

# Projet ACCESSPACE

## Guide de conception des interfaces à stimulation tactile.

Livrable N° A.3.5.

Un projet porté par



Normandie Université

Avec le soutien de



## Préambule

La raison d'être de ce document est la nécessité de faire un document-interface entre les besoins des personnes présentant une incapacité visuelle (PPIV) et les chercheurs et les développeurs des nouvelles technologies d'assistance pour les PPIV et qui visent *une conception universelle*, pour tous et donc inclusive. En effet, l'analyse de l'état de l'art sur le sujet via la revue de la littérature réalisée à la mi-parcours du projet a montré que cette liaison est quasi inexistante tant le problème de la mobilité des PPIV est complexe et tant la science n'a pas encore identifié les mécanismes cognitifs qui sous-tendent notre déplacement.

Aussi, ce document s'adresse-t-il principalement aux chercheurs et industriels désireux de développer de nouveaux systèmes d'assistance à la navigation à destination d'une PPIV, systèmes fondés sur les besoins réels des PPIV et sur des fondements scientifiques. Il leur permet d'avoir les spécifications d'un système idéal, défini avec les PPIV en fonction de l'état de nos connaissances en 2019, et dont le but final est de leur rendre accessible le milieu physique.

Ce document s'adresse également à toute personne, professionnel comme amateur, désireuse de développer des applications sur notre dispositif F2T ou de contribuer à son amélioration. En effet, les primitives de base fournies permettent de définir de nouvelles fonctionnalités adaptables aux besoins de tout utilisateur, et une participation personnalisée à la société.

Aussi, l'objectif de ce document est-il multiple. Comme le document analyse le concept de mobilité, il peut être utilisé comme un guide de conception de nouvelles aides à l'assistance à la navigation des PPIV. Il liste notamment les fonctionnalités nécessaires et souhaitées par les PPIV pour la construction de dispositifs nomades dédiés à la navigation, ainsi que les technologies actuellement disponibles et les limitations empêchant leur adoption par le public visé.

Ce document présente en détails un exemple de mise en œuvre du concept de mobilité fondé sur le concept de mobilité défini in abstracto et complété par les besoins des PPIV, dispositif que nous avons développé et appelé Force-Feedback Tablette (ou F2T) ; il détaille différents moyens d'exploiter l'information qui peut être fournie par ce dispositif pour rendre accessibles des cartes d'intérieur ou d'extérieur et pour aider à la préparation d'un trajet et à la navigation autonome pendant le trajet.

# I. Navigation autonome: besoins et informations pertinentes

## 1. Navigation autonome: défis et recherches actuelles

La démocratisation des dispositifs électroniques portables a ouvert la voie à de nombreux nouveaux dispositifs d'assistance [1], et les progrès récents de l'Internet des Objets et de l'Intelligence Artificielle ont permis le développement de multiples solutions permettant de reconnaître et localiser des éléments importants dans l'environnement, permettant de remédier progressivement à l'isolation sociale des PPIV. Malgré cela, peu de ces solutions sont activement utilisées par les PPIV [2], principalement à cause de leur interférence avec d'autres activités et expériences sensorielles, le temps d'apprentissage nécessaire à leur utilisation, la charge cognitive qu'ils engendrent, ou encore le manque de considération ergonomiques lors de leur conception.

Se déplacer de manière autonome est une tâche complexe impliquant de nombreux processus moteurs et cognitifs reposant sur l'intégration d'informations multisensorielles, combinées progressivement pour construire et manipuler une carte mentale représentant la structure de l'environnement de l'individu. La vision occupe un rôle prépondérant dans ces processus, permettant à la fois la reconnaissance à distance de lieux connus (ou l'intégration d'emplacements nouveaux et saillants), ainsi que l'estimation de la position de l'individu par rapport à ces indices distaux connus.

Les dispositifs d'assistance à la navigation ont pour objectif de permettre à leur utilisateur de se déplacer et de s'orienter de manière autonome. Cela implique de fournir les informations nécessaires pour:

- Percevoir la destination du trajet, ou une destination intermédiaire, afin d'orienter leurs choix de chemins à emprunter.
- Pouvoir se localiser par rapport à des éléments saillants de l'environnement dont la position est connue, leur permettant ainsi d'intégrer mentalement leurs décisions de mouvements en un tout cohérent orienté.
- Percevoir les possibilités de déplacement à moyenne échelle, tel que les intersections et chemins divergeant de celui couramment emprunté.
- Percevoir les obstacles sur leur chemin, ou inversement, de percevoir les portions de l'espace alentour libre d'obstacles, leur permettant ainsi de choisir le déplacement optimal à effectuer afin de minimiser le risque de collision à courte échelle.

Cependant, il existe à l'heure actuelle très peu de dispositifs permettant de répondre à l'ensemble de ces prérequis, la plupart se focalisant sur la locomotion, i.e. le mouvement à courte échelle, tel que l'évitement d'obstacle ou le guidage du PPIV de proche en proche le long d'un chemin préétabli vers sa destination. Ce genre de dispositifs ne permettent pas aux utilisateurs de percevoir et reconnaître leur environnement dans sa globalité, les empêchant ainsi d'intégrer, de mémoriser et d'apprendre de leurs expériences.

Une des problématiques majeures à surmonter pour développer un dispositif d'assistance palliant à la fois la locomotion et l'orientation (à moyenne et grande échelle) est la quantité d'information à transmettre au porteur via les canaux auditifs et tactiles. Afin d'éviter la surcharge cognitive et de minimiser le temps d'apprentissage d'un tel dispositif, il convient d'optimiser les informations transmises en s'inspirant du fonctionnement normal du système de navigation humain ainsi que de nos facultés de raisonnement spatial (alias Cognition Spatiale). En effet, s'inspirer des modèles de cognition spatiale nous permettra de communiquer aux PPIV les informations spécifiquement nécessaires au bon fonctionnement de leur cognition spatiale, afin de substituer la vision de manière efficace et ciblée.

En se basant sur une revue de littérature multidisciplinaire ainsi que sur de nombreux échanges avec des PPIV, nous avons établi un ensemble de caractéristiques et fonctionnalités nécessaires à une utilisation efficace et adoption d'une aide à la navigation autonome:

## **2. Recommandations pour l'interaction avec le dispositif :**

- Système portable: peu encombrant, bonne autonomie, aisément transportable.
- Interaction et intégration facilitée avec technologies et normes "open-sources" courantes.
- Permettre l'interaction entre PPIV et voyants en cas de demandes d'assistance ou apprentissage assisté par un voyant.
- Permettre de zoomer / dézoomer afin de visualiser l'information présentée à différentes échelles / niveau de granularité.
- Permettre de se localiser aisément sur la carte affichée, et donc de guider / attirer l'attention de l'utilisateur vers sa position via des signaux auditifs ou tactiles.
- Fournir des indications de vitesse de déplacement ou de distance parcourue lors de l'exploration
- Permettre de choisir entre orientation fixe (i.e. Nord) ou dynamique (orientation actuelle de l'utilisateur) de la carte.
- Permettre une transition intuitive entre différentes sections d'une carte (i.e. différents quartiers, ou encore la transition extérieur - intérieur d'un bâtiment).
- Réserver l'utilisation de l'audio pour des informations spécifiques / ponctuelles (e.g. nom de rue) : minimiser l'utilisation de l'audio pour ne pas interférer avec la recherche naturelle d'informations / de dangers via ce canal sensoriel chez les PPIV.
- Accompagner et motiver l'apprentissage du dispositif par le biais de jeux sérieux.
- Fournir des informations sur les états critiques du dispositif (e.g. batterie faible, panne entraînant la modification de l'assistance fournie, degré de confiance dans l'information fournie),
- Rendre le système personnalisable pour accommoder différents degrés de déficience visuelle, d'éventuelles comorbidités, ou encore différents niveaux de compétence avec la technologie.

## **3. Recommandation de contenu : informations nécessaires à fournir**

- Donner des informations sur les points de repères globaux saillants aux alentours (monuments, résidence, lieu de travail, ...) pour faciliter la localisation et orientation à grande échelle.
- Donner des informations sur points de repères locaux (arrêt de bus, passage piéton, escalier, ascenseur, ...) pour faciliter la localisation et l'orientation à moyenne échelle.
- Donner des informations sur les possibilités de déplacements (intersections de chemins, embranchements, ...) afin de faciliter la perception et l'apprentissage de la topologie de l'environnement. Cette stratégie permet notamment de simplifier la géométrie de lieux complexes (e.g. carrefours) en un ensemble défini et distinguable de directions possibles à suivre.
- Permettre de distinguer espaces empruntables (e.g. chemins, espaces libres), espaces dangereux (e.g. routes) et espaces non-empruntables (e.g. murs, bâtiments)
- Distinguer les grandes zones (chemin, ville, parc, bâtiment, ...) et fournir des ambiances sonores représentatives de ces zones lors de l'exploration virtuelle d'une carte.
- Fournir des indices sonores locaux (i.e. sons d'objets ou d'éléments localisés tels qu'une fontaine) qu'il sera possible de reconnaître lors du trajet réel, afin de faciliter la localisation à petite échelle.
- Suggérer un chemin optimal / recommandé à l'utilisateur tout en continuant d'afficher les autres possibilités aux alentours. Cette stratégie permet de diminuer la dépendance du PPIV au dispositif et de lui redonner un rôle actif dans l'exploration et la navigation de son environnement.
- Permettre de diverger du chemin optimal pour explorer des chemins alternatifs / raccourcis, et permettre de revenir au chemin principal aisément (retour guidé)
- Simplifier la représentation transmise au maximum sans perdre d'information pertinente (e.g. communiquer l'espace libre par la direction de son centre de masse, et sa superficie par l'intensité du signal).

Il est important à observer que la réalisation, dans un temps limité, d'un système satisfaisant tous ces critères est impossible.

## II. Technologies de stimulation tactile : comparaisons et recommandations

De très nombreuses technologies ont été étudiées pour permettre un accès aux images par les PPIV. Dans notre état de l'art, nous distinguons trois grandes familles de dispositifs, chacune disposant d'avantages et d'inconvénients qui lui sont propres : matrices de taxels, surfaces à stimulation et dispositifs à porter sur soi.

### 1. Matrices de taxels

Ces dispositifs tentent de reproduire physiquement la surface tactile à afficher, à l'aide d'éléments mécaniques appelés taxels. Un taxel est un élément d'une image tactile, au même titre qu'un pixel est un élément d'une image visuelle. Les taxels forment des petits picots pouvant monter et descendre; une matrice de taxels permettant ainsi de reconstituer une image tactile sous la forme d'un bas-relief (c.f. Figure 1).

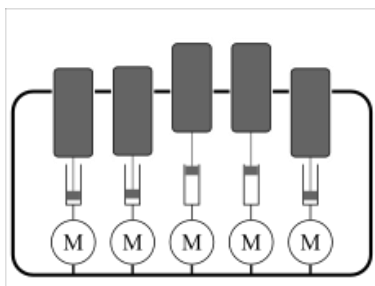


Figure 1. Principe des matrices de taxels : un taxel est constitué d'un picot mobile pouvant monter et descendre. L'ensemble des taxels permet de reconstituer une image tactile qu'il est possible d'explorer librement avec ses deux mains.

Les dispositifs reposant sur une matrice de taxels offrent ainsi une surface tactile qu'il est possible d'explorer avec ses deux mains. Les éléments affichés peuvent être explorés comme des objets ou des bas-reliefs physiques. Cependant, cette solution souffre de nombreux défauts. En effet, chaque taxel nécessitant son propre actionneur, les dispositifs sont particulièrement coûteux, et la résolution de l'affichage (nombre de taxels par unité de surface) est limité par la taille des actionneurs. D'autre part, il n'est pas possible de représenter des textures, la surface étant constituée par les picots mobiles formant les taxels.

Afin de réduire au maximum les problèmes liés au coût et à l'encombrement, de très nombreuses technologies ont été étudiées. La plus connue est l'actionneur piézoélectrique, utilisée dans les cellules Braille, et proposé dans les tablettes FlatBraille et HyperBraille de Metec [3]. Ces matériaux permettent des actionneurs de très petite taille, mais restent très coûteux et n'offrent qu'une course très limitée (0.7mm dans le cas des tablettes de Metec).

Certains prototypes utilisent des moteurs électriques linéaires (e.g. InForm [4] et FEELEX [5]) ou des électro-aimants ( e.g. Graphical Interface [6] et BlindPad [7]) pour réduire le prix de construction, au détriment de l'encombrement. Des actionneurs plus exotiques ont été étudiés : matériaux à mémoire de forme [8-15], matériaux diélectriques [16], éléments pneumatiques [17], ou encore capsules thermo-

pneumatiques [18]. Cependant, ces technologies ne résolvent pas le problème du nombre d'actionneurs nécessaire.

Différentes solutions techniques ont été proposées pour réduire le problème du nombre d'actionneurs. La plus ancienne est l'OPTACON [19], qui utilise une petite matrice de taxels vibrants piézoélectriques sur laquelle l'utilisateur place son doigt, et une caméra que l'utilisateur déplace sur l'image. Sur un principe similaire, le *Virtual Tactile Display* [20] utilise une petite matrice de taxels (composé de trois cellules Braille) que l'utilisateur déplace sur une surface plus grande, simulant une grande matrice de taxel. Si ces solutions permettent effectivement de réduire le nombre d'actionneurs, elles suppriment la possibilité d'explorer librement la surface.

*Orbit Research* propose un dispositif, appelé *Graphiti* [21], où chaque moteur électrique actionne une ligne ou une colonne de taxels, les taxels étant alors pilotés un par un. Inventivio GmbH propose le *Tactonom* [22], qui 'imprime' une image tactile à l'aide de petites billes métalliques, offrant une résolution très élevé pour un dispositif à taxel. Cependant, ces approches ne permettent pas un rafraîchissement immédiat de l'image affichée.

## 2. Surfaces à stimulation

Les surfaces à stimulation sont des dispositifs qui stimulent la peau de l'utilisateur par le biais de la surface tactile (cf. Figure 2). Contrairement aux matrices de taxels, ces dispositifs ne nécessitent qu'un nombre limité d'actionneurs, et il est possible de simuler différentes textures à l'aide de différentes stimulations. En revanche, il n'est pas possible de représenter des bordures faciles à suivre, la surface n'étant pas modifiée. De plus, comme la stimulation est appliqué à l'ensemble de la surface, l'exploration ne peut se faire qu'avec un seul doigt, et la séparation entre deux régions est difficilement perceptible.

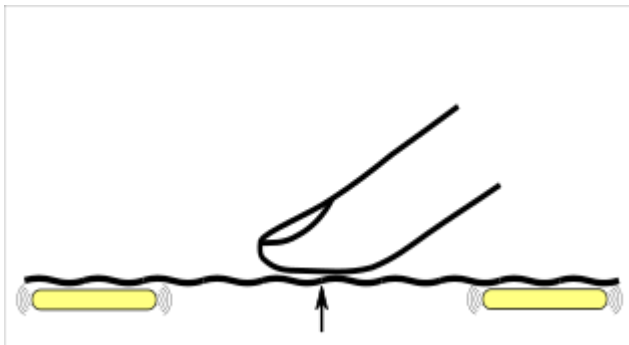


Figure 2. Principe des tablettes à stimulation : la position du doigt est détectée par l'écran tactile. La tablette modifie ensuite les propriétés tactiles de l'écran (e.g. le frottement entre l'écran et le doigt) pour simuler des effets tactiles du point touché. Il est ainsi possible de représenter différentes textures, mais il est difficile de sentir et suivre les frontières entre les régions de l'image.

Les tablettes *StimTact* [23] et *Hap2U* [24] utilisent des vibrations (ondes stationnaires) produites par des vibreurs piézoélectrique situés sous l'écran pour générer les stimulations tactiles. Le profil des vibrations permettent de simuler différentes textures. La tablette *TeslaTouch* [25], de *Disney Research*, utilise le principe d'électro-vibration (attraction d'une plaque chargée électriquement) pour modifier la friction entre le doigt et l'écran.

De manière générale, les tablettes à stimulation ne permettent pas de percevoir efficacement des objets tactiles, et sont plutôt destinées à augmenter l'expérience visuelle des utilisateurs voyants.

## 3. Dispositifs à porter sur soi

Cette catégorie regroupe les dispositifs, utilisés conjointement avec un écran tactile conventionnel, et stimulant la peau de l'utilisateur par le biais de dispositifs à porter sur soi (c.f. Figure 3). Ces dispositifs prennent principalement la forme de gants ou de stylets.



Figure 3. Principe des dispositifs à porter sur soi : l'utilisateur porte de petits dispositifs contenant des stimulateurs tactiles (e.g. gants, bagues, stylet). Un écran tactile détecte le ou les points touchés. Les dispositifs émettent alors des stimulations pour simuler les effets tactiles du ou des points touchés.

Les gants ont l'avantage de permettre une exploration avec plusieurs doigts, les stimulations pouvant être appliquées pour chaque doigt. La *TactiNet* [26] utilise un vibreur sur chaque doigt, qui reproduisent les textures que l'utilisateur touche sur l'écran tactile. Le *Soft-Actuator-Based Wearable Tactile Display* [27] est constitué de petites matrices de taxels portées sur le bout des doigts, permettant d'explorer la surface tactile avec un petit nombre de taxels.

Les stylets peuvent s'avérer plus pratiques à l'usage, mais ne permettent qu'une exploration en un seul point. Le *TactiPen* [28] utilise une cellule Braille comme matrice de taxel affichant la partie de l'image touchée. Le stylet *Ubi-Pen* [29] utilise à la fois une petite matrice de taxels et un vibreur pour transmettre des informations sur la texture et les contours. Le *Reflective Haptics Touch Pen* [30] simule les frottements à l'aide d'une bille métallique pouvant être freinée par un électro-aimant, produisant ainsi un retour haptique.

Les dispositifs à porter sur soi peuvent ainsi transmettre un grand nombre d'informations avec un nombre limité d'actionneurs, ce qui pourrait permettre le développement de dispositifs abordables. Cependant, ils nécessitent l'utilisation d'éléments supplémentaires devant être portés ou manipulés, ce qui peut se révéler peu pratique pour des usages prolongés.

Il apparaît qu'aucune solution n'est idéale : les matrices à taxels permettent l'affichage des bordures et une exploration libre, mais ne permettent pas l'affichage de textures, et sont d'un coût et d'un encombrement trop élevé pour une diffusion à large échelle. Les tablettes à stimulation permettent l'affichage de textures et sont moins coûteuses, mais ne permettent qu'une exploration à un doigt et ne permettent pas de distinguer les régions, ce qui est pourtant nécessaire pour reconnaître le contenu de l'image. Les dispositifs à porter sur soi peuvent dans certains cas permettre une exploration libre, sont léger et peu coûteux, mais peu pratique en raison des dispositifs supplémentaires à porter ou manipuler. Certaines possibilités sont incompatibles : il n'existe pas de dispositif capable d'afficher à la fois des bordures et des textures.

Nous proposons ainsi le concept de tablette à retour de force pour développer des dispositifs permettant l'affichage de bordures et de textures avec une forte résolution, tout en restant léger, peu coûteux et facilement adaptable à différentes tailles. Le retour de force est un dispositif mécanique permettant de simuler les effets physiques d'un objet virtuel (e.g. masse, inertie) manipulé par l'utilisateur. La tablette à retour de force utilise ce principe pour influencer les déplacements du doigt de l'utilisateur sur la surface pour simuler des bordures, des bas-reliefs et des textures, mais également pour permettre différents effets agissant activement sur les déplacements.

### III. Illustration: exemple de la F2T

#### 1. Principes de stimulation de la F2T

La *Force Feedback Tablet* repose sur une structure simple permettant un retour de force à deux dimensions. Le dispositif est constitué d'un joystick plat (similaire à ceux utilisés sur les consoles de jeux portables) installé sur un support mobile et motorisé lui permettant de se déplacer sur la surface explorable de la tablette (Figure 4).

Contrairement aux joysticks sur pivot, plus répandus, les joysticks plats gardent une hauteur constante et le 'chapeau' ne s'inclinent pas lorsqu'ils sont manipulés (e.g. poussé vers une direction). Ils permettent ainsi d'explorer la surface comme s'il s'agissait d'une surface plane.

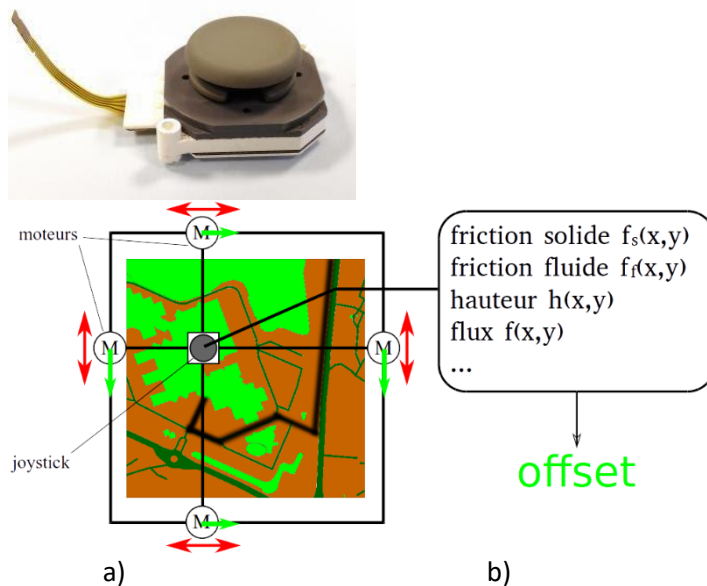


Figure 4. Principe de la F2T : a) un joystick plat, monté sur un support motorisé, capte les mouvements de l'utilisateur ; b) Le support est asservi en position pour suivre le doigt de l'utilisateur. Le système de contrôle récupère les propriétés tactiles à la position courante et applique des perturbations dans l'asservissement pour simuler différents effets haptiques.

Le joystick permet de détecter et mesurer les déplacements du doigt de l'utilisateur. Ces commandes sont utilisées pour piloter le support mobile et suivre les mouvements du doigt. Par ailleurs, la position du support mobile est également récupérée, permettant de définir les propriétés tactiles à la position courante du support sur l'image affichée.

Ces informations sont utilisées pour générer des perturbations dans l'asservissement du support mobile, et pour générer différents effets tactiles et haptiques sur le doigt de l'utilisateur.

#### 2. Effets tactiles de la F2T

Au cours du développement du dispositif et des applications discutées avec les PPIV, nous avons développé et intégré une large gamme d'effets pouvant être utilisés et combinés pour représenter différents types d'objets, mais également des concepts abstraits et des formes d'assistances dans l'exploration spatiale d'une image ou d'une carte.

Les effets présentés dans cette section permettent de simuler des contours, des pentes, des frottements, des flux, un effet de rail, et des régions d'attraction. Nous présentons également le système de guidage actif permettant de guider l'exploration de l'image.



### a. Contours et variations de hauteur.

La possibilité de sentir et suivre les contours des objets est une fonctionnalité jugée indispensable par les PPIV ; aussi, elle a inspiré le principe de la F2T. Cette fonctionnalité se traduit par deux effets possibles (Figure 5) :

- sur une pente montante (détectée dans l'image), le doigt est ralenti dans le sens de la montée.
- sur une descente (détectée dans l'image), le doigt est accéléré dans le sens de la descente.

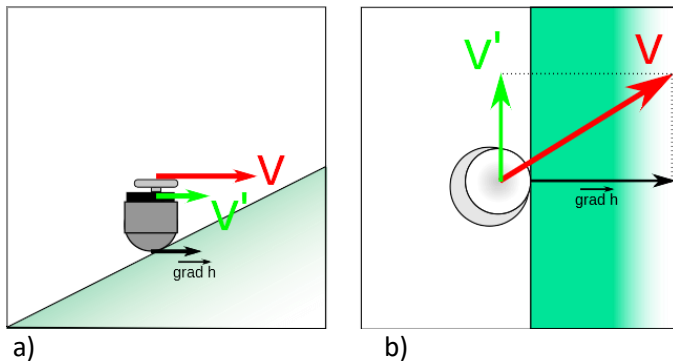


Figure 5. a) les variations de hauteur induisent des variations dans l'effort à fournir pour se déplacer ; b) dans le cas d'un bord net, le mouvement est bloqué. Il devient alors possible de 'glisser' (suivre) le long du contour.

Dans le cas d'un bord, le doigt est stoppé. Il devient alors possible de suivre facilement le bord (le contour) de l'objet en glissant le long du bord.

### b. Frictions (frottement)

En réduisant la vitesse du support, de façon constante ou en fonction des déplacements du doigt, il est possible de simuler des frictions solides (surface rugueuse) ou liquide (viscosité). L'utilisation de différentes textures permet de différencier plus facilement les régions de l'image (e.g. l'intérieur des objets).

### c. Flux

La motorisation du support autorise des effets haptiques actifs (figure 6a). Le système de flux permet de simuler des régions entraînant le doigt, simulant des surfaces dynamiques, tel des cours d'eau.

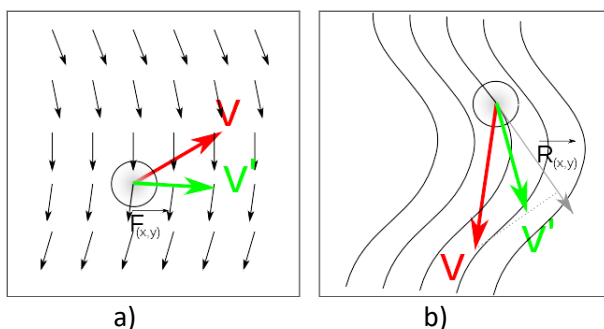


Figure 6. a) l'effet de flux ajoute au mouvement voulu (en rouge) un mouvement qui emporte le doigt avec une intensité et une direction paramétrable en chaque point ; b) l'effet de rail contraint partiellement le mouvement voulu dans une direction préférentielle.

### d. Effet de rail.

Il s'agit d'un effet original à la F2T, sans équivalent dans le monde réel; il permet de contraindre partiellement le mouvement de doigt (joystick) vers une direction prédéfinie. La figure 6b explique son principe : seul le déplacement perpendiculaire aux lignes de rail est freiné. Ainsi, il est facile de suivre la direction de ses lignes, en revanche, il est plus difficile (mais pas impossible) de se déplacer dans les autres directions.

Cet effet a été imaginé pour faciliter la découverte de chemins sur une carte ainsi que pour véhiculer des émotions dans le cas d'une œuvre d'art.

#### e. Attracteurs

Les attracteurs sont des points, des chemins ou des surfaces qui attirent ou repoussent le doigt. La force et la portée des attracteurs peuvent être paramétrés en fonction des besoins d'applications.

Ces attracteurs peuvent être utilisés pour définir des chemins qui attirent l'utilisateur qui s'en écarte ou dans des applications ludiques.

#### f. Guidage actif

De par son principe, la F2T permet une fonctionnalité inédite pour ce genre de dispositif : le guidage actif. Ce guidage permet de suivre automatiquement un chemin prédéfini, avec une vitesse paramétrable en tout point du chemin.

Couplé et synchronisé avec une audiodescription, le guidage permet d'appréhender globalement l'image, facilitant ensuite son exploration.

### 3. Application à l'affichage d'une carte 2D tactile

Nous avons envisagé différentes façons d'exploiter les différents effets tactiles générés par la F2T pour faciliter la compréhension spatiale d'une carte.

Le guidage actif, couplé et synchronisé à une audiodescription, permet une représentation globale du contenu de la carte en indiquant et décrivant la position des éléments importants de la carte. Nos premiers tests montrent que le guidage actif permet une compréhension aisée et rapide des formes et de l'organisation spatiale d'une carte fictive.

Le guidage peut également être utilisé de façon ponctuelle pendant l'exploration, pour emmener l'utilisateur vers une position désirée (destination ou point intermédiaire).

Les effets de frottement peuvent être utilisés pour distinguer différentes régions (e.g. routes, espaces verts, rivières...). Les frottements peuvent être choisis pour indiquer la difficulté de se déplacer sur le terrain en question. Par exemple, un fort frottement peut indiquer une surface accidentée, le ralentissement produit par le frottement indiquant alors la difficulté pour s'y déplacer.

Les effets de bordure et de relief peuvent également être exploités de différentes manières : une bordure infranchissable permet de signaler les régions inaccessibles (e.g. bâtiments). Des bordures moins "hautes" permettent de séparer des régions ou de baliser un chemin, permettant de suivre facilement ces bordures tout en donnant la possibilité de les franchir. Il est également possible de tracer une "tranchée" pour marquer un chemin : le doigt se recentre ainsi naturellement vers le centre d'un chemin pour guider l'utilisateur, sans pour autant le contraindre à suivre ce chemin.

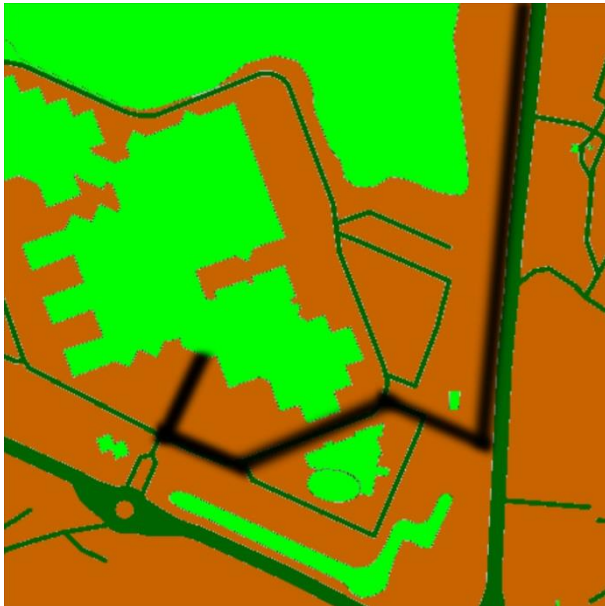


Figure 7. Exemple d'utilisation des effets de friction et de bordures. Les régions en vert sont des régions inaccessibles (bâtiments et forêt), sur lesquelles l'utilisateur ne peut pas se déplacer. Les régions en vert foncé sont des surfaces lisses, indiquant les chemins et routes. Les surfaces oranges présentent un fort frottement et représentent les espaces verts. La "tranchée", en noir, permet de guider le doigt de l'utilisateur, et indiquer la route à suivre.

L'effet de flux peut être exploité pour indiquer des éléments dynamiques de l'environnement, comme le sens de la circulation d'une route. Cette information peut être complétée par des sons spatialisés simulant la circulation de véhicules.

L'effet de rail peut venir compléter la perception des chemins, notamment en traçant des rails suivant les chemins pour en faciliter le suivi.

Enfin, les attracteurs peuvent être utilisés pour faciliter la recherche de chemins ou d'un point particulier de la carte. En effet, les effets de bordure (e.g. tranchée) et les effets de rails ne s'appliquent que sur la surface du chemin. Un chemin attracteur, quand à lui, génère une force d'attraction autour de lui, permettant, grâce à cette force de rappel, de revenir facilement sur le chemin même lorsque l'on s'en est éloigné. Des effets de répulsion peuvent également être utilisés pour signaler des régions dangereuses.

## IV. Conclusion

La F2T est un dispositif prometteur pour l'accès aux images, de par la grande panoplie d'effets tactiles qu'elle peut simuler, mais aussi pour sa capacité à guider activement l'utilisateur dans son exploration du contenu. Nos premières évaluations ont démontré la pertinence de ces effets et de l'importance du guidage actif dans la découverte, la compréhension et la spatialisation d'une forme ou d'une carte.

Le développement de la F2T devra passer par une amélioration graduelle du prototype actuel. Ces améliorations concernent la partie mécanique (assurant le retour de force), avec par exemple l'utilisation d'une transmission plus compacte et plus fiable pour assurer des mouvements plus réguliers et un dispositif moins encombrant, ou encore l'utilisation de joysticks à faible course (e.g. trackpoints utilisés sur certains ordinateurs portables) pour une meilleure précision. Nous étudierons également plus en détail l'interaction entre l'utilisateur et le dispositif, notamment par le système de guidage. En effet, les participants de nos évaluations nous ont indiqué que la vitesse de déplacement utilisée était parfois trop élevée.

## V. Références

- [1] W. Elmannai and K. Elleithy, "Sensor-Based Assistive Devices for Visually-Impaired People: Current Status, Challenges, and Future Directions," *Sensors*, vol. 17, no. 3, p. 565, Mar. 2017.
- [1] M. Gori, G. Cappagli, A. Tonelli, G. Baud-Bovy, and S. Finocchietti, "Devices for visually impaired people: High technological devices with low user acceptance and no adaptability for children," *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 69, pp. 79–88, Oct. 2016
- [3] D. Prescher, J. Borschein, W. Khlmann, and G. Weber, *Touching graphical applications: bimanual tactile interaction on the HyperBraille pin-matrix display*, In *Universal Access in the Information Society*, vol. 1(19),2017.
- [4] D. Leithinger, S. Follmer, A. Olwal, and H. Ishii, *Shape Displays: Spatial Interaction with Dynamic Physical Form*, *IEEE Computer Graphics and Applications*, volume 5, 5–11, 2015.
- [5] H. Iwata, H. Yano, F. Nakaizumi, and R. Kawamura, *Project FEELEX: Adding Haptic Surface to Graphics*, *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 469–476, 2001.
- [6] S. Simeonov and N. Simeonova, *Graphical Interface for Visually Impaired People Based on Bi-stable Solenoids*, *International Journal of Soft Computing and Software Engineering*, 128–131, 2014.
- [7] J.J. Zarate, O. Gudozhnik, A.S. Ruch, and H. Shea, *Keep in Touch: Portable Haptic Display with 192 High Speed Taxels*, In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 349–352, 2017.
- [8] O. B. Tretiakoff and A. B. Tretiakoff, *Tactile display driven by shape memory wires*, US Patent: 5,718,588, 1998.
- [9] C. Jiang, K. Uchida, and H. Sawada, *Research and Development of Vision Based Tactile Display System Using Shape Memory Alloys*, *Int. Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 10(3), 837–850, 2014.
- [10] P. Wellman, W. Peine, G. Favalora and R. Howe, *Mechanical design and control of a high bandwidth SMA tactile display*, In *Proc. of International Symposium on Experimental Robotics*, 56–66, 1997.
- [11] H. Yanatori, T. Mineta, S. Takeuchi, and K. Abe, *A Shape Memory Alloy Thick Film Actuator Array for Narrow Pitched Planar Tactile Display Device*, *IEEE 11th Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)*, 251–254, 2016.
- [12] M. Hafez and M. Benali Khoudja, *3D tactile rendering based on bi(multi) stable SMA monolithic systems*, *Micro-Nanomechatronics and Human Science, and The Fourth Symposium Micro-Nanomechatronics for Information-Based Society*, 93–98, 2004.
- [13] R. Velázquez, E. Pissaloux E, M. Hafez, and J. Szewczyk, *Tactile Rendering with Shape Memory Alloy Pin-Matrix*, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 57(5), 1051–1057, 2008.
- [14] M. Nakatani, H. Kajimoto, D. Sekiguchi, N. Kawakami and S. Tachi, *3D form display with shape memory alloy*, In *Proc. of 13th International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, 179–184, 2003.
- [15] N. Besse, S. Rosset, J.J. Zarate, and H. Shea, *Flexible active skin, large reconfigurable arrays of individually addressed shape memory polymer actuators*, in *Advanced Material Technologies*, vol. 2(10), 2017.
- [16] H. Phung, P. Tien Hoang, N. Canh Toan, T. Dung Nguyen, H. Jung,U. Kim, and H. Choi, *Interactive haptic display based on soft actuator and soft sensor*, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 886–891, 2017.
- [17] G. Moy, C. Wagner, and R. Fearing, *A compliant tactile display for teletaction*, In *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3409–3415, 2000.

- [18] F. Vidal-Verdú and R. Navas-González, *A Thermopneumatic Approach for Tactile Displays*, *Mechatronics and robotics (Mechrob)*, 394–399, 2004.
- [19] L.H. Goldish and H.E. Taylor, *The Optacon: A Valuable Device for Blind Persons*, *New Outlook for the Blind*, vol. 68(2), 49–56, 1974.
- [20] T. Maucher, K. Meier, J. and Schemmel, *An interactive tactile graphics display*, In *Proceedings of the 6th International Symposium on Signal Processing and its Applications*, 190–193, 2001.
- [21] Graphiti Graphics Display, Orbit Research, [Online]. Available: <http://www.orbitresearch.com/product/graphiti/>, [Accessed: November 2019]
- [22] Tactonom.com, *Tactonom - The tactile graphics display (2017)*, [Online]. Available: <http://www.tactonom.com/>, [Accessed: November 2019]
- [23] A. Michel, F. Giraud, G. Semail, P. Olivo, G. Casiez, and N. Roussel, *STIMTAC, a Tactile Input Device with Programmable Friction*, *24th ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 7–8, 2011.
- [24] F. Bernard, *Conception, fabrication et caractérisation d'une dalle haptique base de micro-actionneurs piézoélectriques*, PhD, University of Grenoble, 2016.
- [25] O. Bau, I. Poupyrev, A. Israr, and C. Harrison, *TeslaTouch: Electro vibration for Touch Surfaces*, *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2010.
- [26] F. Maurel, *La TactiNET*, *27eme conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine.*, pp. d09, 2015.
- [27] I. Koo et al., *Development of Soft-Actuator-Based Wearable Tactile Display*, In *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, 549–558, 2008.
- [28] E. Lecolinet and G. Mouret, *TACTIBALL, TACTIPEN, TACTITAB ou comment toucher du doigt les données de son ordinateur*, In the proceedings of IHM'05, ACM Press, 2005.
- [29] K.-U. Kyung, J.-Y. Lee, and J. Park, *Haptic Stylus and Empirical Studies on Braille, Button, and Texture Display*, In *Journal of biomedicine & biotechnology*, 327–334, 2008.
- [30] G. Wintergerst, R. Jagodzinski, F. Hemmert, A. Mller, and G. Joost, *Reflective Haptics: Enhancing Stylus-Based Interactions on Touch Screens*, In *Proceedings of EuroHaptics*, 2010.