend des sons « bip » l'élément est bien placé. Si l'élément n'est pas bien positionné, le système vous dira comment le corriger. Par exemple si le système vous dit « vous devez vous déplacer vers le haut », il faudrait déplacer le wiki sticks vers le haut. Essayez d'abord des petites corrections, jusqu'à arriver à la bonne position. Si vous voulez que les retours soient répétés, dites « répéter » à voix haute.

Est-ce que vous avez des questions ?

Si c'est ok : « nous allons maintenant commencer l'expérience »

Noter l'heure & minute ou lancer timer : _____

Scénario de trajet : de la place des quinconces au jardin public

Lu par un expérimentateur :

Est-ce que tu as déjà été à la place de Quinconces ?

Réponse : ☐ oui connaît bien ☐ oui, mais ne connaît pas bien ☐ non

Ton travail aujourd'hui sera de guider « Loco » qui se trouve à la station de tramway Quinconces de la ligne C, jusqu'à sa copine « Motion » qui se trouve au Jardin Public au niveau de l'entrée centrale donnant sur le cours de Verdun.

Voici ton point de départ : la station de tramway place des quinconces Ligne C.

Puis voici ton point d'arrivée : « Motion » qui est à l'entrée du Jardin Public

Eléments posés par l'instructeur prévoir les éléments en aimants et un pion orienté pour Loco

L'objectif est donc de permettre à Loco de rejoindre Motion.

Pour cela Loco va devoir effectuer un trajet composé de deux parties :

- Une partie en tramway
- Et une partie à pied.

Commençons !

Depuis le point de départ, deux directions en tramway sont possibles : en allant vers le bas sur la ligne C on va vers le centre-ville (direction Gare de Bègles). Si on va vers le haut on va direction parc des expositions.

Question 1 :

A ton avis quelle direction doit prendre loco pour retrouver Motion ?

Réponse : ☐ le haut / parc d'expositions ☐ le bas / gare de bègles ☐ ne sait pas

Besoin d'aide de l'institutrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Effectivement, Loco doit prendre le tramway qui va vers le haut, direction parc des expositions

Question 2 :

A ton avis, à qu'elle station loco doit-il descendre pour être le plus proche de « Motion » ?

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'institutrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Effectivement, Loco doit descendre à la station Jardin public

Noter heure & minute: _____ ou durée
timer : _____

Exercice : (Annoncé par ordinateur)

Positionne maintenant sur le plan le trajet en tramway qu'effectue Loco pour rejoindre la place des Quinconces au Jardin public. Pour cela loco va t'aider :

Juste après être monté dans le tramway, Loco sent un virage à droite prononcé qui forme un angle droit. Voilà maintenant que le tramway fait une légère courbe vers la gauche en passant à côté du monument au Girondin. Puis, le Tramway continue ensuite sa route en ligne droite jusqu'à l'arrêt jardin public. Loco descend alors du tramway.

Positionne maintenant la station Jardin public.

(utilisateur positionne pion)

Bravo ! la première partie du trajet est finie ! Loco doit désormais se déplacer à pied pour rejoindre Motion :

Entre l'arrêt de tramway et le jardin Public se trouve un pâté de maison triangulaire.

Positionne le pâté de maison

(prévoir un aimant triangulaire, utilisateur positionne le pion)

Question 3 : Lu par un expérimentateur

Loco doit maintenant réfléchir pour rejoindre Motion à pied! Quel trajet imagines-tu pour Loco ? Combien y a-t-il de possibilité pour rejoindre Motion?

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'institutrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Oui, tu as raison il y a deux possibilités

Loco choisit de contourner le pâté de maison par l'angle le plus aigu, le plus pointu du triangle

Question 4 :

Combien de changements de directions comporte le trajet à pied de Loco?

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'institutrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Effectivement, il n'y a qu'un changement de direction. Loco va devoir aller tout droit puis tourner à l'angle de la première rue à gauche. L'entrée du Jardin public et Motion se trouveront alors sur le trottoir de droite.

Question 5 :

Mais avant tout cela, Loco doit absolument analyser son point de départ ! Pour quelles raisons?

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'institutrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Et oui, il doit le faire pour pouvoir le reconnaître s'il souhaite faire le trajet retour.

Question 6 :

Quels pourraient-être le repère choisi par Loco pour son point de départ à ton avis ?

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'institutrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Question 7 :

Maintenant Loco doit réfléchir un peu avant de se lancer tête baissée dans son trajet à pied pour ne pas avoir de surprises désagréables...

Hum, Hum... Quelle forme va avoir le trajet de Loco? ...Combien de fois et où va t'il devoir traverser ? ... A ton avis, sur quel trottoir de la rue Loco doit-il se placer pour commencer son trajet ? et Que doit faire Loco pour sortir de la station de tramway et retrouver le bon trottoir dans la rue afin de commencer son trajet à pied

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'institutrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Loco doit se placer sur le trottoir de gauche dans sa rue, car son premier changement de direction se situe dans la première rue à gauche.

Et oui, Loco doit traverser les rails du tramway et la route pour aller sur le trottoir et commencer son trajet.

(Annoncé par ordinateur)

Positionne maintenant cette traversée des rails de tramway et la première partie du trajet jusqu'à la pointe du triangle.

Question 8 : Lu par un expérimentateur

Une fois qu'il a trouvé la première rue sur sa gauche, que doit faire Loco ?

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'instructrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Il doit retenir les éléments caractéristiques de la première partie de son trajet. Puis il doit analyser son carrefour.

Question 9 :

D'accord, mais dois-t'il traverser ?

Réponse : _____

Besoin d'aide de l'instructrice de locomotion ? ☐ oui ☐ non

Oui, il doit se positionner sur le trottoir de droite afin de pour pouvoir trouver l'entrée du jardin public et son amie Motion.

(Annoncé par ordinateur)

Positionne maintenant la traversée de Loco et construit la fin du trajet pour que Loco rejoigne Motion.

Lu par un expérimentateur

Bravo ! tu as réussi à guider Loco jusqu'à Motion. Quand à toi Loco n'oublie pas de retenir des éléments caractéristiques des différentes parties de ton trajet ainsi que les repères de ton point de départ et ton point d'arrivée. Et surtout retiens bien tes carrefours et les techniques de traversée que tu as utilisé !

Noter heure & minute: _____ ou durée
timer : _____

..... Si Order = Construction – Exploration

→ demander s'ils ont besoin d'une pause, ensuite passer à mode exploration

Si Order = Exploration – Construction

→ passer au questionnaire de satisfaction : <https://sondages.inria.fr/index.php/859771/lang-fr>

→ ensuite donner le chèque cadeau

3 questions générales :

La gare se compose de combien de halls ?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4

Combien de portes d'entrée possède le hall 2 ?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4

Les terminus de la ligne de tram C sont :

☐ Cité du Vin / Pessac Centre ☐ Le Hallan / Floirac ☐ Berges de Garonne / Pin Galant

☐ Parc des Expositions - Nouveau Stade / Lycée Vaclav Havel

3 questions pour l'estimation de la localisation :

De quelle côté du plan se trouve la billetterie SNCF ?

☐ en haut à gauche ☐ en haut à droite ☐ en bas à gauche ☐ en bas à droite

De quelle côté du plan se trouve l'espace d'information ?

☐ en haut à gauche ☐ en haut à droite ☐ en bas à gauche ☐ en bas à droite

De quelle côté du plan se trouve le restaurant « Factory & Co » ?

☐ en haut à gauche ☐ en haut à droite ☐ en bas à gauche ☐ en bas à droite

3 questions pour l'estimation de la direction :

Vérifier s'ils connaissent le système horaire. Préciser que midi c'est devant eux, 6h c'est derrière eux.

Pour répondre aux 4 questions suivantes, utilisez le système de l'horloge pour indiquer la direction à partir de votre position (à midi, à 6h, à 3h, à 9h, à 10h, etc.) Avez-vous compris ?

Si vous êtes chez McDonalds et vous regardez vers le haut du plan, où se trouve Costa Coffee par rapport à vous ?

☐ à midi ☐ à 1h ☐ à 3h ☐ à 6h

Si vous êtes dans Hall3 et vous regardez vers le haut du plan, où se trouve l'espace d'information par rapport à vous ?

☐ à 6h ☐ à 8h ☐ à 9h ☐ à midi

Si vous êtes sur le quai de la voie 14 et vous regardez vers le haut du plan, où se trouve le quai de la voie 1 par rapport à vous ?

☐ à midi ☐ à 3h ☐ à 6h ☐ à 9h

3 questions pour l'estimation de la distance à vol d'oiseau:

Maintenant je vais vous demander de juger des distances de trajet à vol d'oiseau. C'est-à-dire, imaginez que vous vous déplacez sans emprunter les passages, mais en faisant comme si vous pouviez aller en ligne droite par les airs comme un oiseau.

Vous partez toujours de la billetterie sncf. A vol d'oiseau, lequel de ces quatre trajets est le plus long ?

☐ de la billetterie sncf au grand comptoir ☐ de la billetterie sncf aux toilettes du hall 2

☐ de la billetterie sncf à Factory & Co ☐ de la billetterie sncf au bureau d'échanges

Vous partez toujours de Hema (magasin d'équipement de maison). A vol d'oiseau, lequel de ces quatre trajets est le plus long ?

☐ de Hema chez Paul ☐ de Hema chez McDonalds

☐ de Hema à l'assistance voyageur handicapé ☐ de Hema à la billetterie sncf

Vous partez toujours de Costa Coffee. A vol d'oiseau, lequel de ces quatre trajets est le plus long ?

☐ de Costa Coffee chez McDonalds ☐ de Costa Coffee à la Brioche Dorée

☐ de Costa Coffee à Factory & Co ☐ de Costa Coffee au bureau d'échanges

.....

Si Order = Construction – Exploration

→ demander s'ils ont besoin d'une pause, ensuite passer à mode construction

Si Order = Exploration – Construction

→ passer au questionnaire de satisfaction : <https://sondages.inria.fr/index.php/859771/lang-fr>

→ ensuite donner le chèque cadeau

Annexe 4 : Panel d'utilisateurs :

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Age	17	18	16	21	16	15	14	15
Genre	Femme	Femme	Femme	Femme	Homme	Homme	Homme	Homme
Déficience visuelle	Non voyance	Malvoyance	Malvoyance	Malvoyance	Malvoyance	Non voyance	Malvoyance	Malvoyance
Aisance avec les nouvelles technologies. Echelle de 1 (très peu) à 5 (beaucoup)	5	4	5	5	5	4	4	5

Annexe 5 : Résultat des Test SUS.

Participant	Question 1	Question 2	Question 3	Question 4	Question 5	Question 6	Question 7	Question 8	Question 9	Question 10	SU Score
EX1	4	2	4	4	2	2	2	3	5	3	57,5
EX2	1	1	5	1	5	2	5	1	5	1	87,5
EX4	4	4	3	5	3	2	5	4	5	3	55
EX3	4	3	3	3	5	3	3	4	5	2	62,5
P1	4	2	4	4	4	2	3	2	4	1	70
P2	5	1	5	4	5	2	4	1	5	2	85
P3	4	1	4	3	4	2	5	1	5	1	85
P4	3	2	4	5	4	3	5	1	3	2	65
P5	5	1	3	1	5	4	5	1	5	1	87,5
P6	3	1	3	2	3	3	5	1	5	1	77,5
P7	3	4	4	5	3	3	4	5	4	3	45
P8	2	1	5	3	4	1	3	1	5	1	80

Résultat du SUS sur le pré-test :

Moyenne	65,625
min	55
max	87,5
SD.S	14,91294181
SD.P	12,91498645

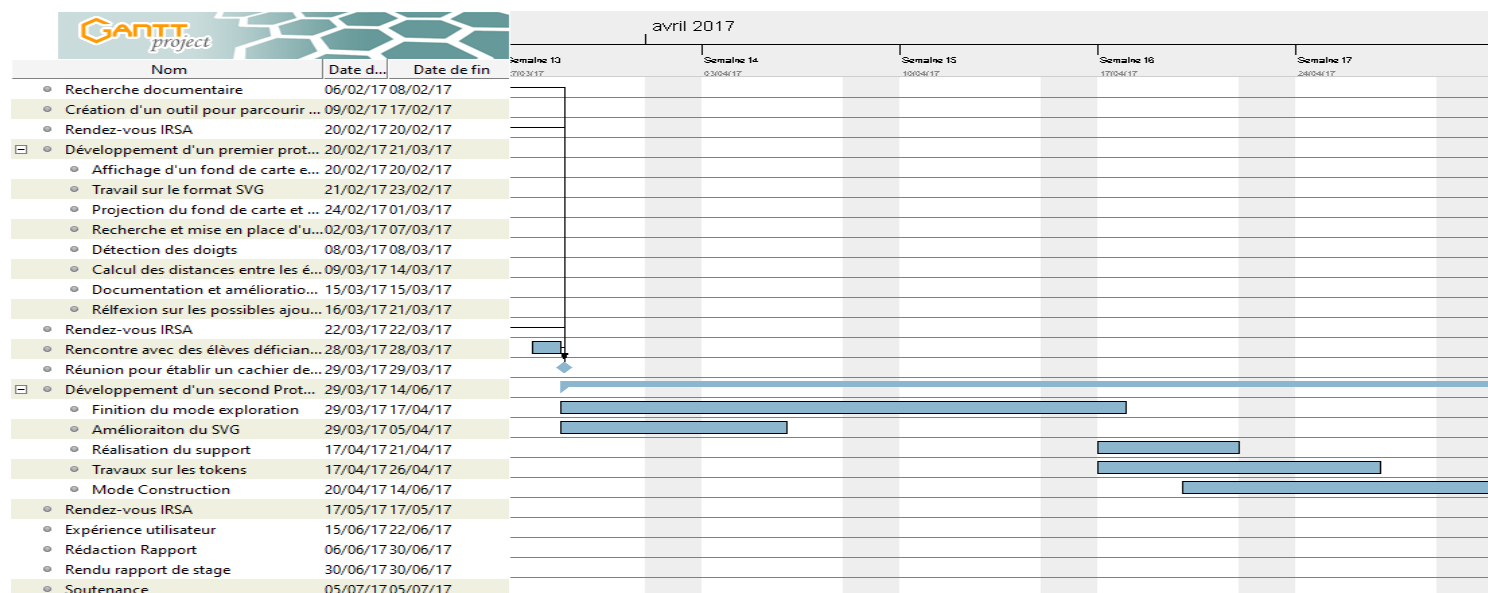
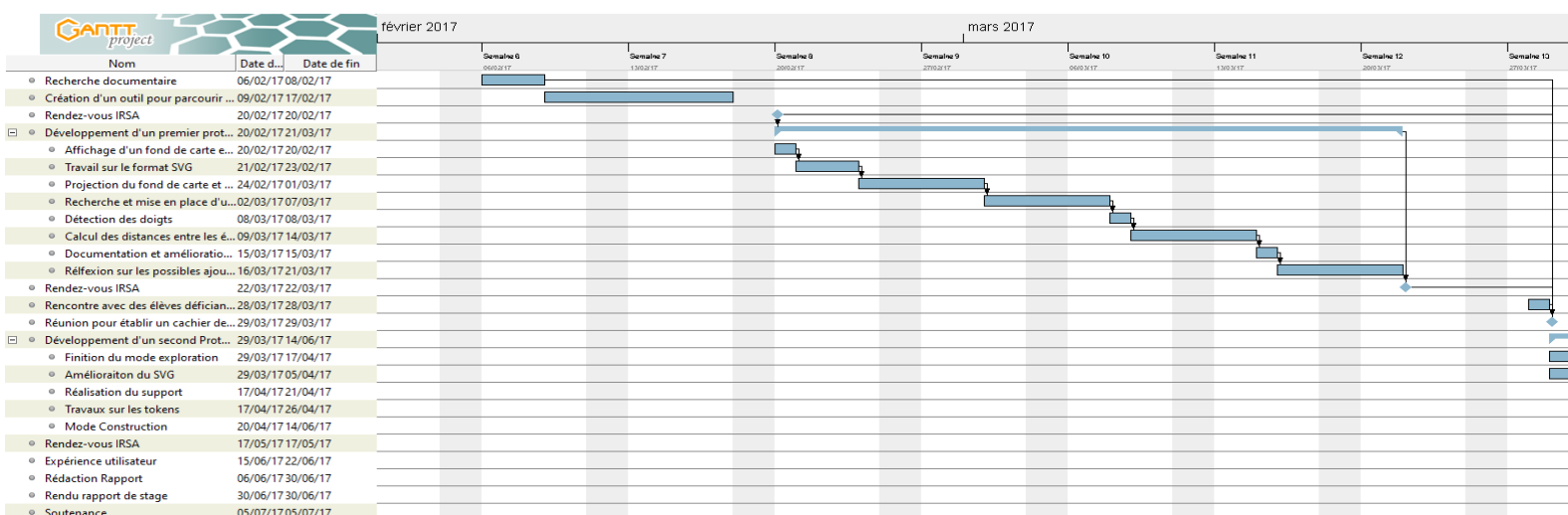
Résultat du SUS sur l'expérience :

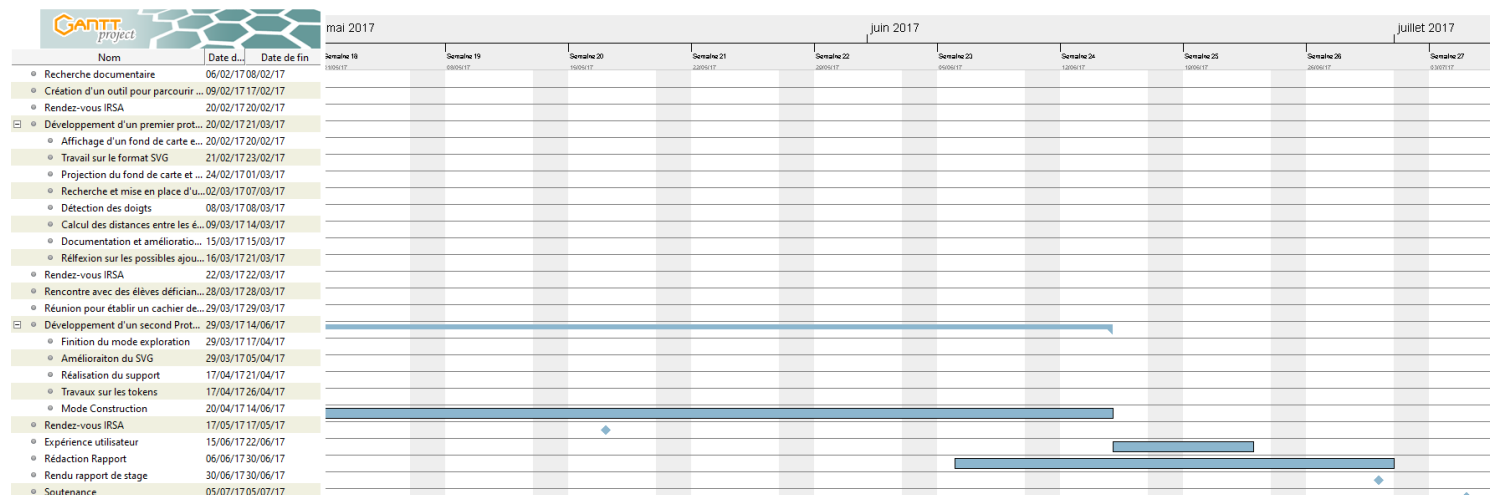
Moyenne	74,375
min	45
max	87,5
SD.S	14,18940752
SD.P	13,27297536

Annexe 6 : Consistance des réponses du test UEQ.

Scales with inconsistent answers						
Attraction	Compréhensibilité	Efficacité	Contrôlabilité	Stimulation	Originalité	Critical?
						0
	1					1
						0
						0
					1	1
						0
	1	1				2
1						1

Annexe 7 : Gantt effectif du projet





Annexe 8 : Compte rendu de la réunion du 20 février 2017

Compte rendu d'interview

Lieu : IRSA (Institut Régionale des Sourds et Aveugles)

Date : 20 février 2017

Personnes présentes :

- BROCK Anke
- ALBOUYS Jérémy
- LO1 (Instructrice de Locomotion)
- LO2 (Instructrice de Locomotion)

Méthode de l'interview

Dans un premier temps, nous avons posé des questions aux professeurs concernant le déroulement actuel des cours de locomotion. Nous nous sommes basés sur une interview structurée. Dans un deuxième temps, nous avons commencé une réflexion autour de leurs besoins auquel un futur outil interactif pourrait répondre.

Présentation des cours :

Les cours de locomotions donnés à l'IRSA (Institut Régionale des Sourds et Aveugles) ont de nombreux objectifs afin d'aider les personnes déficientes visuelles. Les principaux sont bien sûr de donner une autonomie dans les déplacements et de sécuriser ces derniers. Cependant, ces cours vont aussi apprendre aux élèves à se construire une représentation de soi-même par rapport à l'autre et à l'environnement.

Tous ces éléments donnent des cours qui ne possèdent pas seulement un aspect pédagogique, mais aussi des aspects thérapeutiques et relationnels.

Le centre accueille des jeunes de la petite enfance jusqu'à environ 20 ans. Pour les plus jeunes le travail se fait avec les parents pour la mise en place de réflexes d'automatismes. Il y a plusieurs moments clés dans leur vie, on peut par exemple citer l'entrée au collège ou au lycée. Cela représente un énorme travail pour s'intégrer socialement. Dans ce genre d'environnement le souci ne vient pas des périodes de cours ou le handicap peut moins se voir, mais des périodes d'interclasse (par exemple comment trouver ses amis dans la cours de récréation).

La plupart du temps les cours de locomotion se déroulent de façon individuelle, mais certaines activités vont plutôt être réalisées en groupe. C'est le cas par exemple de la découverte de la structure d'une rame de Tramway et du réseau de Tramway de l'agglomération de Bordeaux. Cet apprentissage se déroule en trois sessions complémentaires, une a lieu dans les dépôts de Keolis avec un employé et le tram à l'arrêt. Les élèves peuvent ainsi visiter la rame sans être exposés à l'affluence habituelle. La seconde a lieu toujours avec un employé de la compagnie, mais sur le réseau en présence des autres usagers. La troisième session pose les problématiques de changement de ligne à des arrêts où deux lignes se croisent (p.ex. hôtel de ville).

Les deux types d'enseignement (groupe et individuel), sont complémentaires. Mais trouver des créneaux pour un groupe peut être difficile, car presque tous les étudiants du centre sont scolarisés à l'extérieur.

La construction d'une représentation est une étape clé dans l'obtention d'une autonomie. L'objectif est que l'élève apprenne à se faire sa propre carte mentale d'un lieu ou d'un trajet soit en visitant ce dernier, soit en le découvrant grâce à un plan. La carte peut ainsi soit être construit par le professeur, soit par l'élève. La construction de la carte par l'élève même est utile pour confronter sa représentation mentale à la réalité (par le professeur qui corrige ou par la visite des lieux). Construire une représentation physique est aussi utile, car cela facilite la mémorisation des informations spatiales.

Aujourd'hui, de nombreux outils sont utilisés pour réaliser cet objectif. On peut par exemple citer la plaque aimantée, sur laquelle on pose des aimants possédants une texture et une taille différente. Cependant, de tels aimants ne sont pas flexibles et certaines représentations sont alors difficiles à mettre en œuvre.

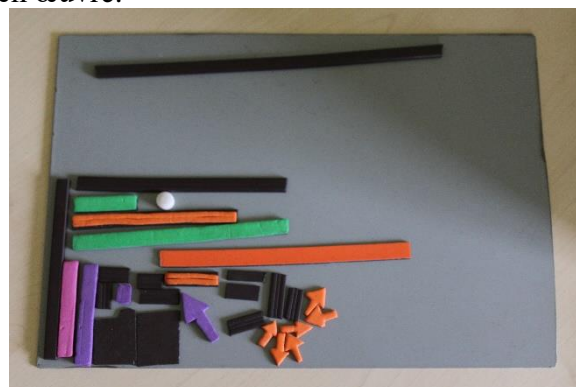


Figure 26: Plaque aimantée

Une variante de ce système existe avec non plus un système d'aimants, mais de scratchs.

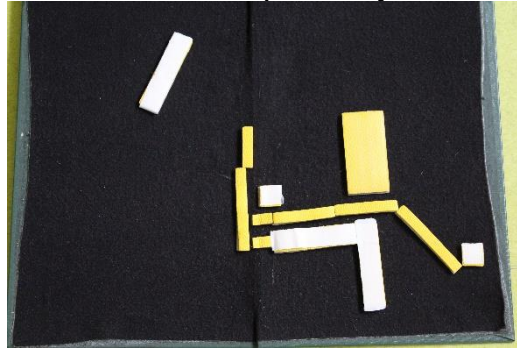


Figure 27: Système de plaque avec fixation à scratch

Une feuille de dessin en plastique posée sur une planche en caoutchouc (dycem) permettant d'avoir un retour tactile sur ce que l'on dessine est également utilisé pour que les étudiants puissent dessiner leur propre représentation mentale. Le souci de cet outil est quant à lui qu'il est impossible de modifier ce qui y est dessiné en cas d'erreur et contraint donc à recommencer entièrement.

Les maquettes de lieux ou des cartes imprimées sur papier en relief ou construit comme modèles à petites échelles sont aussi utilisées pour permettre l'exploration et l'apprentissage d'informations spatiales. Cependant, des tels systèmes peuvent être compliqués à mettre en place. En effet, pour la mise en place de cartes en relief sur papier thermogonflé, il faut dessiner à la main ou à l'ordinateur des cartes dédiés qui respectent les propriétés du sens tactile (taille de lignes, distances, textures, etc.). Il faut aussi accompagner ses cartes d'une légende en Braille. Ensuite la carte et la légende sont imprimé sur papier normal et passé par un four. Dans le cadre de modèles à petits échelles, du matériel divers est utilisé comme du bois ou des tissus. L'IRSA possède d'un service de transcription dédié à créer ces cartes et légendes en braille et les modèles tactiles.

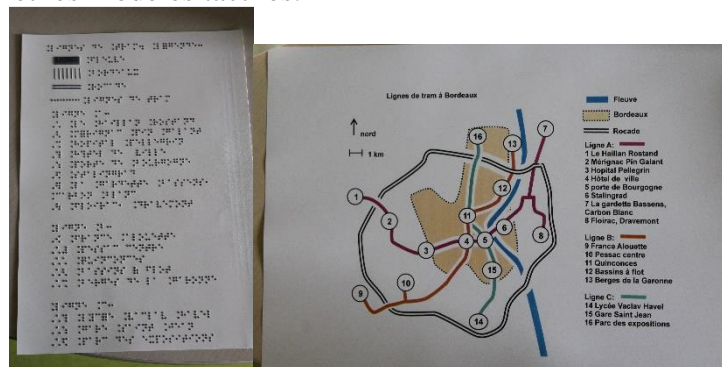


Figure 28: Carte tactile sur papier thermogonflé et sa légende associée



Figure 29 : Maquette du CSES Peyrelongue (gauche) et d'un quai de tramway de Bordeaux (droite)

Le besoin d'un outil interactif :

Dans l'idéal, un outil interactif conçu pour soutenir les cours de locomotion devrait permettre de réaliser trois étapes :

- Construction du lieu par le professeur et exploration par l'élève
- Construction d'un lieu par l'élève (un carrefour en T, une ligne du tramway, un rond-point) et permettre de confronter cette construction à la réalité
- Assurer la portabilité de la représentation afin de pouvoir l'emporter sur le terrain.

L'intérêt principal de l'outil que nous allons concevoir pourrait donc être de permettre à l'élève de confronter sa propre représentation d'un lieu ou d'un chemin donné et de le confronter à la réalité. Ceci est intéressant, car l'externalisation des représentations mentales permet en même temps de les mémoriser, est aussi de les corriger. Pour réaliser cela, plusieurs modes de retour sensoriel peuvent et devront sans doute être mis en place.

Nous avons discuté sur le besoin primordial d'avoir des retours tactiles (p.ex. exploration manuelle de maquettes), ainsi que des retours complémentaires verbaux et éventuellement des sons ambiants (comme les bruits faits par un train).

La construction d'une représentation :

Lors de cette partie de l'enseignement l'outil pourra être utilisé pour des cas précis, comme la construction d'une zone particulière ou dans un cadre général comme pour apprendre la structure globale d'une ville ainsi que ces points d'intérêts.

Il existe différents moyens de réaliser cette construction de façon tactile/manuelle :

- Fils de cire de couleurs : la texture peut déranger certains élèves. Sinon c'est un moyen intéressant, car les couleurs peuvent être reconnus par des élèves ayant une vision résiduelle, et les fils existent en taille différente ce qui permettrait une distinction par le sens tactile.
- Blocs Lego : une grande quantité de couleurs est disponible. Il pourrait être intéressant de les utiliser, mais il serait très difficile voire impossible pour les élèves de différencier certains blocs entre eux, car ils ont tous la même texture. En outre, les blocs ne sont pas flexibles dans leur forme.
- Aimants : il s'agit d'un système déjà utilisé et connu des élèves, le principal souci de ces derniers (rigidité) pourrait être corrigé en imaginant un système pour les rendre flexibles. Les plaques aimantées ont également l'intérêt qu'elles puissent être amenées en déplacement.
- Bac à sable où l'on laisse une trace : Système intéressant, mais l'information tactile serait alors uniquement sur la profondeur du tracé et non plus sur la surface (uniquement du sable).
- Impression 3D d'objets : ceci permettrait d'adapter la forme des objets aux besoins ainsi que de créer des objets de couleurs différentes

Confrontation à la réalité.

Pour la partie permettant de confronter la représentation de l'élève à la réalité, cela peut se faire par exemple avec des retours audios de façon automatique en indiquant les erreurs présentes entre la réalité et la représentation. Par exemple, on pourrait superposer une carte représentant la réalité à la construction et, en suivant sa réalisation avec le doigt, l'élève pourrait entendre un son lui indiquant que ce dernier s'éloigne de la réalité à laquelle il se confronte.

Le souci du retour audio se posera lors d'une utilisation en extérieur, en effet les bruits environnant peuvent être une gêne pour l'écoute même en étant équipé d'un casque.

Prochaines étapes

La séance est levée. Nous convenons de nous retrouver mi-mars afin d'avancer sur la création d'idées pour la conception d'un outil interactif pour les cours de locomotion. LO1 et LO2 se chargent de trouver des élèves motivées pour participer à ses séances. AB et JA se chargent de préparer formulaires de consentement et plan de l'expérience.

Annexe 9 : Diagramme de Séquence du mode Construction

