HAL
open science

Visualisation bifocale sur supports mobiles : une étude empirique

Sébastien Pelurson, Laurence Nigay

To cite this version:

Sébastien Pelurson, Laurence Nigay. Visualisation bifocale sur supports mobiles : une étude empirique. 27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine., Oct 2015, Toulouse, France. pp.a20, 10.1145/2820619.2820639 . hal-01218771

HAL Id: hal-01218771

https://hal.science/hal-01218771v1

Submitted on 21 Oct 2015

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.

Visualisation bifocale sur supports mobiles : une étude empirique

Sébastien Pelurson[1, 2] et Laurence Nigay[1]

[1]Université Grenoble Alpes, LIG, CNRS
38000 Grenoble, France
prenom.nom@imag.fr

[2]Société Motwin
38240 Meylan, France
prenom.nom@motwin.com

RÉSUMÉ

La visualisation interactive sur supports mobiles traite du problème d'une grande quantité d'informations sur un écran par définition de taille réduite pour sa mobilité. En considérant des données 1D ou temporelles, l'article décrit une exploration empirique d'une visualisation bifocale sur un téléphone mobile (iPhone 4). La vue bifocale est obtenue en appliquant une fonction de transformation à la dimension horizontale de l'espace des données : la vue détaillée au centre (le focus) et les deux vues non détaillées de chaque côté (le contexte) sont particulièrement adaptées pour optimiser la taille occupée à l'écran en mode paysage. Une première étude qualitative concerne l'interface en sortie. Elle confirme l'apport d'une visualisation bifocale (affichant l'espace d'informations en utilisant deux niveaux de détail) sur téléphone mobile pour un ensemble de tâches nécessitant l'exploration de l'ensemble des données. Dans une deuxième étude quantitative, nous étudions deux modalités combinées qui visent à améliorer la technique de défilement classique gestuelle par *flick* : (*interaction physique* dans l'espace + *flick*) et (*tilt* + *flick*). Les performances de la modalité combinée (*interaction physique* + *flick*) sont meilleures que celles de la modalité combinée (*tilt* + *flick*) pour des tâches nécessitant un grand déplacement dans l'espace des données.

Mots Clés

Visualisation bifocale ; Interaction Mobile ; Modalités de Défilement.

ACM Classification Keywords

H.5.2 Information interfaces and presentation: User Interfaces

INTRODUCTION

L'évolution technologique des *smartphones* a considérablement changé les habitudes des utilisateurs qui peuvent maintenant accéder à leurs données n'importe où et n'importe quand (emails, emploi du temps, etc.). Bien que les performances des dispositifs mobiles soient aujourd'hui proches de celles des ordinateurs de bureau, les capacités d'interaction (modalités en entrée et en sortie) sont limitées par la petite taille du dispositif et par les conditions de mobilité (ex : marcher dans la rue en portant un sac). En effet, la nécessité pour ces appareils d'être mobiles implique une taille d'écran limitée et un faible nombre de boutons physiques. Dans ce contexte, l'étude de la visualisation interactive de grandes quantités de données sur supports mobiles répond au besoin important de pouvoir manipuler de grandes quantités de données au moyen d'un *smartphone*.

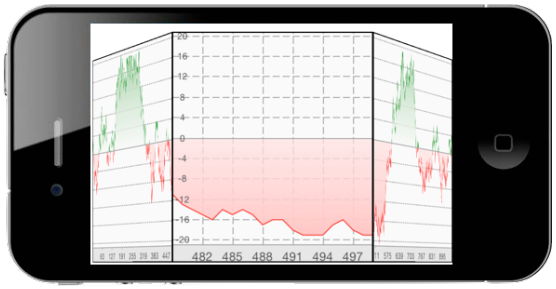


Figure 1. Visualisation bifocale développée sur iPhone 4 et appliquée à des données financières.

Plusieurs études ont porté sur la visualisation interactive de structures d'informations spatiales et tabulaires (espace d'informations représenté sous forme de tables) sur les dispositifs mobiles et notamment des cartes [17, 21, 26]. Des structures d'informations 1D et temporelles sont aussi de plus en plus manipulées sur dispositifs mobiles comme des données financières d'une application pour suivre la bourse (figure 1) ou encore des données personnelles sur nos activités physiques ou notre bien-être (nombre de pas, de calories brûlées, de micromouvements lors du sommeil, etc.). Dans cet article nous nous intéressons à la visualisation interactive de ce type de données dont la structure est 1D et/ou temporelle.

Face à un grand espace d'informations, deux stratégies Vue globale+Détail (*Overview+Details*) et Focus+Contexte (*Focus+Context*) permettent à l'utilisateur d'obtenir une vue d'ensemble de l'espace d'informations et une partie de l'espace suffisamment détaillée pour réaliser la tâche. Les approches Vue globale+Détail sont étudiées sur supports mobiles par

© ACM, 2015. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution. The definitive version was published in Actes de la 27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, 2015.
http://dx.doi.org/10.1145/2820619.2820639

Burigat et Chittaro [9]. Cet article traite d'une visualisation bifocale de type Focus+Contexte, avec deux niveaux de détail. Au sein d'une vue unique intégrée, l'espace d'informations est alors représenté par deux vues avec deux niveaux de détail (figure 1) : une vue détaillée, le focus, pour que l'utilisateur puisse réaliser la tâche et une vue présentant le reste de l'espace d'informations de façon non détaillée, le contexte.

Bien que les études sur la visualisation bifocale soient nombreuses [16] et que des applications commerciales comme iTunes 7.0 (caroussel Cover Flow[1]) ou le dock de Mac OS[2] intègrent une visualisation bifocale, très peu d'études empiriques ont été menées sur supports mobiles. Ce constat a motivé l'évaluation quantitative et qualitative d'une visualisation bifocale sur iPhone 4 que nous décrivons dans cet article. Nous confirmons d'abord par une pré-étude expérimentale qualitative l'apport d'une visualisation bifocale sur un écran de petite taille d'un téléphone, en particulier pour les tâches nécessitant une exploration de tout l'espace des données (tâches de type synoptique). Nous présentons ensuite les résultats d'une expérimentation de deux modalités combinées pour naviguer dans la vue bifocale. Les performances de la modalité combinée (*interaction physique* + *flick*) sont meilleures que celles de la modalité combinée (*tilt* + *flick*) pour des tâches nécessitant un grand déplacement dans l'espace des données.

Après une revue des études empiriques menées sur supports mobiles, nous présentons la visualisation interactive bifocale conçue et développée puis les deux évaluations, l'une sur l'interface en sortie en focalisant sur la vue bifocale et l'autre sur l'interface en entrée en étudiant les modalités de navigation dans la vue bifocale.

MOTIVATION : PEU D'ÉTUDES EMPIRIQUES SUR SUPPORTS MOBILES

Nous limitons la revue des travaux existants aux études empiriques concernant des visualisations de type Focus+Contexte ainsi que des techniques de navigation/défilement sur supports mobiles.

Focus+Contexte : Études Empiriques

Plusieurs visualisations de type Focus+Contexte ont été évaluées sur un PC de bureau comme l'étude de Kincaid [16]. Néanmoins ces résultats expérimentaux peuvent ne pas être valables sur des dispositifs mobiles. En effet les dispositifs mobiles impliquent des contraintes spécifiques [10] pour la visualisation d'informations, y compris la petite taille de l'écran et l'instabilité lors de la navigation en raison de la mobilité.

Sur dispositifs mobiles, plusieurs visualisations de type Focus+Contexte ont été conçues [7, 13, 18, 26] pour différents types de structures d'informations et de domaines applicatifs comme un navigateur web ou une carte. Des évaluations quantitatives sont rapportées pour trois de ces visualisations [7, 13, 18]. DateLens de Bederson et al. [6] est dédiée à la visualisation bifocale d'un agenda sous la forme d'un tableau et a été quantitativement évaluée d'abord sur un simulateur sur PC puis sur un Pocket PC par 8 participants pendant 3 jours. Par opposition à DateLens, la visualisation Focus+Contexte décrite et évaluée par Huot et Lecolinet [14] est dédiée à des données linéaires 1D avec un faible niveau de détail. En effet, l'espace à l'écran est principalement utilisé par le contexte, avec un focus de petite taille.

Pour les deux plates-formes, un PC de bureau ou un dispositif mobile, les résultats expérimentaux montrent que l'efficacité d'une visualisation Focus+Contexte dépend fortement des tâches [5] (PC) [6, 13] (dispositif mobile). Notre évaluation quantitative de la vue bifocale conçue et développée considère donc différentes tâches de la taxonomie des tâches décrite par Andrienko [1].

Navigation/Défilement : Études Empiriques

La principale tâche élémentaire pour une technique de visualisation Focus+Contexte est de déplacer les données du contexte dans le focus afin d'obtenir un niveau de détail des données adapté à la réalisation de la tâche [2]. Nous étudions donc les modalités de navigation/défilement sur un dispositif mobile qui permettraient la réalisation de cette tâche élémentaire.

Sur un dispositif mobile, la technique décrite par Kratz et al. [17] étend la technique SDAZ de Igarashi et Hinckley [15] pour naviguer dans une carte en exploitant l'inclinaison du dispositif (*tilt*). Les auteurs ont comparé cette modalité *tilt* avec la modalité *multitouch* standard. Les résultats montrent que la modalité *tilt* a des performances comparables à la modalité *multitouch*. Deux études [21, 24] explorent une autre modalité basée sur la manipulation spatiale du dispositif mobile. Aussi notée *interaction physique* par Baglioni et al [4], l'utilisateur déplace dans l'espace le dispositif mobile pour naviguer dans l'espace d'informations virtuellement positionné devant l'utilisateur. Les deux études comparent *l'interaction physique* avec la technique standard du *Pinch-Drag-Flick*. Les résultats de Pahud et al. [21] montrent des performances comparables pour les deux modalités, tandis que la modalité basée sur l'interaction physique de Spindler et al. [24] offre de meilleures performances que *Pinch-Drag-Flick*. Toutes ces études sont basées sur une structure d'informations spatiale (2D). Dans notre étude de la navigation dans une vue bifocale de données 1D, nous considérons une modalité basée sur la manipulation spatiale du dispositif mobile ou *interaction physique*.

Pour les tâches de navigation dans un espace d'informations à une dimension, la modalité *tilt* a été comparée à celle du *flick* par Fitchett et Cockburn [11].

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Cover_Flow

[2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Dock_(Mac_OS_X)

Pour une position statique, les performances du *tilt* sont meilleures que celles du *flick*. Néanmoins, l'expérimentation était dédiée à des tâches de lecture et d'analyse. Ces tâches impliquent des défilements peu rapides et pour de courtes distances. De façon complémentaire à cette étude, notre expérimentation des modalités de navigation focalise que sur le défilement, comme réalisé par Appert et Fekete [3], pour de grandes distances à parcourir, sans considérer la perception des valeurs de données par l'utilisateur.

TECHNIQUE CONÇUE : VISUALISATION BIFOCALE ET MODALITÉS DE NAVIGATION

Nous avons conçu et développé sur iPhone 4 une visualisation bifocale ainsi que deux modalités combinées de navigation.

Vue Bifocale

Nous avons appliqué une fonction de transformation à la dimension horizontale de l'espace des données 1D pour obtenir une vue détaillée au centre (le focus) et deux vues non détaillées de chaque côté (le contexte). La vue bifocale obtenue (figure 1) est particulièrement adaptée pour optimiser la taille occupée à l'écran en mode paysage. La vue gère alors deux niveaux distincts de détail et la fonction de transformation mise en œuvre est celle décrite par Leung et Apperley [19] et rappelée à la figure 2. Tout en fournissant une vue globale et une vue détaillée intégrées, l'inconvénient est la discontinuité perceptible aux frontières entre la vue détaillée du focus et les vues déformées du contexte [19]. Le mur en perspective décrit par Mackinlay et al. [20] est une généralisation de l'affichage bifocal et applique une fonction de transformation non constante pour fournir une continuité perceptuelle entre le focus et le contexte. La solution que nous avons implémentée considère que deux niveaux de détail. Cependant, du mur en perspective [20], nous réutilisons l'effet de perspective 3D intuitif qui permet d'afficher plus d'informations dans l'espace du contexte [20] comme l'illustre la figure 3.

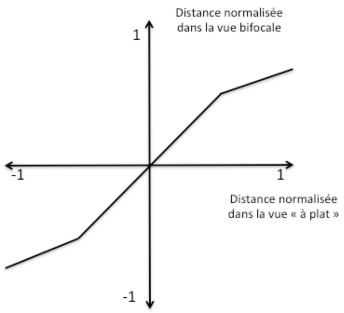


Figure 2 - Fonction de transformation de la vue bifocale implémentée [19].

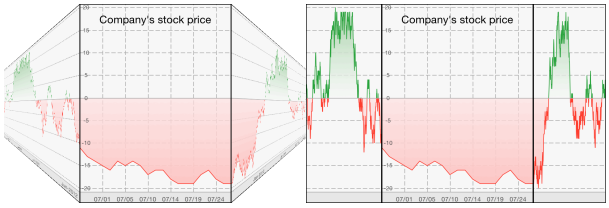


Figure 3. Vue bifocale en perspective (gauche) et sans perspective (droite) du même ensemble de données.

Dans la vue bifocale mise en œuvre de la figure 1 et de la figure 3 (gauche), le contexte est donc visualisé en perspective.

Modalités de Navigation

La modalité gestuelle la plus couramment utilisée sur téléphone mobile consiste à faire défiler l'espace des données en faisant des gestes *flick* successifs (gestes rapides de balayage du doigt sur l'écran). Pour un grand espace d'informations, cette modalité de navigation/défilement peut être fastidieuse et longue [24]. Plusieurs variantes pour améliorer la modalité gestuelle par *flick* sont proposées par Baglioni et al. [4] comme le *Flick-and-brake*.

Nous avons exploré d'autres modalités que celles gestuelles tactiles. Pour cela, nous avons d'abord éliminé la modalité de pointage direct dans le contexte pour un accès direct. En effet l'espace alloué au contexte est de petite taille. Un geste de pointage direct serait difficile et imprécis : problèmes de précision au doigt, d'occultation de la cible et de difficulté au bord de l'écran. Les deux modalités choisies sont complémentaires, l'une reposant sur l'inclinaison du téléphone, modalité *tilt*, l'autre sur la manipulation spatiale du téléphone ou *interaction physique* [4].

Comme énoncé précédemment, la modalité *tilt* a été comparée à la modalité *flick* par Fitchett et Cockburn [11], mais pour des déplacements courts. Il est donc pertinent d'étudier cette comparaison pour de grandes distances à parcourir dans l'espace d'informations. De plus les bons résultats expérimentaux obtenus par Spindler et al. [24] pour une navigation dans un espace d'informations 2D nous ont incité à considérer une modalité basée sur l'*interaction physique*, par manipulation spatiale du téléphone, pour le cas d'un espace d'informations 1D.

Nous avons réalisé une étude pilote avec 12 participants qui ont montré rapidement les limitations en terme de précision pour les deux modalités *tilt* et *interaction physique*. Ce constat nous a incité à considérer la combinaison de deux modalités : une modalité rapide mais imprécise comme les modalités *tilt* et *interaction physique*, et une modalité précise par *flick*. La combinaison de deux modalités correspond de plus à la décomposition de la tâche de navigation en deux phases : une phase rapide qui permet d'amener la cible dans le focus (*focus targeting*) puis une phase précise

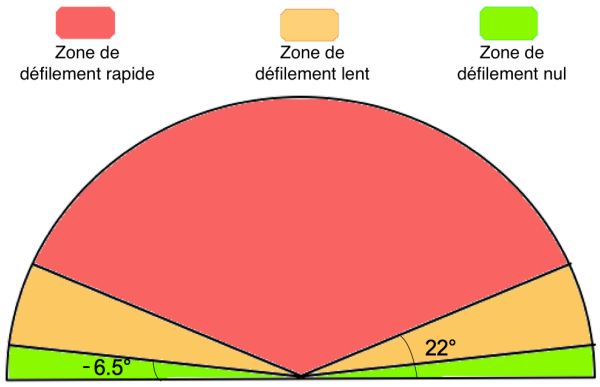


Figure 4. Modalité *tilt* : Conversion de l'angle d'inclinaison du dispositif en vitesse.

consistant à déplacer le curseur sur la cible dans le focus [2]. L'enjeu de conception est donc d'assigner à chacune des deux phases une modalité adéquate aux besoins (rapidité et précision) mais aussi de permettre un enchainement rapide entre l'usage des deux modalités voir un usage entrelacé [25] des deux modalités.

Nous avons donc considéré deux modalités combinées permettant dans le cas de longues distances à parcourir d'améliorer la modalité gestuelle couramment utilisée et reposant sur des gestes *flick*. Les deux modalités combinées sont (*tilt* + *flick*) et (*interaction physique* + *flick*). Les trois modalités *flick*, (*tilt* + *flick*) et (*interaction physique* + *flick*) agissent sur l'espace focus. Cela signifie qu'un déplacement d'un pixel (peu importe la modalité utilisée), entraîne un déplacement d'un pixel dans l'espace focus.

Modalité flick

La mise en œuvre de la modalité *flick,* qu'elle soit utilisée seule ou en combinaison avec une autre modalité, est celle existante du SDK iOS. L'utilisateur doit débuter son geste *flick* dans le focus.

Modalité (tilt + flick)

Pour la modalité combinée (*tilt* + *flick*), les deux modalités reposent sur la même métaphore d'interaction, de déplacement d'un ruban à l'écran (accès relatif aux données). Les deux modalités *tilt* et *flick* sont actives à tout instant et peuvent être utilisées en parallèle autorisant ainsi un usage entrelacé des deux modalités.

La modalité *tilt* de défilement par inclinaison du dispositif est mise en œuvre comme celle décrite par Fitchett et Cockburn [11], en utilisant l'accéléromètre intégré. Nous avons utilisé une conversion linéaire de l'angle d'inclinaison en vitesse. Pour augmenter la précision lors de la navigation, nous réduisons la vitesse de défilement par 3 quand l'angle d'inclinaison est compris entre -22° et 22° par rapport à la position de référence (figure 4). Cette dernière est fixée lors du lancement de l'application. La valeur de l'angle à +/-22° a été fixée de façon expérimentale. Nous avons demandé à 4 utilisateurs de nous dire à haute voix à partir de quel seuil ils aimeraient voir la vitesse diminuée. L'angle d'inclinaison du téléphone affiché en direct sur un écran nous permettait de connaître la valeur désirée par l'utilisateur. 22° est la moyenne des valeurs observées. Plutôt que de proposer une activation sur demande de la modalité *tilt*, qui implique une action supplémentaire de l'utilisateur, nous définissons comme Fitchett et Cockburn [11] une zone (6.5° de chaque côté de la position de référence) dans laquelle les mouvements n'entraînent pas de défilement (figure 4). Cela augmente la stabilité de la modalité.

Modalité (interaction physique + flick)

Pour la modalité combinée (*interaction physique* + *flick*), les deux modalités correspondent à deux métaphores d'interaction différentes. En effet tandis que le *flick* permet de déplacer un ruban dont une partie est affichée à l'écran (accès relatif), la modalité reposant sur *l'interaction physique* permet un accès direct à des données en positionnant le dispositif lui-même sur un ruban virtuel placé devant l'utilisateur (accès absolu). Pour éviter des déplacements non voulus lors d'interaction ou en situation de mobilité, la modalité *interaction physique* n'est activée que lorsque l'utilisateur maintient un doigt appuyé (quasi-mode comme la technique de Spindler et al. [24]) dans la zone du contexte de la vue bifocale. Ainsi un appui dans la zone du contexte active la modalité *interaction physique* et un appui dans le focus active la modalité *flick*. L'activation sur demande de la modalité *interaction physique* permet à l'utilisateur de passer d'un accès relatif à absolu et ainsi avoir une position stable dans l'espace d'informations lorsque la modalité *interaction physique* n'est pas activée. Du fait qu'il y a une correspondance entre la position physique du dispositif mobile et la position virtuelle dans les données, nous n'avons pas utilisé une zone dans laquelle aucun défilement n'est déclenché, comme appliqué pour la modalité combinée (*tilt* + *flick*). Cela aurait créé un décalage dans la correspondance entre la position physique du dispositif et la position virtuelle dans les données lors de chaque arrêt : la modalité aurait alors été moins précise et intuitive. Il convient néanmoins de noter que contrairement à la modalité (*tilt* + *flick*), l'utilisateur ne peut donc pas utiliser les deux modalités *interaction physique* et *flick* en parallèle. Pour la mise en œuvre de la modalité *interaction physique* nous avons utilisé les capteurs intégrés au dispositif, bien que des systèmes de positionnement plus précis existent (par exemple, OptiTrack). En effet nous voulions utiliser la technologie actuelle disponible sur les *smartphones*. Les accéléromètres intégrés permettent de détecter des translations. Néanmoins la double intégration nécessaire pour le calcul rend cette méthode peu fiable car de petits écarts de mesure des capteurs provoquent rapidement de grosses erreurs comme expliqué par Yun et al. [27]. C'est encore plus vrai dans notre cas où les mouvements

Figure 5. Modalité *interaction physique* : pour un accès direct à des données, l'utilisateur déplace le dispositif sur un ruban virtuel placé en arc de cercle devant lui et correspondant à l'espace des données.

sont courts (moins d'un mètre). Aussi, nous avons opté pour une solution consistant à décrire un arc de cercle autour de soi comme décrit par Pahud et al. [21]. De plus comme rapporté par Pahud et al. [21], l'utilisateur a naturellement tendance à déplacer les bras de manière circulaire, ce qui rend cette solution particulièrement bien adaptée. La mise en œuvre de la modalité *interaction physique* permet de parcourir entièrement l'espace d'informations avec un angle de 180° (figure 5). Comme pour la modalité *tilt*, la position initiale a été fixée au lancement de l'application : la position du dispositif au moment du lancement de l'application est fixée au milieu de l'ensemble de données.

Nous avons mené deux expérimentations de la visualisation bifocale interactive ainsi conçue et développée. Tandis que la première expérimentation focalise uniquement sur l'interface en sortie, la vue bifocale, la deuxième est consacrée aux modalités en entrée de navigation dans la vue bifocale.

EXPÉRIMENTATION 1 : VUE BIFOCALE (INTERFACE EN SORTIE)

Nous avons mené une étude préliminaire qualitative pour comparer la vue bifocale mise en œuvre avec des vues plus couramment utilisées sur les dispositifs mobiles. Le principal objectif de cette première expérimentation était de montrer par une évaluation qualitative (préférence et satisfaction de l'utilisateur) que la vue bifocale offre un bon compromis par rapport à deux autres visualisations plus couramment utilisées sur mobile et décrites dans la partie suivante. Cette évaluation nous a également permis de comparer deux tailles de focus sur un écran d'iPhone 4 (960 pixels de largeur en mode paysage) pour la visualisation bifocale.

Quatre Vues Comparées

Nous avons comparé deux versions de la vue bifocale à deux autres vues : (1) une vue globale affichant toutes les données dont les valeurs sont accessibles avec un curseur et (2) une vue détaillée qui affiche les valeurs suffisamment larges à l'écran pour être lisibles sans curseur, mais qui nécessite de naviguer.

1. La taille de l'espace d'informations a été sélectionnée pour que l'espace soit entièrement affichable sur l'écran d'un iPhone 4 en considérant un pixel par valeur. L'espace d'informations résultant contient donc 960 données. Dans la vue qui affiche tout l'espace d'informations, l'utilisateur déplace le curseur pour obtenir la valeur d'une donnée (vue intitulée ENTIRE, figure 6-a). Nous ne considérons pas les approches qui gèrent plus d'une valeur par pixel comme l'interaction *subpixel* de Roussel et al. [22]. Notre objectif était de ne pas favoriser la vue bifocale en la comparant à une vue qui permette d'accéder à toutes les valeurs des données en déplaçant un curseur à l'écran.
2. La vue détaillée (vue intitulée FOCUS, figure 6-b) affiche directement les valeurs de 20 données à l'écran. Le curseur n'est donc pas utile. Pour naviguer dans l'espace d'informations, l'utilisateur effectue un geste de glissement ou geste *swipe* pour faire défiler de 20 données.

Pour la vue bifocale, le focus affiche également les valeurs de 20 données comme dans la vue détaillée décrite ci-dessus. De même, le déplacement du focus de 20 données se fait par un geste *swipe*. Dans l'expérimentation nous considérons deux versions de la vue bifocale ayant des tailles de focus différentes : (1) un focus de 500 pixels de largeur (vue intitulée BIFOCAL-Small, figure 6-c) impliquant que le contexte affiche une donnée sur deux (2) un focus de 800 pixels de largeur (vue intitulée BIFOCAL-Large, figure 6-d) impliquant que le contexte affiche une donnée sur six.

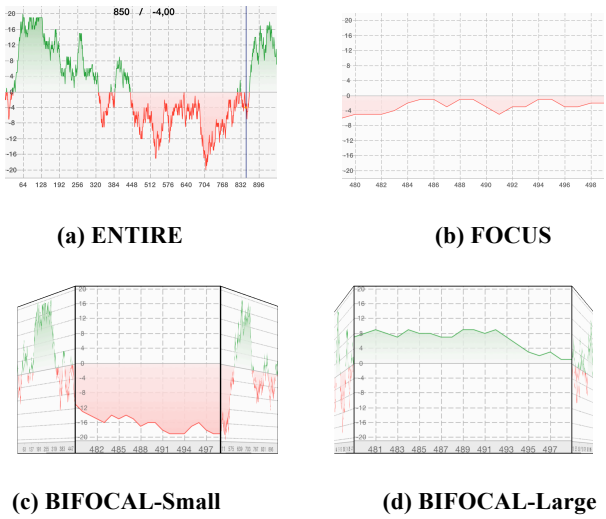


Figure 6. Quatre vues comparées. (a) ENTIRE = Vue globale avec un curseur (trait mis en évidence en bleu) pour accéder à la valeur d'une donnée affichée en haut de l'écran (b) FOCUS = Vue détaillée affichant les valeurs de 20 données (c) BIFOCAL-Small = Vue bifocale avec un focus de 500 pixels de largeur (d) BIFOCAL-Large = Vue bifocale avec un focus de 800 pixels de largeur.

Pour les deux versions de la vue bifocale, les valeurs des données sont affichées dans le focus. De plus l'utilisateur peut accéder aux valeurs des données du contexte (si disponibles) en déplaçant le curseur dans la vue du contexte. Les deux vues bifocales mettent en œuvre deux niveaux de détail, et diffèrent donc dans le niveau de détail du contexte en ayant des tailles de focus distinctes.

Participants, Tâches et Procédure

Nous avons recruté 16 bénévoles, des ingénieurs professionnels en informatique à l'exception de quatre chercheurs de notre laboratoire. Les participants sont tous des utilisateurs réguliers de téléphones mobiles tactiles et sont familiers des graphes comme ceux présentés par les vues comparées.

À partir de la taxonomie des tâches décrite par Andrienko [1], nous avons sélectionné uniquement des tâches élémentaires. En effet les tâches plus complexes résultent de la combinaison de ces tâches élémentaires. Les cinq types de tâches sélectionnés sont :

T1: tâche de consultation directe d'une valeur proche du focus (un geste *swipe* pour la vue détaillée). Un exemple de tâche concrète serait l'accès à la valeur d'un cours boursier ou d'un taux d'intérêt qui soit proche de la date courante visualisée.

T2: tâche de consultation directe d'une valeur éloignée du focus (au moins 5 gestes *swipe* pour la vue détaillée). Un exemple de tâche concrète serait l'accès à la valeur d'un cours boursier le même mois que celui courant mais de l'année précédente.

T3: tâche de type synoptique impliquant d'explorer l'ensemble de données. Trois tâches ont été considérées : trouver la valeur maximale et minimale d'un cours boursier et trouver la date la plus ancienne où la valeur d'un taux d'intérêt était nulle.

T4: tâche de comparaison entre deux valeurs proches (deux gestes *swipe* dans la vue détaillée pour accéder aux deux valeurs). Un exemple de tâche concrète serait de comparer la valeur d'un cours boursier sur deux jours consécutifs.

T5: tâche de comparaison entre deux valeurs éloignées (au moins dix gestes *swipe* dans la vue détaillée pour accéder aux deux valeurs). Un exemple de tâche concrète serait de comparer la valeur d'un cours boursier le même jour de deux années consécutives.

Cet ensemble de tâches permet de montrer l'apport de chacune des vues comparées. L'exécution d'une tâche de type T5 semble par exemple particulièrement bien adaptée à la vue ENTIRE tandis qu'une vue FOCUS sera plus adaptée aux tâches de type T1 ou T4. En choisissant cet ensemble, nous ne défavorisons donc pas l'une ou l'autre des vues comparées.

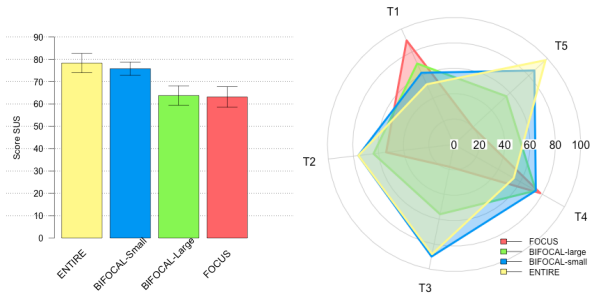
Chaque participant a effectué les cinq types de tâches trois fois par vue en utilisant un iPhone 4. L'ordre des 15 tâches qui en découlent a été décidé au hasard, mais l'ordre était le même pour les 4 vues. L'ordre de présentation des 4 vues a été contrebalancé par un carré latin. Les participants ont utilisé chaque vue avec un espace d'informations différent. L'ordre des 4 espaces d'informations a été contrebalancé par un carré latin. La consigne donnée aux 16 participants était d'être aussi rapide et précis que possible. Après avoir effectué les 15 tâches pour une vue, les participants ont répondu à un questionnaire SUS [8] : l'objectif était de recueillir le point de vue subjectif du participant sur la vue utilisée. Enfin il était demandé aux participants de classer les quatre vues par ordre de préférence pour les cinq types de tâches à la fin de la session (les ex-aequo étant autorisés). Une session a duré en moyenne 45 minutes.

Résultats et Discussion

À la figure 7-a, les quatre vues sont ordonnées de gauche à droite par ordre décroissant de score moyen SUS. La vue globale (ENTIRE) et celle bifocale avec un focus de 500 pixels de largeur (BIFOCAL-Small) obtiennent les scores SUS les plus élevés, en moyenne supérieurs à 75. Les deux autres vues (BIFOCAL-Large et FOCUS) sont perçues comme moins utilisables avec un score SUS de 63. La figure 7-b présente les classements de préférences des vues pour les cinq types de tâches sous forme de diagrammes en radar.

Pour calculer le score global de préférences, noté S, pour chaque vue et pour chaque type de tâches, nous avons appliqué la formule suivante : $S = 7 \times 1^{er} + 5 \times 2^{ème} + 3 \times 3^{ème} + 4^{ème}$ où 1er, 2ème, 3ème et 4ème correspondent au rang de préférences. Nous avons vérifié que des coefficients inférieurs ({4, 3, 2, 1} au lieu de {7, 5, 3, 1} ci-dessus), donnent des résultats comparables.

Les résultats confirment que la préférence pour une vue bifocale dépend du type de tâches, comme souligné par Bederson et al. [6] et Ganhör [13]. Aussi une vue bifocale n'est pas forcément meilleure dans tous les cas, mais n'est pas mauvaise peu importe la tâche réalisée.



(a) (b)

Figure 7. (a) Les scores SUS moyens avec un intervalle de confiance correspondant de 95 % (b) Classement de préférences des vues par type de tâches.

La vue bifocale BIFOCAL-Small est par exemple préférée pour la tâche de type synoptique impliquant une exploration de tout l'espace d'informations. Pour les autres types de tâches, une vue bifocale est toujours classée en 2ème position de préférence. Elle définit donc un bon compromis pour tous les types de tâches considérés.

Les résultats ne sont pas surprenants, mais sont utiles pour confirmer empiriquement l'intérêt d'une vue bifocale sur un petit écran d'un téléphone mobile quand différents types de tâches sont requis. En effet, la possibilité de visualiser simultanément un espace détaillé (le focus) et le reste des données (le contexte) est un apport considérable sur un écran de petite taille (ce qui a été souligné par quasiment tous les utilisateurs). Dans le cas où une seule tâche est requise (par exemple une tâche de type T1), une autre technique pourra être plus appropriée (FOCUS dans le cas de T1).

De plus, le classement différent par type de tâches des deux vues bifocales suggère de permettre à l'utilisateur de modifier la taille du focus comme le propose Mackinlay et al. [20]. Sur téléphone mobile, nous avons implémenté cette possibilité de changer la taille du focus par un geste *pinch* effectué dans le focus. Pour l'expérimentation suivante dédiée aux modalités en entrée de navigation dans une vue bifocale, nous avons considéré la vue BIFOCAL-Small (focus de 500 pixels de largeur) qui, pour l'ensemble de tâches considéré, est perçue plus utilisable que la vue BIFOCAL-Large (d'après le questionnaire SUS et le classement par préférence). De plus, BIFOCAL-Small a obtenu le meilleur score en considérant le total des préférences (234 pour BIFOCAL-Small, 223 pour ENTIRE, 200 pour BIFOCAL-Large et 170 pour FOCUS), ce qui confirme l'intérêt des utilisateurs pour cette technique.

EXPÉRIMENTATION 2 : MODALITÉS DE NAVIGATION (INTERFACE EN ENTRÉE)

Nous avons mené une expérience contrôlée pour comparer les performances des trois modalités en entrée décrites précédemment : *flick*, (*tilt* + *flick*) et (*interaction physique* + *flick*) pour naviguer dans une vue bifocale.

La visualisation bifocale contient un focus de 500 pixels de largeur (figure 6-c). La taille totale de l'espace d'informations sur l'écran est 24 000 pixels. La position initiale étant fixée au milieu de l'espace d'informations, la longueur de chaque côté de contexte était d'environ 12 000 pixels.

Participants, Tâches et Procédure

Nous avons mené l'expérimentation avec 12 bénévoles (en dehors de notre laboratoire), qui sont des ingénieurs professionnels en informatique, âgés de 30 ans en moyenne. Tous étaient des utilisateurs réguliers de téléphones mobiles tactiles.

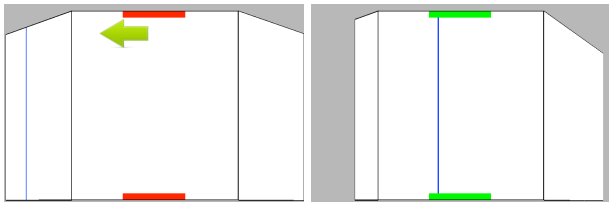


Figure 8. (a) Début de la tâche : la cible est indiquée dans le contexte par un trait bleu. La flèche indique la direction de la position de la cible. (b) Fin de la tâche : la cible est positionnée dans la zone désignée du focus ; la zone est alors affichée en verte.

Les participants étaient les mêmes que ceux de l'étude pilote qui avait souligné les limites de précision des deux modalités atomiques *tilt* et *interaction physique*. En sollicitant à nouveau les mêmes participants, nous avons ainsi minimisé la différence d'expertise entre la modalité *flick* couramment utilisée et les deux modalités *tilt* et *interaction physique* nouvelles pour les participants.

Comme dans l'expérimentation de Appert et Fekete [3], les participants devaient déplacer une cible affichée dans le contexte par un trait dans une zone du focus désignée par deux traits rouges (figure 8-a). Un facteur de zoom est appliqué à la cible quand elle est dans le contexte afin qu'elle soit toujours visible. De plus durant toute la tâche, une flèche verte indique la direction de la cible (figure 8-a) afin d'éviter des défilements dans la mauvaise direction. La tâche était réalisée lorsque la cible était maintenue pendant au moins 1 seconde dans la zone du focus. Les deux traits rouges indiquant la zone dans le focus étaient alors affichés en vert (figure 8-b). La zone du focus dans laquelle le participant devait déplacer la cible était de 200 pixels de large. Cette zone dans le focus est donc relativement grande car dans le cas d'une tâche concrète, il convient d'amener une donnée n'importe où dans le focus pour obtenir sa valeur. La tâche considérée n'est donc pas une tâche de pointage précis. Nous avons choisi de positionner la cible à quatre distances différentes réparties dans la zone du contexte à gauche et à droite du focus. Ces distances correspondent à 4 IDs différents (2, 5,3, 6,3 et 7) selon la formule originale de la loi de Fitts [12] : $ID = \log2(2D/W)$.

Chaque participant a réalisé deux blocs de 12 cibles pour chacune des modalités. Un bloc était composé de 3 cibles pour chacun des 4 ID (donc 12 cibles). Au total chaque participant a donc effectué : 3 modalités x 2 x 3 cibles x 4 IDs = 72 tâches. L'ordre des modalités a été contrebalancé par un carré latin.

En début de session, après une brève démonstration des trois modalités, les participants se sont entrainés jusqu'à ce qu'ils soient à l'aise avec chaque modalité. Ensuite, pour chaque modalité, les participants ont effectué quelques tâches d'entrainement avant de commencer l'expérience. Parce que tous les participants sont experts avec la modalité *flick*, trois fois plus de tâches

d'entrainement étaient demandées pour les modalités (*tilt + flick*) et (*interaction physique + flick*). La consigne donnée aux 12 participants était d'être aussi rapide que possible. Pour chaque tâche (cible), nous avons mesuré le temps de réalisation. Après avoir effectué les 24 tâches (24 cibles) pour une modalité, les participants ont répondu à un questionnaire SUS [8] pour recueillir leur point de vue subjectif sur la modalité utilisée. Enfin il était demandé aux participants de classer les trois modalités par ordre de préférence et d'expliquer leurs choix à la fin de la session. Une session a duré en moyenne 20 minutes.

Hypothèses

L'hypothèse H1 est que les deux modalités combinées (*tilt + flick*) et (*interaction physique + flick*) sont plus rapides d'utilisation que la modalité atomique *flick* dans le cas de cibles éloignées. De plus pour les cibles proches, l'hypothèse H2 est que les trois modalités sont équivalentes puisque chaque modalité autorise les gestes précis *flick*.

Résultats

Temps d'exécution

La figure 9 présente le temps moyen d'exécution pour chaque modalité et chaque ID.

Nous avons vérifié la normalité des données avec le test de Shapiro-Wilk. Le test a révélé un petit écart par rapport à la distribution normale. Après normalisation par une transformation logarithmique, le test a révélé la normalité des données ($W = 0{,}9875$, $p = 0{,}2188$). Le test de Levene n'a pas signalé une violation de l'homogénéité des variances entre les conditions ($F_{11,132} = 0{,}4278$, $p = 0{,}9414$).

Par conséquent, nous avons effectué une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (Modalité et ID) sur le temps d'exécution. L'analyse montre un effet significatif sur les facteurs Modalité ($F_{2,132} = 13{,}5906$, $p < 0{,}0001$) et ID ($F_{3,132} = 86.3207$, $p < 0.0001$).

L'interaction entre Modalité x ID est également significative ($F_{6,132} = 3{,}0621$, $p < 0.01$). Un test post-hoc de Tukey révèle une différence significative entre (*tilt + flick*) et flick ($p < 0{,}001$) et entre (*tilt + flick*) et (*interaction physique + flick*) ($p < 0{,}001$).

Nous avons aussi effectué une analyse de variance (ANOVA) à un seul facteur Modalité en effectuant des tests post-hoc de Tukey pour les IDs.

- Pour ID = 7, les résultats montrent que (*interaction physique + flick*) est plus rapide que (*tilt + flick*) ($p < 0{,}01$). Par contre, il n'y a pas de différence significative entre *flick* et (*interaction physique + flick*) ainsi qu'entre *flick* et (*tilt + flick*).

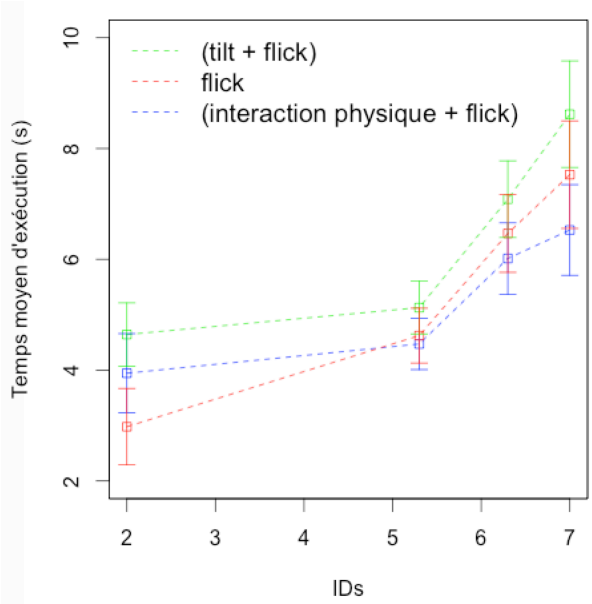
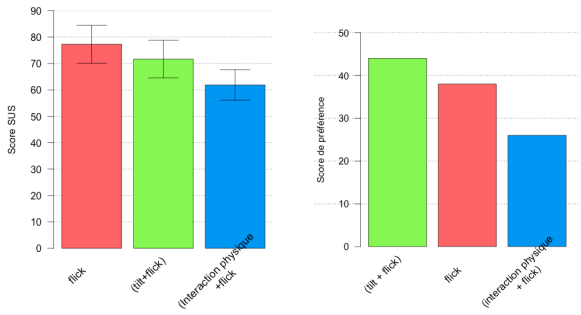


Figure 9. Temps moyen d'exécution par Modalité et ID.

- Pour ID = 5.3 et ID = 6.3, nous n'avons aucun effet significatif (respectivement $F_{2,33} = 2{,}229$, $p = 0{,}124$ et $F_{2,33} = 1{,}652$, $p = 0{,}207$).
- Pour ID = 2, nous avons trouvé un effet significatif principal ($F_{2,33} = 11{,}37$, $p < 0{,}001$). Le test post-hoc de Tukey révèle que *flick* est plus rapide que (*tilt + flick*) et que (*interaction physique + flick*) (respectivement $p < 0{,}001$ et $p < 0{,}01$).

Utilisabilité subjective et préférences

L'utilisabilité subjective et les préférences des participants diffèrent des résultats de performance. À la figure 10-a, les modalités sont ordonnées de gauche à droite par ordre décroissant de score moyen SUS. Les participants ont classé la modalité *flick* comme la plus utilisable (figure 10-a). Néanmoins ces scores SUS (figure 10-a) sont en contradiction avec les préférences (figure 10-b).



(a) (b)

Figure 10. (a) Les scores SUS moyens avec un intervalle de confiance correspondant de 95 % (b) Classement de préférences des trois modalités.

Pour calculer le score global de préférences à la figure 10-b pour chaque modalité, nous avons appliqué la formule suivante : 5 x 1er + 3 x 2ème + 3ème où 1er, 2ème, et 3ème correspondent au rang de préférences. Nous avons vérifié que des coefficients inférieurs ({3, 2, 1} au lieu de {5, 3, 1} ci-dessus), donnent des résultats comparables. Les participants préfèrent (*tilt + flick*) alors que cette modalité est observée moins rapide que (*interaction physique + flick*) et *flick*. De plus malgré les bonnes performances de (*interaction physique + flick*), cette modalité est classée en dernier en termes de scores SUS et de préférences.

Discussion

Les différences de performance n'étant pas significatives pour les IDs 5.3, 6.3 et 7, nous ne pouvons pas valider l'hypothèse H1. Nous n'observons donc pas de gain de performance significatif pour les cibles les plus éloignées. Toutefois, la modalité *flick* étant très connue des utilisateurs, il est intéressant d'obtenir des résultats comparables avec les deux modalités combinées. Cela est donc prometteur : avec des performances semblables, ces modalités combinées permettent de résoudre en partie des problèmes liés à l'interaction tactile sur mobile (occlusion, réduction du clutching). Il est également intéressant de remarquer que la modalité combinée (*interaction physique + flick*) n'a pas été utilisée en accès absolu comme nous le pensions, mais en accès relatif. En effet les utilisateurs faisaient défiler l'espace d'informations à l'écran en bougeant le dispositif tout en maintenant leur doigt appuyé dans la zone du contexte. Il est donc possible qu'avec l'expérience, les utilisateurs profitent de cette possibilité d'accès direct : ils positionnent le dispositif directement à l'endroit souhaité dans l'espace puis appuient dans la zone de contexte pour mettre à jour l'affichage. Cette usage permettrait un accès absolu et ainsi un gain de performance. Enfin il est également possible qu'en considérant des distances plus importantes l'écart entre la modalité *flick* et la modalité combinée (*interaction physique + flick*) continue de se creuser, comme le montre la tendance de la figure 9-d.

Les temps d'exécution sont en contradiction avec les préférences des participants qui ont choisi (*tilt + flick*) en premier dans les préférences, en indiquant qu'ils estimaient avoir été plus rapides avec cette modalité. Cette fausse perception de rapidité traduit sans doute une préférence dans l'utilisation de la modalité. De plus malgré les bons résultats en temps d'exécution de la modalité (*interaction physique + flick*), celle-ci a obtenu un score SUS le plus faible et est la modalité la moins préférée des participants. Les mouvements du dispositif dans l'espace ont été qualifiés de contraignants par les participants. L'aspect répétitif de l'expérimentation explique peut-être cette remarque, et une application réelle en contexte pourrait changer l'opinion des utilisateurs. Néanmoins, certains participants ont mentionné explicitement la question de l'acceptabilité sociale de cette modalité qui implique des mouvements du dispositif dans l'espace.

Enfin, contrairement à ce que nous attendions, les trois modalités ne sont pas équivalentes pour les cibles proches. H2 n'est pas vérifiée. En effet nous pensions que les utilisateurs allaient utiliser uniquement le *flick* même dans le cas des deux modalités combinées (*tilt + flick*) et (*interaction physique + flick*). Ce ne fut pas le comportement observé. Nous pensons que le fait que les tâches soient chronométrées a incité les participants à utiliser la modalité la plus rapide même si cela n'est pas le plus efficace. Cet effet peut disparaître après un temps d'apprentissage plus long. Utiliser que le *flick* pour les cibles proches montrerait alors que les utilisateurs exploitent pleinement les capacités des deux modalités combinées (*tilt + flick*) et (*interaction physique + flick*).

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une étude empirique d'une visualisation bifocale sur iPhone 4 pour des données 1D ou temporelles.

Les résultats de l'évaluation qualitative de la vue bifocale confirment l'intérêt d'une telle vue sur un écran de dispositif mobile. Les résultats ne sont donc certes pas surprenants, mais en raison de l'absence d'études expérimentales, il était important de confirmer les avantages d'une vue bifocale sur un petit écran d'un dispositif mobile. L'évaluation confirme également que le redimensionnement du focus est important : dans notre visualisation bifocale, celui-ci se fait par un geste *pinch* effectué dans le focus.

Pour naviguer efficacement dans la vue bifocale, nous avons étudié expérimentalement deux modalités combinées qui visent à améliorer la modalité classique gestuelle par *flick* : (*tilt + flick*) et (*interaction physique + flick*). Cette première expérimentation a montré des résultats prometteurs de performance ou de préférence pour ces deux modalités combinées : incliner ou déplacer le dispositif dans l'espace pour une navigation rapide mais imprécise, et *flick* pour une navigation précise mais lente. En particulier les résultats de performance de (*interaction physique + flick*) confirment et complètent ceux de Spindler et al. [24]. Néanmoins, malgré les bonnes performances de cette modalité, les résultats ont montré que les participants ne sont pas prêts à effectuer des mouvements physiques dans l'espace pour interagir avec leurs dispositifs mobiles : cette barrière d'acceptabilité sociale peut changer dans un futur proche si la modalité est largement disponible et utilisée partout.

Nos travaux actuels et futurs concernent principalement les modalités de navigation dans la vue bifocale. Dans des expérimentations futures des deux modalités, nous allons considérer un espace d'informations plus grand, mais aussi étudier la rapidité de défilement dans le cas de l'inclinaison du dispositif (*tilt + flick*). De plus nous envisageons de considérer d'autres modalités et en

particulier une modalité basée sur des capteurs de pression comme Spelmezan et al. [23]. Enfin nous avons démarré une étude sur la combinaison des modalités afin d'analyser en détail le passage d'une modalité à l'autre lors de la navigation : coût du changement, anticipation et utilisation en parallèle des modalités.

REMERCIEMENTS

Les travaux présentés sont en partie financés par l'ANRT (Association Nationale de la Recherche et de la Technologie) et par la société Motwin à travers une bourse de thèse CIFRE.

BIBLIOGRAPHIE

1. Andrienko N. & Andrienko G. Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data: A Systematic Approach, Springer, 2005.
2. Appert C., Chapuis O. & Pietriga, E. High-Precision Magnication Lenses. In Proc. *CHI '10*, ACM (2010), 273-282.
3. Appert C. & Fekete J-D. OrthoZoom scroller: 1D multi-scale navigation. In Proc. *CHI '06*, ACM (2006), 21-30.
4. Baglioni M., Malacria S., Lecolinet E. & Guiard Y. Flick-and-brake : finger control over inertial/sustained scroll motion. In Proc. *CHI EA '11*, ACM (2011), 2281-2286.
5. Baudisch P., Lee B. & Hanna L. Fishnet, a fisheye web browser with search term popouts: a comparative evaluation with overview and linear view. In Proc. *AVI '04*, ACM (2004), 133-140.
6. Bederson B. B., Clamage A., Czerwinski M. P. & Robertson G. G. (2004). DateLens: A Fisheye Calendar Interface for PDAs. *ACM Trans. on Comput.-Hum. Interact. 11*, 1 (2004), 90-119.
7. Björk S., Holmquist L. E., Redström J., Bretan I., Danielsson R., Karlgren J. & Franzén K. WEST: a Web browser for small terminals. In Proc. *UIST '99*, ACM (1999), 187-196.
8. Brooke J. *SUS: a 'quick and dirty' usability scale*. In Usability Evaluation in Industry. Taylor&Francis, 1996, ch 21, 189-194.
9. Burigat S. & Chittaro L. On the effectiveness of Overview+Detail visualization on mobile devices. *Springer Journal Personal and Ubiquitous Computing 17*, 2 (2013), 371-385.
10. Chittaro L. Visualizing Information on Mobile Devices. *IEEE Computer 39*, 3 (2006), 40-45.
11. Fitchett S. & Cockburn A. Evaluating reading and analysis tasks on mobile devices: a case study of tilt and flick scrolling. In Proc. *OZCHI '09*, ACM (2009), 225-232.
12. Fitts P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *American Psychological Association Journal of Experimental Psychology 47*, 6 (1954), 381-391.
13. Ganhör R. Athmos: Focus+Context for Browsing in Mobile Thumbnail Collections. In Proc. *ICMR '14*, ACM (2014), 65-72.
14. Huot S. & Lecolinet E. Focus+context visualization techniques for displaying large lists with multiple points of interest on small tactile screens. In Proc. *INTERACT '07*, Springer (2007), 219-233.
15. Igarashi T. & Hinckley K. Speed-dependent automatic zooming for browsing large documents. In Proc. *UIST '00*, ACM (2000), 139-148.
16. Kincaid R. SignalLens: Focus+Context Applied to Electronic Time Series. *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics 16*, 6 (2010), 900-907.
17. Kratz K., Brodien I. & Rohs M. Semi-automatic zooming for mobile map navigation. In Proc. *MobileHCI '10*, ACM (2010), 63-72.
18. Lank E. & Phan S. Focus+Context sketching on a pocket PC. In Proc. *CHI EA '04*, ACM (2004), 1275-1278
19. Leung Y.K. & Apperley M.D. A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques. *ACM Trans. on Comput.-Hum. Interact. 1*, 2 (1994), 126-160.
20. Mackinlay J.D., Robertson G.G. & Card S.K. The perspective wall: detail and context smoothly integrated. In Proc. *CHI '91*, ACM (1991), 173-176.
21. Pahud M., Hinckley K., Iqbal S., Sellen A. & Buxton B. Toward compound navigation tasks on mobiles via spatial manipulation. In Proc. *MobileHCI '13*, ACM (2013), 113-122.
22. Roussel N., Casiez, G., Aceituno J. & Vogel D. Giving a hand to the eyes: leveraging input accuracy for subpixel interaction. In Proc. *UIST '12*, ACM (2012), 351-358.
23. Spelmezan D., Appert C., Chapuis O. & Pietriga E. Side Pressure for Bidirectional Navigation on Small Devices. In Proc. *MobileHCI '13*, ACM (2013), 11-20.
24. Spindler M., Schuessler M., Martsch M. & Dachselt R. Pinch-drag-flick vs. spatial input: rethinking zoom & pan on mobile displays. In Proc. *CHI '14*, ACM (2014), 1113-1122.
25. Vernier F. & Nigay L. A Framework for the Combination and Characterization of Output Modalities. In Proc. *DSVIS '01*, Springer (2001), 35-50.
26. Wang Y-S. & Chi M-T. Focus+Context Metro Maps. *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics 17*, 12, (2011), 2528-2535.
27. Yun S., Chen Y. & Qiu L. Turning a Mobile Device into a Mouse in the Air. In Proc. *MobiSys '15*, ACM (2015), 15-29.