

# Multi-surface : techniques d'interaction avec un dispositif portable

## Application à la visualisation "focus+contexte" avec un iPhone

Thomas Castel, Laurence Nigay

**Abstract - We focus on interaction techniques with a PDA in the context of multi-surface interaction. The PDA is one interaction surface and at least one other surface is used (e.g., projection onto a wall, PC screen). Facing the huge space of design possibilities, we first identify the various roles that the PDA can play in the context of multiple surfaces. This constitutes the first axis of our design space. In order to define this axis, we based our design space on the Instrumental Interaction model. Orthogonally to the role that the PDA can play, we also study the interaction techniques on the PDA: these techniques define the second axis of our design space. Based on recent technological advances, along this axis we consider innovative interaction techniques including gestural and two-handed techniques. We illustrate our design space by the design and development of a multimodal application using an iPhone. The application domain is the navigation in a large map (i.e., exploration, edition of POI). We designed a focus+context visualization technique of the map and the resulting application offers several interaction techniques on the PDA that are characterized using our design space. The next step of this study is to perform a comparative experimental evaluation with end-users to conclude on the usability, efficiency and users' experiences of the different interaction techniques.**

**Keywords: Multisurface interaction, Two-handed interaction, Gestural Interaction, Instrumental interaction, Visualisation, Focus+Context.**

**Mots-clés : Interaction multisurface, Interaction bi-manuelle, Interaction gestuelle, Interaction instrumentale, Visualisation, Focus+Contexte.**

### I. INTRODUCTION

L'évolution technologique actuelle des appareils de type Smartphone ou PDA a permis d'augmenter en nombre et en qualité les modalités en entrée qu'ils embarquent. Cette évolution amène à considérer les interactions multi-surface appliquées à ce type d'appareil.

L'objectif de cette étude est la conception de nouvelles techniques d'interaction basées sur l'interaction multi-surface cernée au cas où un dispositif portable est utilisé pour contrôler une autre application exploitant une autre surface d'interaction (écran, projection sur un mur). Dans un premier temps nous avons établi un état de l'art structuré des techniques d'interaction multi-surface pour le domaine considéré et nous avons, dans un deuxième temps, mis en évidence deux nouvelles techniques d'interaction intéressante à étudier. Nous avons choisi d'illustrer ces deux techniques au travers de la visualisation d'une grande quantité d'information basée sur l'utilisation d'un focus et d'un contexte.

*Thomas Castel, étudiant à Polytech Grenoble, département Réseaux Informatiques et Communication Multimédia.  
Laurence Nigay, Professeur à l'université Joseph Fourier et chercheur au sein du Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG), équipe IHM.*

### II. TERMINOLOGIE ADOPTÉE

#### A. Le modèle d'interaction instrumentale

Le modèle d'interaction instrumentale [4] est un modèle permettant de spécifier les interactions entre un utilisateur et une application. Il définit une application comme un ensemble d'objets qui sont manipulés et modifiés par des instruments.

Tels qu'ils sont décrits dans [4] les objets manipulés par les instruments sont principalement les objets du domaine de l'application. Ces objets sont composés d'attributs : par exemple, pour un fichier, ces attributs sont son nom, sa taille, etc. Pour manipuler un objet, l'utilisateur a accès à une de ses représentations, c'est-à-dire à un sous-ensemble des attributs. Il est important de noter que même si les représentations sont différentes, il s'agit tout de même du même objet manipulé.

Les instruments sont les outils nécessaires à la manipulation des objets décrits précédemment. Dans ce modèle, un instrument est composé d'une partie physique et d'une partie logique, dénotées respectivement instrument physique et instrument logique : **l'instrument physique** permet de capter les actions physiques de l'utilisateur. Par exemple, une souris d'ordinateur est un instrument physique. **L'instrument logique**, quant à lui, a besoin d'un instrument physique pour être manipulé. Par exemple une barre de défilement est un instrument logique qui implique l'utilisation d'une souris ou d'un clavier.

L'utilisateur va donc interagir avec l'instrument logique via l'instrument physique. Notons que les menus, les boîtes de dialogue, etc. sont aussi des instruments logiques car ils permettent de manipuler des objets, même indirectement.

L'interaction instrumentale est donc l'orchestration de la manipulation des objets de l'application par les instruments, orchestration modélisée par le schéma de la figure 1. Le terme médiateur peut aussi être utilisé pour désigner l'instrument.

L'interaction instrumentale conduit donc à l'identification de deux niveaux d'interaction : l'interaction entre l'utilisateur et l'instrument et l'interaction entre l'instrument et l'objet manipulé.

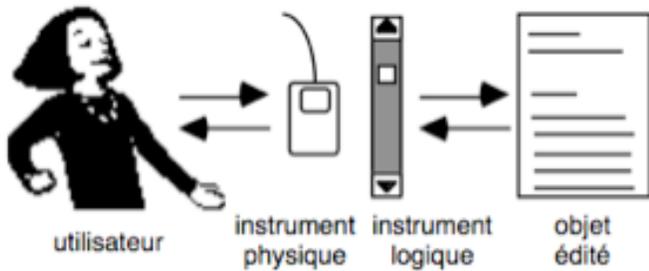


Fig. 1 - L'instrument, médiateur entre l'utilisateur et l'objet.  
Schéma issu de [4]

### B. L'interaction bi-manuelle

Les interactions bi-manuelles sont les interactions pour lesquelles l'utilisateur va utiliser ses deux mains. Guiart [5] définit l'interaction bi-manuelle à l'aide du modèle de la chaîne cinématique. Ce modèle définit toute tâche comme un enchaînement d'actions successives (d'où le terme chaîne) et ordonnées dans le temps. L'interaction bi-manuelle peut être assimilée à ce modèle en considérant que les actions réalisées par la main non dominante et la main dominante de l'utilisateur sont les éléments d'une chaîne cinématique permettant de réaliser la tâche. L'interaction bi-manuelle se focalise sur le naturel de l'interaction, par exemple la règle essentielle est la suivante : l'utilisateur place le contexte de travail avec sa main non dominante et réalise la tâche dans ce contexte avec sa main dominante. Cette technique d'interaction, quand son utilisation est adaptée, est plus efficace que l'interaction uni-manuelle en terme cognitif et de rapidité d'exécution de la tâche [3][8].

## III. ETAT DE L'ART

A l'image du modèle d'interaction instrumentale, nous décrivons l'interaction avec une application via un PDA de la manière suivante : l'utilisateur utilise un PDA pour manipuler les objets la constituant. Comme schématisé à la figure 2, au même titre que l'instrument est le médiateur entre l'utilisateur et l'objet, le PDA sera le ou l'un des médiateurs entre l'utilisateur et l'application.



Fig. 2 - Le PDA orchestre l'interaction entre l'utilisateur et l'application

Notre état de l'art s'organise autour de trois axes. Dans un premier temps nous nous sommes intéressés aux interactions entre le PDA et l'application, c'est-à-dire quels moyens il est possible de mettre en oeuvre pour permettre à l'utilisateur d'interagir avec celle-ci. Ensuite nous avons étudié les interactions entre l'utilisateur et le PDA. Et pour finir nous avons étudié le nombre d'utilisateurs.

En ce qui concerne les interactions entre le PDA et l'application nous avons mis en valeur deux rôles en nous basant sur le modèle de l'interaction instrumentale : le PDA

jouant le rôle d'instrument et le PDA étendant l'application. Les interactions entre l'utilisateur et le PDA, quant à elles, sont de deux types : les interactions uni-manuelles et les interactions bi-manuelles (telles que nous les avons décrites précédemment en II.B.).

### A. Interaction entre le PDA et l'application

Le premier axe de notre état de l'art concerne l'interaction entre le PDA et l'application et il est défini par les deux rôles suivants : le PDA jouant le rôle d'instrument et le PDA étendant l'application.

#### Le PDA instrument

Pour contrôler l'application, le PDA permet à l'utilisateur de manipuler les objets la composant. Le rôle d'instrument peut donc naturellement être attribué au PDA. Cependant, cela ne suffit pas : il est nécessaire de distinguer instrument physique et instrument logique. L'axe rôle d'instrument est donc composé de deux sous-axes : le rôle d'instrument physique et le rôle d'instrument logique. Pour distinguer ces deux sous-axes, il convient d'étudier le niveau d'abstraction des informations envoyées par le PDA à l'application.

Les **instruments physiques** sont typiquement les périphériques d'un PC. Le PDA sera considéré comme un instrument physique si les données qu'il capte et qu'il envoie à l'application sont brutes, c'est-à-dire qu'elles sont interprétées par un instrument logique du côté applicatif. L'application *PDA as input device* [1] est un exemple trivial d'instrument physique : cette application permet d'utiliser le PDA comme une souris ou comme un clavier.

Ensuite le PDA peut endosser le rôle d'**instrument logique** : le PDA fournit des informations de plus haut niveau d'abstraction à l'application. En d'autres termes, l'utilisateur interagit avec un instrument logique directement lié à un objet de l'application. Par exemple cet instrument logique peut être affiché sur l'écran du PDA. Ainsi les capteurs du PDA sont les instruments physiques servant à interagir avec l'instrument logique "hébergé" par le PDA. Par exemple, l'application *ShortCutter* [10] permet à l'utilisateur d'accéder à des raccourcis via son PDA.

#### Le PDA étendant l'application

Le PDA peut donc jouer le rôle d'instrument physique et d'instrument logique. Cependant, nous avons aussi distingué le cas où le PDA héberge une représentation d'un ou plusieurs objets de l'application et permet de le ou les manipuler. Dans ce cas, le PDA permet d'étendre l'application. Ainsi l'utilisateur peut manipuler un objet directement depuis le PDA et ces modifications seront répercutées à l'application (puisque'il s'agit d'un objet de celle-ci). De plus il convient de noter que, puisque l'utilisateur manipule les objets depuis le PDA directement, les instruments logiques permettant cette manipulation appartiennent aussi au PDA. Par exemple, l'application *Slide Show Commander* [10] permet de contrôler une présentation Microsoft PowerPoint. L'utilisateur interagit avec le diaporama depuis le PDA : avec l'objet qui affiche la diapositive courante.

### B. Interaction entre l'utilisateur et le PDA

Après avoir étudié les interactions entre le PDA et l'application il convient d'étudier les interactions entre l'utilisateur et le PDA. Pour définir les valeurs de cet axe nous avons utilisé la définition de l'interaction bi-manuelle présentée précédemment. Rappelons que les valeurs de cet axe sont les suivantes : les interactions uni-manuelles en opposition avec la deuxième valeur ; les interactions bi-manuelles. L'évolution technologique actuelle a permis d'augmenter le nombre de modalités d'interaction en entrée proposées par les dispositifs portables (les capteurs d'accélération, les écrans tactiles multi-point, etc.). Cette multiplicité des modalités amène à prendre en compte l'interaction bi-manuelle. Les avantages de cette technique d'interaction ont été étudiés et prouvés (notamment cognitif (voir la définition de l'interaction bi-manuelle) et en terme d'efficacité), par exemple dans [2], [3], [8] ou [12], aussi, la considération de ce type d'interaction dans le cadre de l'interaction multi-surface est incontournable.

#### L'interaction uni-manuelle

Les interactions uni-manuelles sont les interactions pour lesquelles l'utilisateur ne va utiliser qu'une seule main. Elles peuvent être de deux types : les interactions avec l'écran tactile et les interactions par gestes. L'interaction avec l'écran tactile du PDA concerne les gestes 2D, en opposition avec les gestes 3D décrits à la section suivante.

Les interactions avec l'écran tactile sont de deux types : discret et continu. L'interaction est **discrète** quand l'utilisateur "dessine" une forme sur l'écran tactile qui, si elle est reconnue, donne lieu à une action précise et finie. L'interaction **continue** signifie que toute la durée du geste 2D, du dessin sur l'écran tactile, aura un impact sur l'application (du PDA ou celle à contrôler).

Il est aussi possible de contrôler une application avec un PDA en utilisant des gestes 3D (si le PDA embarque des capteurs le permettant). Comme pour l'interaction avec l'écran tactile, il y a deux types d'interaction par gestes 3D : discret et continu. Un geste d'interaction **discrète** est l'association geste/action, c'est-à-dire que l'utilisateur fait un geste qui, s'il est reconnu, donne lieu à une action précise et finie. Par exemple on peut utiliser les gestes discrets pour contrôler un appareil électronique [7]. Dans cet exemple un geste est associé à une action, par exemple, pour un lecteur de DVD, un geste pour lecture/pause, etc. Un geste d'interaction **continu** signifie que toute la durée du geste, du mouvement, aura un impact sur l'application (là encore du PDA ou de l'application à contrôler). Par exemple on peut utiliser le PDA pour déplacer un objet sur un grand écran [6].

#### L'interaction bi-manuelle

Nous avons ensuite considéré le cas où l'utilisateur faisait usage de ses deux mains pour contrôler une application. Nous avons pour cela utilisé la définition de l'interaction bi-manuelle développée précédemment. Pour que l'interaction bi-manuelle soit viable elle doit permettre à l'utilisateur de réaliser une tâche composable en différentes actions (une chaîne cinématique), actions qui seront assignés

respectivement à ses deux mains. C'est-à-dire que les techniques d'interaction présentées et utilisables dans le cadre de l'interaction uni-manuelle sont aussi valables pour l'interaction bi-manuelle à la différence près qu'elles sont combinables : on peut par exemple assigner une technique d'interaction à la main non dominante de l'utilisateur et une technique différente à sa main dominante. Il est aussi important de noter que l'on peut aussi considérer l'interaction bi-manuelle en terme de multiplicité des utilisateurs : un utilisateur met en place le contexte et un autre interagit avec celui-ci.

### C. Mono-multi utilisateur

Le dernier axe considéré de notre étude est la multiplicité des utilisateurs. Il est en effet possible de contrôler une application en utilisant plusieurs PDA, un par utilisateur. Les deux valeurs de cet axe sont donc : mono-utilisateur et multi-utilisateur.

#### Mono-utilisateur

Le fait d'utiliser le PDA comme périphérique secondaire d'un PC [9] est un cas d'application mono-utilisateur. Le PDA affiche des boutons donnant accès à des raccourcis qui ne sont accessibles seulement à l'utilisateur du PC.

#### Multi-utilisateur

Le fait de pouvoir contrôler une application depuis plusieurs PDA définit la valeur multi-utilisateur. Par exemple l'application *Remote Commander* [10] permet de contrôler un PC depuis un PDA. Mais elle permet aussi à plusieurs utilisateurs de le contrôler : chacun des utilisateurs disposera de son propre curseur. Dans le cas d'une application dédiée chaque utilisateur pourra interagir au même moment avec l'application par exemple pour dessiner.

## IV. CONCEPTION

### A. Motivations

Dans notre étude nous avons considéré que l'interaction multi-surface est constituée de la combinaison de l'interaction entre l'utilisateur et le PDA et de l'interaction entre le PDA et l'application à contrôler. Nous avons choisi de classer les interactions entre l'utilisateur et le PDA en terme d'interaction uni et bi-manuelle. Cette classification a mis en lumière le fait que le domaine des interactions bi-manuelles et multi-surface devait être étudié. Il est important de noter que l'interaction bi-manuelle et l'interaction multi-surface ont été étudiées, l'intérêt de notre étude porte donc sur la combinaison de ces techniques. L'interaction multi-surface est relative à la nature de l'interaction entre le PDA et l'application et nous avons choisi d'étudier les deux valeurs les plus représentatives de cet axe : le rôle d'instrument logique et l'extension de l'application. Un des aspects fondamentaux de l'interaction bi-manuelle est qu'elle doit pouvoir être assimilée à une métaphore du monde réel pour être viable, c'est-à-dire que son utilisation doit être naturelle. Nous avons donc choisi d'illustrer l'interaction bi-manuelle à travers le scénario de base suivant : l'utilisateur place le contexte d'utilisation avec sa main non dominante et interagit avec celui-ci via sa main

dominante. Le domaine de la visualisation de grande quantité d'information colle parfaitement avec les besoins de notre étude, aussi l'avons-nous choisi comme illustration.

### B. Visualisation d'une grande quantité d'information

Dans sa thèse [11], Vernier s'intéresse à la multimodalité en sortie appliquée à la visualisation de grandes quantités d'information. Cette visualisation s'appuie sur le principe suivant : une grande quantité d'information est constituée d'éléments, éléments qui possèdent eux-mêmes différents attributs. Cette définition peut être mise en parallèle avec la définition d'un objet au sens de l'interaction instrumentale : un objet est composé de différents attributs et l'utilisateur interagit avec celui-ci via une de ses représentations (une représentation graphique d'un sous-ensemble de ses attributs).

Pour pouvoir interagir et utiliser les informations l'utilisateur doit en avoir une vision globale. Cependant, il ne peut pas interagir directement avec celle-ci du fait du grand nombre d'information qui la compose et de la perte de précision qui en découle. L'utilisateur doit donc interagir avec une petite quantité d'information issue de cet ensemble, qui, elle, peut être détaillée. Ces deux éléments sont appelés focus et contexte [11]. L'interaction bi-manuelle que nous avons étudié fonctionne de la manière suivante : l'utilisateur positionne le focus (sous ensemble détaillé du contexte), c'est-à-dire le contexte d'utilisation avec sa main non dominante et interagit avec celui-ci avec sa main dominante.

La composition des modalités de visualisation proposée par [11] nous a permis de combiner l'interaction bi-manuelle et l'interaction multisurface à la fois en terme d'extension de l'application et d'instrument logique pur au travers du même aspect : la visualisation d'une grande quantité d'information. [11] propose en effet deux types de composition que nous avons respectivement appliqués au rôle d'instrument logique et au rôle d'extension de l'application. Ces deux compositions sont les suivantes : vues multiples et modalités multiples.

La **composition en vues multiples** correspond au rôle d'instrument logique. Le focus et le contexte sont affichés en utilisant la même modalité en sortie : l'écran de l'ordinateur sur lequel l'application à contrôler est installée. Ainsi le PDA n'est pas utilisé comme modalité en sortie et présente simplement un ensemble d'instruments logiques permettant de positionner le focus et d'interagir avec celui-ci.

La **composition en modalités multiples** implique l'utilisation du PDA comme modalité en sortie, c'est-à-dire que le contexte sera affiché par l'ordinateur et que le focus le sera par le PDA. Le focus est affiché sur PDA et est une représentation de l'objet, au sens de l'interaction instrumentale, que l'utilisateur doit manipuler. Il s'agit donc d'une extension de l'application.

Notons enfin que, quelque soit la composition choisie, l'utilisateur doit disposer d'un moyen de situer le focus dans son contexte. Par exemple dans le cas du focus affiché sur le PDA, l'utilisateur peut disposer d'un repère affiché au dessus

du contexte.

### C. La visionneuse "focus+contexte"

Nous avons vu que l'aspect visualisation d'une grande quantité d'information était adapté à l'illustration à la fois bi-manuelle et multisurface. L'application que nous avons développée est une visionneuse "focus+contexte" qui permet à l'utilisateur de naviguer dans une carte de grande taille (mais cela fonctionne pour tout type d'image) et d'interagir avec celle-ci par l'intermédiaire d'un focus. La tâche à accomplir que nous avons choisie pour l'utilisateur est le placement de marqueurs sur la carte. Les deux aspects de cette application sont les suivants : l'aspect visualisation et l'aspect interaction bi-manuelle.

#### L'aspect visualisation

L'aspect visualisation est relatif au rôle que va jouer l'application dans l'interaction multisurface. Il nous a, en outre, permis d'illustrer deux rôles différents tout en manipulant la même information. En effet, notre application permet au PDA de jouer le rôle d'instrument logique ainsi que d'étendre l'application. Le contexte c'est-à-dire la représentation globale, mais non détaillée, de la carte est affiché sur l'ordinateur. Les deux modes (ou rôles) se distinguent ensuite par la composition du focus avec ce contexte.

En **mode instrument logique** le focus, ainsi que le contexte, sont affichés sur l'écran de l'ordinateur et l'utilisateur dispose d'outils pour interagir avec ceux-ci. Le focus est représenté par une loupe, qui, placée au-dessus du contexte, permet d'afficher les détails de la zone qu'elle survole. Le fait de positionner le focus au-dessus du contexte permet à l'utilisateur de situer sa position dans celui-ci. On peut voir sur la figure 3 l'utilisation de notre visionneuse en mode instrument logique : on peut y voir que les détails du contexte ne sont pas accessibles du fait du redimensionnement de la carte relatif à sa grande taille (elle est trop grande pour être affichée à l'écran complètement).

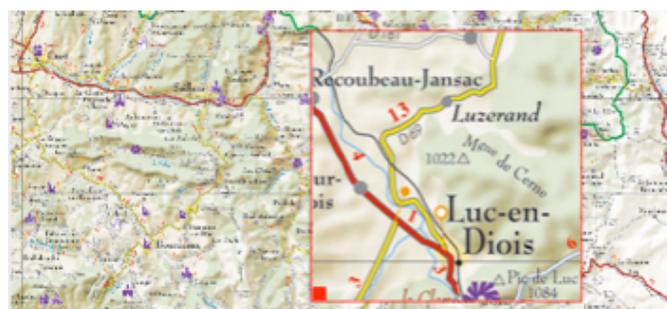


Fig. 3 - Utilisation de la visionneuse en mode Instrument logique

En **mode extension de l'application** le focus est affiché sur l'écran du PDA. L'utilisateur dispose d'une vue détaillée de la carte directement affichée sur l'écran de celui-ci qui lui permet d'interagir avec celle-ci. Il faut noter que l'utilisateur doit disposer d'un repère lui permettant de situer le focus dans le contexte et nous avons choisi d'utiliser un cadre rouge représentant ce qu'il voit sur l'écran du PDA. On peut voir sur la figure 4 l'utilisation de la visionneuse en mode

extension de l'application : à gauche une capture de l'écran du PDA où l'on peut voir le focus en détail et à droite une capture de l'écran de l'ordinateur où l'on peut voir le contexte ainsi que le repère destiné à situer le focus.

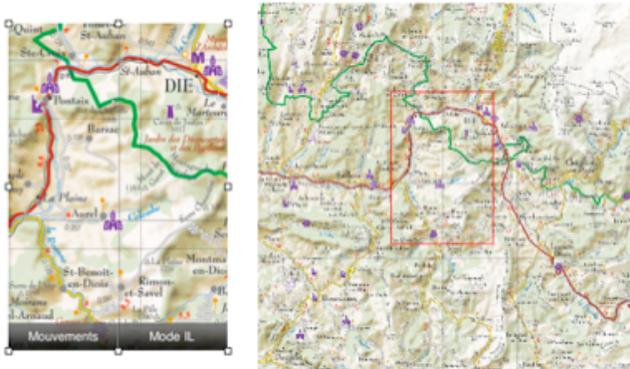


Fig. 4 - La visionneuse en mode extension de l'application

#### L'aspect interaction bi-manuelle

L'assignation de tâches complémentaires à la main non dominante et à la main dominante de l'utilisateur spécifie l'aspect bi-manuel de notre application. Ces tâches sont les suivantes : positionner le focus et placer des marqueurs dans celui-ci. Le focus étant de le contexte de travail, son placement doit être assigné à la main non dominante de l'utilisateur et le placement des marqueurs sera donc assigné à sa main dominante.

Pour réaliser la première tâche, placer le focus, notre application permet l'utilisation de deux modalités : des gestes discrets et des gestes continus. L'interaction par gestes discrets fonctionne de la manière suivante (figure 5, à gauche) : l'utilisateur penche le PDA et le focus se déplace dans cette direction. Par exemple, pencher le PDA à droite fera se déplacer le focus vers la droite. L'interaction par gestes continus, quant à elle, fonctionne ainsi (figure 5, à droite) : un geste brusque, une fois reconnu fera se déplacer la carte automatiquement dans le sens de celui-ci. Par exemple, un geste brusque vers le haut, et le focus se déplacera vers le haut jusqu'à ce que l'utilisateur stoppe le déplacement.



Fig. 5 - Les deux interactions gestuelles

Ensuite, la deuxième tâche (placer des marqueurs sur le focus) est réalisée de manière différente selon le mode choisi (instrument logique ou extension de l'application). Quelque soit le mode l'utilisateur peut placer des marqueurs sur la

carte par l'intermédiaire du focus, il peut aussi en sélectionner, en supprimer et en déplacer. En mode instrument logique le focus est affiché sur l'écran de l'ordinateur. L'utilisateur dispose d'un trackpad pour interagir avec celui-ci (figure 6, à droite), ce trackpad lui permet de déplacer un pointeur dans le focus qui lui permet de gérer ses marqueurs. En mode extension de l'application le focus est affiché directement sur l'écran du PDA (figure 6, à gauche) et l'utilisateur peut interagir avec celui-ci en utilisant le tactile de celui-ci.

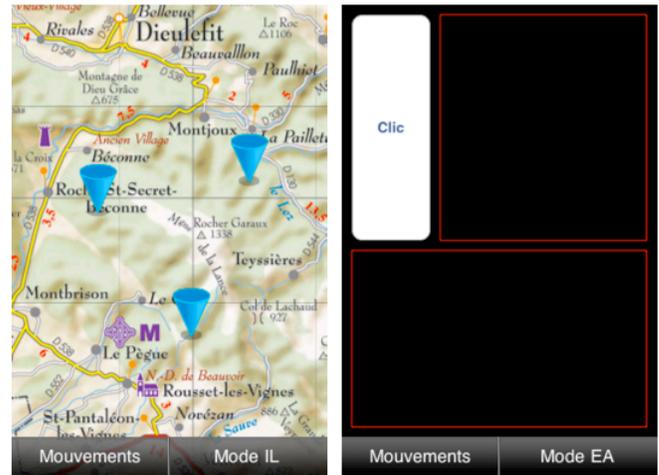


Fig. 6 - l'interaction de la main dominante dans les deux modes de l'application

Notons que, quelque soit le mode, il est aussi possible pour l'utilisateur de placer le focus avec sa main dominante c'est-à-dire d'utiliser l'interaction uni-manuelle pour manipuler la carte et son focus. (En mode instrument logique le 2<sup>e</sup> trackpad sert à placer le focus).

## V. IMPLEMENTATION

L'appareil que nous avons choisi pour jouer le rôle du dispositif portable est l'iPhone. L'iphone est un téléphone de type Smartphone adapté à notre application car il embarque des capteurs d'accélération ainsi qu'un écran tactile multi-point. Les accéléromètres de l'iPhone nous ont permis de réaliser les interactions gestuelles et son écran tactile les interactions avec le focus. Il faut noter que la possibilité d'utiliser plusieurs doigts pour interagir avec celui-ci a été mis à profit, par exemple, en mode extension de l'application il est possible de déplacer le focus et de zoomer dans celui-ci en utilisant deux doigts.

## VI. PERSPECTIVES ET CONCLUSION

L'application que nous avons développée propose deux modes qui, étant donné qu'ils permettent de réaliser la même tâche, permettent de mettre en parallèle les deux rôles qu'ils illustrent. Cette mise en parallèle pourra être utilisée pour réaliser des évaluations expérimentales visant à comparer le rôle d'instrument logique et d'extension de l'application au travers de tâches et de mesures qu'il convient de définir (protocole expérimental) : par exemple mesurer le taux de

satisfaction de l'utilisateur ou encore l'efficacité de chacun des rôles pour une tâche donnée. Ensuite, pour le rôle d'instrument logique et le rôle d'extension de l'application il est possible d'utiliser l'interaction uni-manuelle et bi-manuelle et donc de les mettre en parallèle là aussi : au même titre que pour les rôles, il sera possible de comparer ces deux techniques d'interaction dans deux contextes différents (instrument logique et extension de l'application). Cette évaluation est importante car l'interaction bi-manuelle n'est pas fondamentalement meilleure que l'interaction uni-manuelle et son efficacité doit être mesurée empiriquement.

## REFERENCES

- [1] Alsos O. A., Svanaes D., **Interaction Techniques for Using Handhelds and PCs Together in a Clinical Setting**, NordiCHI'06, ACM, octobre 2006, pp 125-134.
- [2] Athènes S., **Adaptabilité et développement de la posture manuelle dans l'écriture : Etude comparative du droitier et du gaucher**, 1984, *Unpublished memorandum* : Université d'Aix-Marseille II.
- [3] Buxton W., Mayers B., **A study in two-handed input**, CHI 1986, pp 321-326.
- [4] Beaudouin-Lafon M., **Interaction instrumentale : de la manipulation directe à la réalité augmentée**, IHM'97, septembre 1997, pp 97-104.
- [5] Guiard Y., **Asymmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action : The Kinematic Chain as a Model**, Journal of Motor Behavior 1987, pp 486-517.
- [6] Jeon S., Hwang J., Kim G. J., Bilinghurst M., **Interaction Techniques in Large Display Environments using Handheld Devices**, VRST'06, ACM, novembre 2006, pp 100-103.
- [7] Kela J., Korpipää P., Mäntyjärvi J., Kallio S., Savino G., Jozzo L., Di Marca S., **Accelerometer-based gesture control for a design environment**, **Personal and Ubiquitous Computing**, Springer-Verlag, juillet 2006, pp 285-299.
- [8] Leganchuk A., Zhai S., Buxton W., **Manual and Cognitive Benefits of Two-Handed Input: An Experimental Study**, Transactions on Human-Computer Interaction, 1998, pp 326-359.
- [9] Myers B., Lie K., and Yang B., **Two-Handed Input Using a PDA And a Mouse**, CHI'00, ACM, avril 2000, pp 41-48.
- [10] Myers B., Nichols J., Wobbrock J., Miller R., **Taking Handheld Devices to the Next Level**, IEE, décembre 2004, pp 36-43.
- [11] Vernier F., **La multimodalité en sortie et son application à la visualisation de grandes quantités d'information**, thèse de l'université Joseph Fourier, 2001.
- [12] Yee K., **Peephole displays: pen interaction on specially aware handheld computers**, Conference on Human Factors in Computing Systems, 2003, pp 1-8