



Combinaison de dispositifs tactiles comme support à l'analyse de données

Gary Perelman, Marcos Serrano, Christophe Bortolaso, Célia Picard,
Mustapha Derras, Emmanuel Dubois

► To cite this version:

Gary Perelman, Marcos Serrano, Christophe Bortolaso, Célia Picard, Mustapha Derras, et al.. Combinaison de dispositifs tactiles comme support à l'analyse de données. Journal d'Interaction Personne-Système, inPress, Special issue: the best of IHM'2018, Volume 8, Issue 1, Special issue: the best of IHM'2018 (1), pp.1 - 26. 10.46298/jips.5935 . hal-02383908

HAL Id: hal-02383908

<https://hal.science/hal-02383908>

Submitted on 3 Dec 2019

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.

Combinaison de dispositifs tactiles comme support à l'analyse de données

Gary Perelman^(*),
Marcos Serrano^(°),
Christophe Bortolaso
(*), Célia Picard (*),
Mustapha Derras (*),
Emmanuel Dubois (°)

(*) Berger-Levrault, Toulouse,
France

{prénom.nom}@Berger-Levrault.fr

(°) Université Toulouse 3, IRIT -
ELIPSE

{prénom.nom}@irit.fr

Combination of tactile devices for data analytics

Résumé. Bien que l'analyse ubiquitaire de données soit une approche prometteuse, l'analyse des données dans des tableurs sur des tablettes est une tâche fastidieuse en raison de la taille limitée de l'affichage et du vocabulaire tactile. Dans cet article, nous présentons la conception et l'évaluation de nouvelles techniques d'interaction reposant sur la combinaison d'une tablette contenant les données et d'un smartphone utilisé comme médiateur entre l'utilisateur et la tablette. Pour ce faire, nous proposons d'utiliser des gestes de "stacking", c'est-à-dire de poser une arête d'un smartphone sur l'écran de la tablette. Le stacking est un moyen peu coûteux, facile à mettre en œuvre, efficace, et basé sur l'utilisation des smartphones toujours disponibles pour améliorer l'analyse des données sur des tablettes, en augmentant le vocabulaire utilisé et en élargissant la surface d'affichage. Nous explorons d'abord des solutions basées sur le stacking pour délimiter le vocabulaire d'interaction possible et présenter la fabrication d'une coque conductive pour smartphone. Ensuite, nous proposons de nouvelles techniques basées sur le stacking pour réaliser l'analyse de données d'un tableur, c'est-à-dire la création de tableaux croisés dynamiques et leur manipulation. Nous évaluons nos techniques de stacking par rapport aux interactions tactiles fournies par les applications de tableur mobiles actuelles. Nos études révèlent que certaines de nos techniques d'interaction sont 30% plus rapides que le toucher pour créer des tableaux croisés dynamiques.

Mots-clés : Interaction mobile, manipulation de données, interaction multi-dispositifs.

Abstract: Although ubiquitous data analysis is a promising approach, analyzing data in spreadsheets on tablets is a tedious task due to the limited size of the display and tactile vocabulary. In this article, we present the design and evaluation of new interaction techniques based on the combination of a tablet containing the data and a smartphone used as a mediator between the user and the tablet. To do this, we propose to use stacking gestures, i. e. to place a smartphone on top of a tablet. Stacking is an inexpensive, easy to implement, efficient and effective way to improve the analysis of data on tablets, increasing the vocabulary and broadening the display surface by using smartphones that are always available. We first explore stacking-based solutions to delimit the possible interaction vocabulary and present the manufacture of a conductive shell for smartphones. Then, we propose new techniques based on stacking to perform data analysis of a spreadsheet, i.e. the creation of pivot tables and their manipulation. We evaluate our stacking techniques against the tactile interactions provided by current mobile spreadsheet applications. Our studies reveal that some of our interaction techniques are 30% faster than touch to create pivot tables.

Mots-clés : Mobile interaction, data manipulation, multi-device interaction.

1 INTRODUCTION

L'analyse ubiquitaire des données (Elmqvist et al., 2013) consiste à intégrer le processus d'analyse de données dans l'environnement pour donner un sens aux données n'importe où et à tout moment. Ce type de processus d'analyse revêt une importance croissante du fait que les appareils mobiles, en particulier les tablettes, constituent désormais de réels supports de travail professionnels (Baudisch et al., 2010). Pour faciliter l'analyse des données, les utilisateurs transforment généralement les données brutes en tableaux ou en visualisations graphiques, tels que des graphiques ou des diagrammes de dispersion. Le tableau croisé dynamique (Jelen et al., 2010; Microsoft, 2019) est l'une des solutions les plus connues pour générer rapidement ces visualisations de données. Il s'agit d'un type de tableau qui combine les données en appliquant une "fonction d'agrégation" comme le tri, la moyenne ou la somme. De nombreuses applications mobiles (Excel (Excel, 2018), QlikView (QlikView, 2018), QlikSense (QlikSense, 2018), Tableau mobile (Tableau, 2018), par exemple) et des systèmes Web (Voyager (Wongsuphasawat et al., 2016) fournissent cet outil. Cependant, l'interaction avec les tableaux croisés dynamiques sur les tablettes reste difficile : la petite taille de l'écran induit de multiples étapes de navigation, zoom et changement de vue; l'interaction tactile est limitée, puisque les gestes tactiles sont assignés à la navigation dans l'espace de données. Ces problèmes d'interaction nuisent considérablement à la définition de solutions pratiques pour créer et ajuster des tableaux croisés dynamiques. Les travaux présentés dans cet article visent donc à élargir les possibilités d'interaction pour l'analyse de données sur des tablettes, en élargissant les capacités d'interaction actuellement disponibles.

Pour résoudre ce problème, des approches ont exploré l'utilisation de l'interaction multi-touch (Banovic et al., 2011; Heo et al., 2016; Wagner et al., 2014) et du stylet (Jo et al., 2017; Pfeuffer et al., 2017) pour étendre les degrés de liberté en entrée (DoF). Toutefois, ces approches n'étendent pas la taille d'affichage limitée des appareils mobiles. En outre, les utilisateurs doivent apprendre un nouveau vocabulaire multitouch et seuls les stylos actifs peuvent être différenciés du toucher du doigt. Nous proposons comme alternative d'utiliser un périphérique toujours disponible, le smartphone (Santosa et al., 2013), en tant qu'interacteur tangible avec la tablette, et d'employer des gestes de "stacking": le stacking consiste à mettre une arrête ou un coin du smartphone en contact avec l'écran de la tablette contenant le tableau de données à analyser. Le smartphone constitue alors un médiateur (tel que défini dans (Brudy et al., 2016)) entre l'utilisateur et la tablette en fournissant un ensemble d'outils supplémentaires. L'intérêt est triple : 1) nos gestes de stacking n'empêchent pas l'utilisation d'interactions tactiles régulières ; 2) le vocabulaire tactile, consacré à la navigation dans les données, est complété par des gestes de stacking, dédiés à la manipulation des données ; et 3) la zone d'affichage initiale est étendue avec un deuxième écran, qui permet de séparer plusieurs visualisations, telles que des feuilles de calcul, des graphiques ou des tableaux croisés dynamiques.

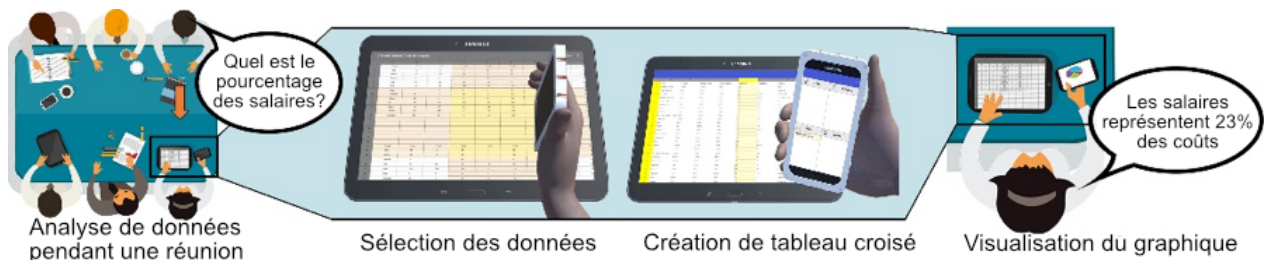
QUESTIONS DE RECHERCHE :

- ✓ Quels gestes de stacking peuvent être réalisés confortablement ?
- ✓ Comment sélectionner des plages de données efficacement avec des gestes de stacking ?
- ✓ Comment créer des tableaux croisés dynamiques efficacement avec des gestes de stacking ?

Dans ces travaux, nous étudions un cas d'utilisation concret qui illustre le besoin d'utilisateurs représentatifs (des élus locaux) en termes d'analyse ubiquitaire de données. Ce cas souligne la nécessité d'une nouvelle solution permettant de générer rapidement des tableaux croisés dynamiques sur des tablettes. Nous explorons ensuite le confort et la faisabilité technique des gestes de stacking : l'étude des différents gestes physiques, tactiles et combinés (physiques + tactiles) qui peuvent être réalisés avec la surface mise en contact conduit à définir un vocabulaire d'interaction exploitant le paradigme de stacking qui soit confortable pour l'utilisateur. Sur la base de ces études, nous concevons et évaluons des techniques de stacking pour les deux étapes de l'analyse de données sur des feuilles de calcul (voir figure 1) : premièrement, la sélection d'une plage de cellules de données (nécessaire

avant toute manipulation de données qu'il s'agisse d'un simple filtrage ou d'une action plus complexe de création de graphiques) et, deuxièmement, la création d'un tableau croisé dynamique (tâche représentative du domaine d'analyse de données (Jelen et al., 2010; Jo et al., 2017)). Nous évaluons ces techniques dans deux expérimentations différentes et les comparons à une solution basée sur les interactions tactiles classiques.

Fig. 1 : Illustration d'un scénario d'utilisation de techniques d'interaction basées sur le stacking : pendant une réunion, Jessica utilise son smartphone et nos techniques de stacking pour 1) sélectionner rapidement les données sur la tablette et 2) créer un tableau croisé dynamique pour générer un graphique.



L'ensemble de cet article, présenté de manière plus synthétique dans (Perelman et al., 2019), décrit des travaux menés dans le cadre de la thèse du premier auteur (Perelman, 2018) et réunit donc :

- les premiers travaux présentés lors de la conférence IHM2017 (Perelman et al., 2017) portant sur l'exploration des gestes de stacking et l'étude expérimentale en lien avec la sélection d'une page de cellule,
- les travaux complémentaires présentés lors de la conférence IHM2018 (Perelman et al., 2018) portant sur l'utilisabilité des gestes de stacking pour la création d'un tableau croisé dynamique,
- la mise en situation du paradigme de stacking dans le contexte d'une activité concrète, celle d'élus d'agglomérations urbaines.

Dans cet article, nous présentons d'abord dans la section 2 un cas d'étude concret d'analyse ubiquitaire de données pour des élus municipaux. Après avoir présenté dans la section 3 l'état de l'art des solutions existantes pour surmonter les limitations des techniques d'interaction sur tablette, nous abordons en section 4 l'analyse de la faisabilité physique et technologique des techniques d'interaction basées sur le stacking. En section 5, nous présentons la conception et l'évaluation de techniques d'interaction reposant sur le stacking pour la sélection de données dans des tableurs sur tablette. À partir des résultats recueillis, nous abordons en section 6 la conception et l'évaluation de techniques basées sur le stacking pour créer des tableaux croisés dynamiques. Nous concluons l'article par une discussion de notre approche et des perspectives de recherche.

LES APPORTS DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ la mise en contexte réel du besoin d'extension des capacités d'interaction actuelles pour l'analyse ubiquitaire de données ;
- ✓ l'analyse de la faisabilité physique et technologique de techniques d'interaction (TI) basées sur le stacking ;
- ✓ la conception et l'évaluation de TI basées sur le stacking pour la sélection de données dans des tableurs sur des tablettes : les résultats montrent que certaines de nos techniques exploitant le paradigme de stacking permettent de sélectionner une plage de cellules entre 15% et 20% plus rapidement qu'avec les interactions tactiles classiques des tableurs ;
- ✓ la conception et l'évaluation de TI basées sur le stacking afin de créer des tableaux croisés dynamiques résumant les données : les résultats montrent que certaines de nos techniques permettent de créer et de remplir un tableau croisé dynamique 23.1% plus rapidement qu'avec les interactions tactiles classiques des tableurs.

2 UN CAS D'ETUDE CONCRET : ANALYSE UBIQUITAIRE DE DONNEES POUR DES ELUS MUNICIPAUX

Dans le cadre d'une collaboration avec l'entreprise Berger-Levrault développant des solutions logicielles pour l'administration publique et les autorités locales, nous avons mené une série d'interviews semi-guidées afin d'analyser les besoins de leurs utilisateurs finaux en termes de techniques d'interaction pour les contextes mobiles. En effet, les élus sont au contact d'une large gamme de produits (logiciels de gestion administrative, logiciels spécialisés - action sociale, enfance, marchés publics, métiers techniques) dont plusieurs sont particulièrement complexes dû à la quantité importante de réglementations (qui, de plus, évoluent régulièrement) et de services. L'étude du contexte de travail et des besoins a permis de mieux comprendre les problématiques sous-jacentes en termes d'interaction et de proposer des solutions pertinentes et adaptées. Les participants à cette étude ont été recrutés par l'intermédiaire de salariés de l'entreprise Berger-Levrault et par le biais du club MAGEL (association loi 1901) qui regroupe les collectivités utilisatrices des logiciels Berger-Levrault et dont l'objectif est de représenter et défendre les intérêts des collectivités publiques auprès de l'entreprise.

Nous nous sommes concentrés sur l'un de leurs principaux utilisateurs, à savoir les élus locaux (tels que les maires ou les responsables des autorités de district). Ces utilisateurs ont régulièrement besoin d'accéder aux données de la communauté (budget, démographie) en dehors de leur environnement de bureau (par exemple, les réunions du conseil). Pour répondre à ces situations, Berger-Levrault a développé, ou est en train de développer, des versions mobiles de la plupart de ses applications. Les élus disposant d'ores et déjà de nombreux dispositifs mobiles de types tablettes et smartphones, plus légers et moins encombrants que des ordinateurs portables, ils disposent alors de supports matériels et logiciels pour accéder aux données en-dehors de leur bureau et en contexte de mobilité, par exemple, en réunion, dans la rue ou dans leur véhicule. Comprendre les conditions de mises en œuvre de ces dispositifs est l'objet de notre analyse de terrain basée sur un entretien semi-guidé.

2.1 Protocole expérimental et principaux résultats

L'entretien semi-guidé s'est concentré sur l'environnement de travail et sur les tâches principales des élus. Pour préserver la forme d'une discussion libre, les questions ne servaient qu'à alimenter ou à recentrer la discussion. Ces entretiens ont été menés avec huit maires élus (tous des hommes). Leurs communes respectives sont composées de 563 à 466,297 habitants et de 14 à 69 membres élus. Les personnes interrogées connaissaient bien les ordinateurs de bureau et les appareils mobiles classiques (7,5 sur une échelle de 1 à 10). Tous utilisent des suites bureautiques (tableurs et programmes de présentation). La majorité utilise

des logiciels de messagerie (ex : Gmail) et des logiciels administratifs dédiés fournis par Berger-Levrault. L'interview durait en moyenne 66 minutes par participant.

De ces entretiens, il ressort notamment une diversité de tâches accomplies par les élus avec l'aide d'outils et supports informatiques. Nous les avons synthétisées en 4 groupes :

- La relation citoyen, qui consiste en l'écoute, l'enregistrement et la réponse aux différentes demandes des citoyens.
- La veille d'actualité et la communication, qui vise à découvrir et retransmettre des informations d'actualité, publier des articles rédigés par l' élu et animer une réflexion collective avec les citoyens sur des sujets de société à l'aide d'une plate-forme numérique de communication (de type forum de discussion) ou lors de rencontres citoyennes.
- La gestion des finances, qui correspond à la gestion du budget de la collectivité.

Ce dernier groupe de tâches est très nettement celui qui met en jeu le plus large espace d'informations à manipuler et donne lieu à des compte rendus approfondis, discutés et réguliers. Dans ce contexte, parmi toutes les tâches accomplies par les élus, beaucoup requièrent l'exploration et la manipulation de représentations graphiques de données à l'aide de graphiques (gestion budgétaire, analyse démographique, etc.). À cette fin, les représentants élus utilisent des logiciels tels que Microsoft Excel ou QlikView (Excel, 2018; QlikView, 2018) dans un environnement fixe. Bien que leur travail nécessite une analyse de données omniprésente, plusieurs élus ont signalé le manque d'outils appropriés et faciles à utiliser pour effectuer cette tâche sur des appareils mobiles : « Nous utilisons un tableau de bord pré-créé lors des réunions du conseil. Si les diagrammes prédéfinis ne suffisent pas, la réunion est levée afin que nous puissions en créer de nouveaux sur un ordinateur [de bureau] ». Comme cette exigence constituait le résultat le plus fréquent des entretiens, nous avons développé avec les participants un scénario d'utilisation dans lequel les élus devaient effectuer une analyse des données sur un appareil mobile et non pas seulement une présentation de données.

2.2 Un scénario d'usage représentatif d'une des activités des élus

Avant une réunion du conseil, Jessica, une élue, effectue une analyse des données du budget de la ville de l'année en cours, triées par districts (Fig. 1). Equipée uniquement de sa tablette professionnelle, la présentation de son analyse lors de la réunion du conseil suscite des questions de la part d'autres élus concernant l'augmentation des coûts. Pour répondre, elle doit effectuer une nouvelle analyse en séparant les types de coûts pour chaque district, par exemple le salaire des employés, le coût de la sous-traitance et le coût des matériaux.

Elle utilise un tableau croisé dynamique (Excel, 2018) pour produire rapidement un résumé d'analyse croisée à partir duquel une représentation graphique est rapidement générée. À cette fin, elle suit un processus en deux étapes : 1) sélectionner les données du tableur correspondant au budget de la ville ; 2) créer le tableau croisé dynamique en affectant la variable "district" aux lignes du tableau, la variable "types de coûts" aux colonnes du tableau et en définissant la fonction d'agrégation (par exemple, la fonction "moyenne", pour calculer la moyenne du coût du matériel pour chaque district). Bien que ce processus soit facile et rapide sur les interfaces de bureau, dans le contexte d'interfaces sur dispositifs mobiles, la sélection des données dans le tableur et la configuration du tableau croisé dynamique nécessitent plusieurs manipulations tactiles qui s'avèrent assez fastidieuses (voir la section 3 - État de l'art pour une description détaillée de ces lourdeurs).

Ce scénario sert de base à notre travail et illustre la nécessité d'un ensemble de techniques d'interaction facilitant l'utilisation des tableaux croisés dynamiques sur des tablettes. Au-delà du contexte des élus, de telles techniques d'interaction seraient également pertinentes dans de nombreux autres contextes tels que les rapports d'inspection des bâtiments, les réunions budgétaires, la gestion des employés, la gestion des ressources en cas de crise, etc. Notre approche consiste à employer un périphérique généralement disponible, le smartphone, en tant qu'interacteur pour faciliter l'interaction avec les tableurs sur

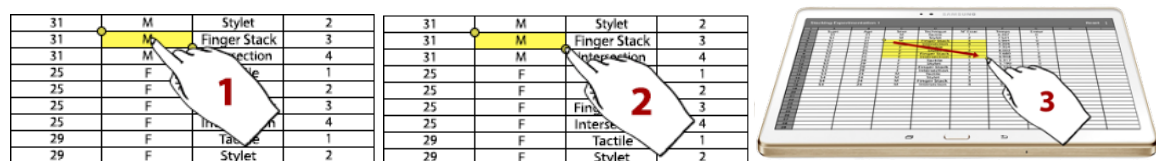
les tablettes. Nous avons conçu et comparé expérimentalement différentes techniques de stacking pour chacune des deux étapes de la création d'un tableau croisé dynamique : sélection de données (étude 1) et création d'un tableau croisé dynamique (étude 2) que nous présentons respectivement dans les sections 5 et 6.

3 ETAT DE L'ART

Dans cette section, nous résumons d'abord les limites de l'interaction tactile avec des tableurs sur des tablettes. Ensuite, nous passons en revue les approches existantes pour surmonter ces limitations en étendant les capacités d'interaction en entrée / sortie.

3.1 Tableurs sur tablette : approches tactiles actuelles

Fig. 2. : Pour sélectionner une plage de cellules avec l'interaction tactile, l'utilisateur 1) tape pour sélectionner une cellule, 2) tape sur l'ancre de cellule sélectionnée et 3) fait glisser le doigt pour élargir la plage.



Interagir avec les tableurs sur les tablettes repose généralement sur le mapping direct d'un geste tactile (swipe, pinch/spread, tap, double tap) sur une tâche spécifique (défilement, zoom, sélection d'une seule cellule, édition) (Elmqvist et al., 2013; Google Spreadsheet, 2017). Toute autre tâche nécessite une combinaison de ces gestes tactiles fondamentaux. Par exemple, pour sélectionner une plage de cellules 1), l'utilisateur tape pour sélectionner une cellule, 2) tape sur l'ancre de la cellule sélectionnée et 3) fait glisser le doigt pour élargir la plage (voir Fig. 2). L'utilisation de gestes tactiles pour une tâche aussi fréquente et commune est assez fastidieuse en raison de la longueur du processus et de la petite taille des ancres des cellules. Et pourtant, il est généralement suivi de tâches encore plus complexes (par exemple, filtrer, générer et configurer un graphique, calculer des sommes, etc.) : pour activer ces tâches, l'utilisateur utilise des raccourcis dans la barre d'outils ou une barre de menu dans la partie supérieure de l'écran qui ouvre un menu déroulant, ce qui rend l'interaction globale encore plus longue en termes de nombre d'actions.

La taille de l'écran mobile étant limitée, l'affichage d'icônes ou de menus pour les nombreuses commandes entraîne des occultations ; ne pas les afficher entraîne une longue navigation dans les multiples menus et commandes disponibles avant d'atteindre la fonctionnalité appropriée. Alors qu'une interaction à deux doigts pourrait permettre l'activation de raccourcis, de menus ou de modes, celle-ci est par défaut réservée à un geste de zoom ou de swipe. Pour résoudre ces problèmes, la section suivante présente les techniques d'interaction proposées pour étendre les capacités d'interaction classiques des appareils mobiles en entrée et en sortie.

3.2 Interaction multimodale pour tablette

Des gestes multitouch basés sur des accords (Banovic et al., 2011; Uddin et al., 2016; Wagner et al., 2014), des taps consécutifs (Heo et al., 2014; Heo et al., 2016) ou une interaction bimanuelle (Goguey et al., 2014) ont été explorés pour élargir le vocabulaire tactile des tablettes. L'utilisation de la parole en combinaison avec un dispositif tactile pour interroger un jeu de données (Srinivasan et al., 2018) étend également les possibilités de saisie. Les techniques d'interaction en l'air autour de l'appareil (Baudisch et al., 2010; Hasan et al., 2013) ont été prises en compte pour organiser les menus ou manipuler les données d'application (par exemple, manipuler un objet 3D). Avec ces approches, les capacités de sortie des

tablettes ne sont pas étendues et peuvent même être réduites afin de fournir un retour dédié permettant de mieux comprendre et mémoriser l'utilisation de ces modalités.

La combinaison de stylet et du toucher pour la manipulation de tableaux sur des tablettes a également été explorée pour améliorer l'accès à de multiples fonctionnalités (modification d'une cellule, copier / coller des données, navigation dans une feuille et mise en forme / couleur d'une cellule) (Pfeuffer et al., 2017), ainsi que pour créer des graphiques plus facilement grâce à la manipulation des tableaux croisés dynamiques (Jo et al., 2017). Néanmoins, ces deux approches nécessitent un stylet dédié (pour le différencier d'un doigt), et la visualisation en parallèle des données brutes et du rendu graphique reste limitée.

Des interfaces tangibles telles que MagGetz (Hwang et al., 2013) proposent de manipuler plusieurs interacteurs liés à des actions spécifiques telles que contrôler un curseur ou appuyer un bouton d'application. Une interaction tangible nécessite généralement des objets dédiés qui peuvent être moins pratiques dans un contexte mobile.

3.3 Interaction multi-écrans autour des tablettes

Par rapport aux approches précédentes, l'interaction multi-écrans présente l'avantage d'étendre à la fois l'entrée et la sortie. La combinaison de tablettes permet par exemple de distribuer des visualisations sur plusieurs appareils, tout en étendant les capacités de saisie grâce à l'utilisation des différents écrans tactiles qui peuvent être spatialement localisés (Langner et al., 2018; Wozniak et al., 2016). Une alternative moins lourde consiste à explorer comment tirer parti de la position et du mouvement du smartphone autour d'une tablette. Il a été utilisé par exemple dans Thaddeus (Wozniak et al., 2014) pour explorer une représentation graphique affichée sur la tablette ou dans BATMAN (Piazza et al., 2013) pour déclencher des actions (sélection du menu, activation de l'outil de dessin). Une solution proche de ces deux techniques consiste à utiliser un grand écran virtuel dont seule une partie est affichée sur le dispositif mobile, en fonction de sa position par rapport à cet écran virtuel ("peephole") (Rädle et al., 2014). Cependant, ces approches reposent sur des systèmes de détection externes pour suivre la position du smartphone autour de la tablette, ce qui limite l'utilisation de telles techniques en dehors des environnements de laboratoire.

Des chercheurs ont également exploré l'utilisation d'une montre intelligente pour étendre le vocabulaire tactile (Chen et al., 2014). Cependant, ses avantages sont contrebalancés par la taille de l'écran, ce qui limite son rôle à celui d'appareil complémentaire (Horak et al., 2018), principalement utilisé pour fournir des retours ou des raccourcis de commandes.

3.4 Stacking de multiples écrans

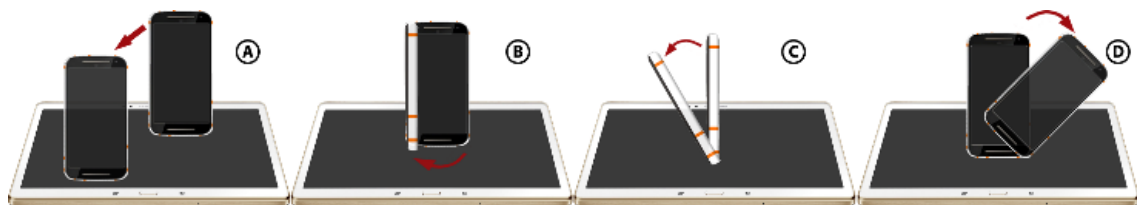
Le stacking de multiples écrans, c'est-à-dire lorsqu'un écran (appelé support) détecte la présence d'un autre écran (appelé interacteur), offre l'avantage de ne nécessiter aucun capteur externe. Par exemple, dans THAW (Leigh et al., 2015), l'écran de l'ordinateur affiche un motif spécifique pouvant être détecté par l'écran du smartphone. Ce modèle permet au smartphone de suivre sa position par rapport à l'écran de l'ordinateur. Une centrale inertielle intégrée est utilisée pour détecter son orientation. En conséquence, le smartphone peut être utilisé comme (Bier et al., 1993) "lentille magique" ou directement comme objet tangible dans l'application. Dans Phonetouch ((Schmidt et al., 2010; Schmidt et al., 2012), le contact avec un smartphone est détecté par une table tactile en utilisant une combinaison de capteurs (accéléromètres de smartphone et interaction tactile sur le plateau). Dans ce cas, le smartphone est utilisé pour transférer des données entre le smartphone et la tablette, pour afficher des commentaires privés ou comme outil d'interaction tangible. Dans ACTUI (Li et al., 2015), le smartphone est équipé d'une coque en cuivre (avec un motif spécifique sur le bord). L'écran de la tablette peut alors détecter et suivre la position et l'orientation du smartphone. Dans ce cas, le smartphone est utilisé pour explorer la troisième dimension d'un modèle 2D affiché sur l'écran de la tablette. Notre approche repose sur une solution de suivi reposant sur ce principe.

Ces travaux apportent des solutions technologiques concrètes pour faciliter la détection des gestes de stacking. Ils proposent également des scénarios d'utilisation spécifiques en exploitant les propriétés du stacking en termes de 1) ajout d'un écran supplémentaire et 2) extension du vocabulaire d'interaction. Dans cet article, nous explorons de manière plus systématique l'espace de conception des gestes de stacking. Nous proposons et évaluons également un nouvel ensemble de techniques de stacking pour l'analyse de données de tableaux sur tablette.

4 GESTES DE STACKING : CONFORT ET FAISABILITE TECHNIQUE

Dans une première étape de notre travail sur l'utilisation du stacking pour faciliter l'analyse des données sur des tablettes, nous avons mené une étude exploratoire des gestes de stacking. Nous avons d'abord identifié les dimensions des gestes de stacking, puis mené une expérimentation visant à éliminer les gestes inconfortables. Sur la base de cette analyse, nous avons développé un prototype fonctionnel permettant d'implémenter de manière robuste des techniques d'interaction basées sur le stacking.

Fig. 3. Gestes de stacking possibles : A) translation, B) rotation à plat, C) inclinaison, et D) rotation en coin



4.1 Dimensions des gestes de stacking

Dans notre contexte, le stacking consiste à mettre un smartphone en contact avec un écran de tablette qui le détecte. Ce smartphone constitue un interacteur pour faciliter l'interaction avec les tableaux sur les tablettes. Trois aspects majeurs caractérisent les gestes de stacking : les surfaces empilées, la prise en main et le type de gestes :

- Surface empilée : correspond au bord ou au coin du smartphone détecté par la tablette. Bien que les faces avant et arrière du smartphone puissent également être empilées, elles obstrueraient une partie importante de l'écran de la tablette.
- Prise en main : décrit quelle main tient le smartphone. L'utilisateur se sert de cet interacteur pour établir un contact avec la tablette puis éventuellement pour déclencher une commande ou observer un résultat sur le Smartphone. Compte tenu de ce contexte et de notre scénario d'utilisation (voir section 2.2), l'utilisateur doit donc tenir le smartphone avec la main dominante, sous la forme d'un interacteur tactile et tangible, tandis que la tablette repose sur une table. Les gestes tactiles sur les écrans de la tablette et du smartphone peuvent être effectués avec la main non dominante. Nous excluons de notre étude une utilisation du stacking en situation mobile ou debout. Nous traiterons ce cas dans des travaux futurs.
- Type de gestes : définit les gestes possibles pour l'utilisateur. Avec le smartphone, l'utilisateur peut faire des gestes de "stack" (c.-à-d. Poser un bord / un coin de smartphone sur l'écran de la tablette) et de "unstack" (c.-à-d. Soulever le smartphone). Une fois le geste de stack réalisé, quatre manipulations physiques sont possibles (voir figure 3) : translation du smartphone sur l'écran de la tablette (A) ; rotation à plat du smartphone sur l'écran de la tablette (B) ; inclinaison du smartphone autour du bord ou de la surface empilée, de sorte que le smartphone reste en contact avec l'écran de la tablette (C) ; et rotation en coin du smartphone (D). Enfin, les gestes tactiles (toucher, glisser ou pincer / étaler) peuvent être utilisés sur les deux appareils. En conséquence, une fois le geste de

stack réalisé, l'utilisateur peut effectuer une série de gestes tactiles, physiques ou composés (c'est-à-dire physiques puis tactiles).

4.2 Etude préliminaire : analyse du confort des gestes de stacking

L'utilisation de techniques d'interaction utilisant le stacking nécessite que l'utilisateur tienne un smartphone et le déplace sur l'écran de la tablette. Comme cela peut sembler contre nature à l'origine, nous avons décidé d'évaluer le confort du stacking par le biais d'une étude préliminaire et d'éliminer les plus inconfortables.

Les participants devaient, en premier lieu, réaliser le geste de stack du smartphone sur l'écran de la tablette. Plusieurs orientations initiales pour le stack ont été testées (smartphone en mode portrait et paysage ; 4 orientations à plat pour les deux configurations - cf. Fig. 3-B). Ensuite, les participants devaient réaliser :

- (1) une des quatre manipulations physiques du smartphone (translation, rotation à plat, inclinaison, rotation de coin – Fig. 3),
- (2) un geste tactile sur l'écran du smartphone (tap, drag, pinch, spread) ou
- (3) un geste composé nécessitant une inclinaison du smartphone, puis un geste tactile sur son écran. Nous avons limité notre exploration des gestes composés à ceux basés sur une inclinaison suivie d'un geste tactile sur l'écran du smartphone. En effet, les gestes étant réalisés de manière séquentielle, réaliser un geste tactile après une translation, une rotation à plat ou une rotation de coin, revient à réaliser ce geste tactile suite à un stack initial dans une autre position/orientation (toutes deux testées via les étapes précédentes du protocole). En revanche, l'inclinaison pouvant rendre l'écran partiellement inaccessible et n'étant pas intégrée dans le stack initial, nous avons choisi de l'évaluer dans notre protocole. D'autre part, deux gestes tactiles peuvent être réalisés consécutivement sans qu'aucun n'impacte la réalisation de l'autre. Nous n'avons donc pas exploré les gestes composés qui en découlent.

Nous avons utilisé une tablette Samsung Galaxy Tab S de 10,5 pouces et un smartphone Galaxy S4 de 5 pouces, les deux appareils étant éteints. Six participants (âge = 26,4 ans, SD = 1,67, 2 femmes) ont pris part à cette pré-expérimentation. Ils étaient tous droitiers et familiarisés avec les dispositifs mobiles (6.9 en moyenne sur une échelle allant de 0 à 9). Les participants ont évalué le confort de chaque geste en utilisant une échelle de Likert à 5 points. Les gestes tactiles sur le smartphone ont été effectués de deux manières différentes : avec les doigts de la main tenant le smartphone ou avec les doigts de l'autre main (bimanuellement). Nous n'avons pas étudié les gestes tactiles sur la tablette puisqu'ils sont indépendants du geste de stacking.

En ce qui concerne tous les gestes tactiles (unimanuel et bimanuel), les "tap" et les "drag" ont été en grande partie considérés comme étant confortables (95,83% et 87,5% respectivement notés 3 ou plus). Les pinch / spread ont été jugés inconfortables dans l'ensemble (notés 1 ou 2), en particulier lorsqu'ils ont été effectués à une main (dans 47,9% des essais). En ce qui concerne les gestes physiques, le geste de translation a été jugé confortable (noté 3 ou plus) dans 87,8% des essais. Tous les autres gestes physiques ont révélé un certain inconfort. En effet, la rotation s'est avérée inconfortable (notée 1 ou 2 dans 37,5% des essais) dans certaines orientations. Le fait de basculer dans un coin était jugé inconfortable dans 29,2% des essais. Les gestes composés étaient quant à eux considérés inconfortables (notés 1 ou 2) dans 38,9% des essais, en particulier lorsqu'un pinch ou un spread était requis (notés 1 ou 2 dans 69,8% de ces essais).

Sur la base de ces résultats, nous avons décidé d'utiliser uniquement les gestes de translation et les gestes tactiles (unimanuel et bimanuel) considérés comme étant confortables. Les résultats ont également révélé que le smartphone devait être en mode portrait : cela signifie que seuls les gestes de stacking reposant sur la mise en contact du bord inférieur du smartphone avec la tablette étaient confortables.

4.3 Implémentation d'un prototype robuste

Pour mettre en œuvre ces gestes de translation, nous avons besoin d'un prototype capable de détecter la position du bord inférieur du smartphone, son orientation et sa translation sur l'écran de la tablette. Pour créer ce prototype, nous avons reproduit le principe utilisé dans CapStones et Cap-TUI (Blagojevic et al., 2013; Chan et al., 2012). Nous avons imprimé en 3D un boîtier de smartphone et recouvert son dos d'une feuille de cuivre (0,1 mm d'épaisseur), traversée de trois bandes de cuivre sur chaque bord de l'appareil (Fig. 4 - à gauche). La tablette détecte ces trois bandes (largeur de 5 à 6 mm) sous forme de trois événements tactiles simultanés et génère un événement stack. Nous avons choisi trois bandes pour détecter l'orientation du smartphone sur l'écran de la tablette car il n'existait pas de geste tactile commun nécessitant trois points tactiles alignés et simultanés : notre implémentation du stacking n'empêche donc pas les interactions tactiles classiques. En contrôlant la distance relative entre ces bandes, nous pouvons créer un motif unique pour chaque bord du smartphone, à l'image du dispositif Conté (Vogel et al., 2011). Ainsi, la tablette peut identifier le bord du smartphone réellement mis en contact et ainsi gérer 4 comportements ou modes distincts dans les interactions basées sur le stacking. Comme dans TouchTokens (Gonzalez et al., 2016), nous avons développé un algorithme de détection des trois points tactiles, leur écartement et orientation, mais pour un cas particulier dans lequel les trois marqueurs sont alignés. Par rapport à ACTUI (Li et al., 2015), CapStone (Chan et al., 2012) et Cap-TUI (Blagojevic et al., 2013) plusieurs patterns sont associés à un même smartphone de façon à identifier chaque arrête indépendamment. Enfin, par rapport à CapStones, les bandes de contact de notre prototype sont de taille largement inférieure (5 à 6 mm contre 8 à 9 mm). Nous avons également conçu une version métallique du boîtier avec les mêmes motifs de chaque côté (Fig. 4 – à droite).

Pour détecter ce modèle, nous avons implémenté un algorithme en Java sur la plateforme Android. Nous utilisons la distance et l'alignement spécifiques des trois bandes de cuivre détectées pour identifier le bord associé. Notre algorithme détecte la mise en contact du smartphone dès que les bandes de cuivre sont détectées sur l'écran de la tablette. Notre algorithme gère également les situations où le smartphone est partiellement hors de l'écran de la tablette : dans ces cas, nous estimons la position des points extérieurs à l'aide de la distance connue qui les sépare.

Fig. 4. : Deux versions de la coque conductive : une version imprimée en 3D avec des bandes de cuivre (à gauche) et une version métallique prête pour le marché avec des bandes déjà intégrées sur les bords (à droite). Celles-ci ont été conçues et réalisées en collaboration avec le collège technique Renée Bonnet à Ramonville (31).



5 ETUDE 1 : SELECTION D'UNE PLAGE DE CELLULES

La sélection des plages de cellules est une tâche fondamentale pour l'analyse des données, car elle est nécessaire pour créer un tableau croisé dynamique et constitue un prérequis pour la plupart des autres commandes offertes par un tableur. Une sélection de plage de cellules définit les données auxquelles une commande ou une fonction s'applique.

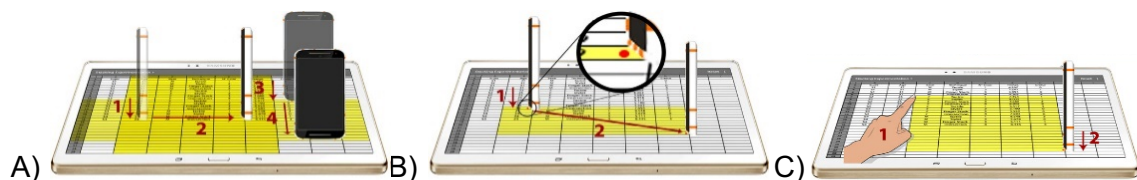
5.1 Conception de techniques d'interaction basées sur le stacking pour la sélection d'une plage de cellules

La sélection d'une plage de cellules nécessite deux actions : sélectionner le début et la fin de la plage de cellules. Sur la base d'un processus centré sur l'utilisateur, nous avons conçu trois techniques de stacking pour sélectionner une plage de cellules, illustrant la combinaison de deux considérations de conception : le nombre de mains impliquées (une ou deux mains) et le nombre de gestes de stacking (un ou deux gestes) :

- "Intersection" combine deux gestes de stacking successifs avec la main dominante. Pour sélectionner une plage de cellules en utilisant la technique Intersection (Fig. 5 - A), l'utilisateur sélectionne simplement une plage de lignes, puis une plage de colonnes : l'intersection entre l'ensemble des lignes sélectionnées et des colonnes définit la plage de cellules sélectionnée. Ces deux étapes sont indépendantes et peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre. Pour sélectionner des colonnes ou des lignes, l'utilisateur réalise d'abord un geste de stack avec le smartphone avec une orientation verticale ($90^\circ \pm 25^\circ$) ou une orientation horizontale ($0^\circ \pm 25^\circ$, Fig. 5- A). Dans les deux cas, la translation du smartphone étend la plage de lignes / colonnes sélectionnée. Pour modifier une sélection de colonne / ligne, l'utilisateur peut réaliser de nouveau un geste de stack sur la première ou la dernière colonne / ligne sélectionnée et traduire le smartphone pour ajuster le bord de la sélection.
- "Stack-and-Drag" utilise un seul geste de stacking et uniquement la main dominante. Il est basé sur une métaphore de stylet : lors du stacking d'un smartphone, le centre de l'arrête en contact avec la tablette fait office de pointeur sur la tablette. Ce pointeur est représenté par un point rouge affiché sur l'écran de la tablette à 1 cm devant le smartphone (au milieu du bord) pour éviter les problèmes d'occultation (Fig. 5 - B). Pour sélectionner la plage de cellules, l'utilisateur empile le smartphone sur l'écran de la tablette. La translation du smartphone étend la sélection de la plage de cellules actuelle (Fig. 5 - B). Pour ajuster la sélection, l'utilisateur peut de nouveau réaliser un geste de stack avec le smartphone sur la cellule supérieure gauche ou inférieure droite et le traduire.
- "Finger Stack" combine un toucher du doigt avec la main non dominante et un geste de stack avec la main dominante. Finger-Stack consiste à définir le coin supérieur gauche de la plage de cellules avec le doigt et le coin inférieur droit avec un geste de stack du smartphone (Fig. 5 - C). Le coin inférieur droit est sélectionné à l'aide du centre de l'arrête du smartphone, associé à un retour d'informations identique à celui utilisé dans la technique Stack-and-Drag. La sélection des deux coins peut être ajustée avec un glisser-déposer du doigt et / ou un geste de translation du smartphone. Pour modifier la sélection, le doigt ou un geste de stack peuvent être respectivement appliqués sur le coin supérieur gauche ou inférieur droit, et ainsi faire glisser le coin sélectionné.

Une quatrième technique basée sur l'utilisation de deux mains et de deux gestes de stacking générerait plus de deux actions, ce qui n'est pas nécessaire ici. Pour les trois techniques proposées, si la plage de cellules souhaitée dépasse les limites de l'écran, il est possible de faire glisser le smartphone près du bord de l'écran de la tablette pour déclencher un défilement automatique des colonnes. Le centre de l'arrête du Smartphone en contact avec la tablette est utilisé pour déclencher le mécanisme de défilement.

Fig. 5. Techniques de sélection Intersection (A), Stack-and-Drag (B) et Finger-Stack (C).



Chacune des trois techniques offre des avantages différents pour la sélection d'une plage de cellules. Intersection est basée sur deux gestes simples qui ne nécessitent pas de pointage précis sur une simple cellule, généralement de petite taille. Stack-and-Drag est similaire à une sélection basée sur la souris dans des tableurs de bureau, mais évite le besoin de sélectionner avec précision la petite ancre au coin d'une cellule sélectionnée. Finger-Stack offre l'avantage

d'une sélection directe (un simple touch et un geste de stacking) sans aucune translation du smartphone. Nous avons décidé de concilier ces avantages dans le cadre d'une étude contrôlée et de les comparer à une interaction purement tactile.

Nous n'avons trouvé aucune application de tableur pour dispositif mobile fournissant l'API et les outils logiciels requis pour intégrer des techniques d'interaction personnalisées, dont notamment nos techniques basées sur le stacking. Par conséquent, nous avons développé une nouvelle application de tableur parfaitement conforme à l'application Google Spreadsheet (Google Spreadsheet, 2017) en termes de disposition d'interface, d'interaction tactile et de taille de cellule (284x53px). Nous avons également intégré nos trois techniques d'interaction et de détection de gestes de stacking.

Dans cette étude, nous comparons les performances des trois techniques basées sur le stacking à une technique de base, l'interaction tactile, pour une tâche de sélection de plage de cellules.

5.2 Protocole expérimental

5.2.1 Tâche

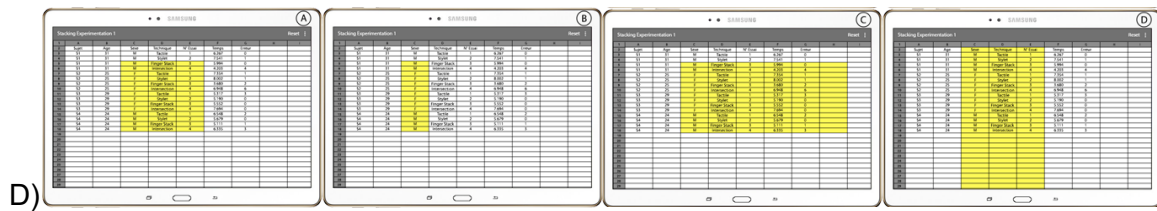
Les participants ont été invités à sélectionner le plus rapidement possible différentes plages de cellules avec chacune des quatre techniques d'interaction proposées. Pour limiter les biais expérimentaux, nous avons désactivé les actions de défilement et de zoom car elles auraient pu affecter la stratégie de sélection de la plage de cellules avec toutes les techniques. L'action de défilement était toutefois bien disponible lors de la phase de sélection.

Pour représenter la diversité des plages de cellules, nous avons considéré sept catégories : lignes complètes, colonnes complètes, 1xM (une colonne, M lignes), Nx1 (N colonnes, une ligne) et 3 formes de NxM (carré visuel, rectangle horizontal et vertical) - cf. Fig. 6-D. Les valeurs pour N étaient 1, 2, 4 ou 9 colonnes et 1, 7, 13 ou 33 lignes pour M. Ces valeurs ont été choisies en fonction de la différence entre la hauteur et la largeur des cellules. L'origine de la plage de cellules était toujours la cellule D6. Nous avons évalué deux conditions pour chaque plage : une où la plage était totalement dans l'écran (c'est-à-dire qu'aucun défilement n'était requis) et l'autre où la plage dépassait les limites de l'écran (c'est-à-dire, un défilement requis).

Chaque essai correspondait à la sélection d'une plage de cellules et se décomposait comme suit. Un premier panneau, affiché sur l'écran de la tablette, montrait les informations de la plage à sélectionner dans plusieurs formats (texte, en-têtes de cellules et image schématique Fig. 6 - A). Une fois prêt, l'utilisateur appuyait avec son doigt sur un bouton de la tablette pour lancer l'essai et afficher la feuille de calcul du tableur. Les en-têtes associés à la plage de cellules ciblée étaient de couleur rouge. Après la sélection des cellules, pour les cellules sélectionnées dans la plage ciblée, les en-têtes devenaient verts. Sinon, elles étaient colorées en jaune (Fig. 6 - B), soulignant ainsi une sélection incorrecte. Une fois la plage cible correctement sélectionnée, une validation automatique de l'essai était déclenchée après 500 ms.

Fig. 6. Écran principal de l'application (A), sélection incorrecte (B), sélection correcte (C) et différentes formes de plages de cellules sélectionnées (D : de gauche à droite : NxN, 1xM, NxM rectangle horizontal, NxM rectangle vertical).





5.2.2 Design expérimental

Notre étude a suivi un design intra-sujets de type $4 * 7 * 2$ avec comme facteurs la technique d'interaction (Tactile, Intersection, Stack-and-Drag and Finger-Stack), la plage de cellules (les sept types décrits précédemment) et le défilement (avec ou sans). L'étude a été divisée en quatre blocs, chaque bloc correspondant à une technique d'interaction (TI). L'ordre des blocs a été contrebalancé entre les participants au moyen d'un carré latin 4×4 .

Pour chaque bloc, les participants devaient effectuer 14 essais d'entraînement (dont la moitié avec défilement), puis 42 sélections de plages (14 conditions $\times$ 3 répétitions), avec randomisation de l'ordre des essais. Les participants pouvaient faire une pause entre chaque essai et chaque bloc.

Nous avons analysé un total de 4 techniques d'interaction $\times$ 42 plage de cellules (7 formes $\times$ 2 conditions de défilement $\times$ 3 répétitions) $\times$ 12 participants = 2016 sélections.

5.2.3 Equipement, participants et données collectées

Nous avons utilisé un Samsung Galaxy Tab S (Android 5.1, octa-core 1.9Ghz et 1.3Ghz) avec un écran 10.5" (2560x1600px), et un Samsung Galaxy S4 (Android 5.1, quad-core 1.9Ghz) avec un écran 5" (1920x1080px). Le smartphone était équipé de notre coque conductive et la tablette était dotée d'un écran de protection en plastique. Notre tableur a été installé sur la tablette. L'utilisateur était assis, tenant le smartphone de sa main dominante et la tablette posée sur la table devant lui.

Nous avons recruté 12 participants (5 femmes) âgés de 27,7 ans en moyenne (écart-type = 4,7). Six d'entre eux avaient participé à l'étude préliminaire. Ils étaient tous droitiers et connaissaient bien les appareils mobiles (7,5 sur une échelle de 0 à 9) et les tableurs en environnement de bureau (7,0). Un seul sujet était familier avec les tableurs sur tablettes (7,0, contre 2,1 pour les autres). L'expérience a duré une heure en moyenne.

Nous avons mesuré le temps nécessaire pour effectuer chaque essai, de la pression du bouton à la validation automatique. À la fin de chaque bloc, nous avons demandé aux participants de remplir un questionnaire d'utilisabilité SUS (Brooke, 1996) et nous avons recueilli des réactions informelles. Les participants ont également été invités à évaluer (aimer / ne pas aimer) les techniques d'interaction sur une échelle de Likert sur 7 points.

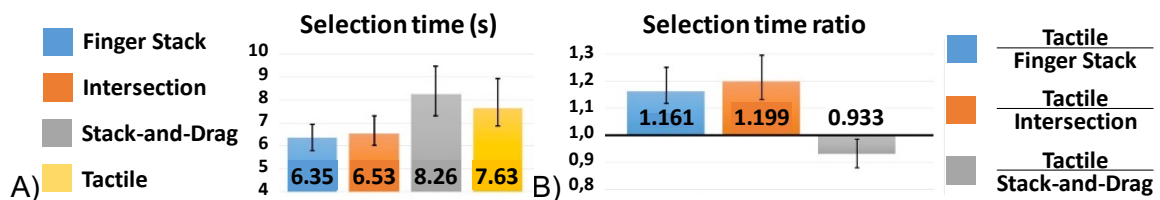
5.3 Résultats

Nous avons choisi de nous appuyer sur des techniques d'estimation avec des intervalles de confiance à 95% (IC) et une analyse du ratio, comme le recommande l'APA (VanDenBos, 2009). Le ratio est une mesure intra-sujet qui exprime la taille de l'effet (comparaison par paires) et est calculée entre chacune des moyennes géométriques. Tous les IC sont des "95% BCa bootstrap confidence interval". Pour le lecteur plus habitué à interpréter les valeurs de p, un parallèle peut être établi avec les résultats obtenus grâce à la technique d'estimation et aux rapports d'IC (voir la Fig. 3 dans (Krzywinski et al., 2013)). Les scripts utilisés pour calculer la moyenne géométrique et les IC ont été utilisés dans (Willett et al., 2015) et sont disponibles en ligne (INRIA web site).

5.3.1 Temps de sélection

Les résultats sur le temps de sélection montrent une nette différence entre les quatre techniques d'interaction. En effet, Finger-Stack et Intersection ont nécessité nettement moins de temps (resp. 6.35s, IC [5.79, 6.93] et 6.54s, IC [6.02, 7.3]) que Tactile (7.64s IC [6.87, 8.94]) et Stack-and-Translate (8.27s, IC [7.3, 9.46]) (Fig. 7 - A). L'analyse intra-sujet basée sur le rapport de temps (Fig. 7 - B) confirme cette constatation et établit que les essais avec Tactile ont pris 19,9% de temps de plus qu'avec Finger-Stack (ratio = 1.119 et aucune intersection de l'intervalle de confiance 95% avec la valeur 1,0) et 16,1% plus de temps qu'avec Intersection (ratio = 1.161, pas d'intersection avec 1,0).

Fig. 7. Temps de sélection moyen en s (A) et rapport (B) en ce qui concerne Tactile (IC à 95%).



Ce résultat est valable pour les différentes catégories de plages de cellules individuellement.

Lors de l'analyse de l'impact du facteur de défilement (catégories de plages de cellules impliquant $N = 9$ et / ou $M = 33$), les résultats montrent que, lorsque le défilement est nécessaire, les essais prennent en moyenne 64% d'IC [58.8, 69.5] plus de temps pour chaque technique, sans différence entre les techniques. Ainsi, notre mécanisme de défilement n'a pas eu d'impact négatif sur le temps d'exécution.

5.3.2 Facilité d'utilisation et préférence de l'utilisateur

L'analyse des questionnaires SUS établit clairement un meilleur score d'utilisabilité pour les techniques Tactiles et Intersection (respectivement 85.8, IC [78.3, 91.3] et 82.1, IC [73.5, 87.3]) que pour Finger-Stack (68.3, IC [58.1, 76.9]) et Stack-and-Drag (52.7, IC [36.7, 63.1]). L'évaluation générale des techniques confirme ces résultats avec 11 participants sur 12 qui ont aimé (5 et plus sur une échelle de Likert sur 7 points) Tactile, 10 qui ont aimé Intersection, 8 Finger Stack et 5 Stack-and-Drag.

Les commentaires informels rapportés par les participants vont dans le sens de ces analyses. En effet, l'interaction tactile a été décrite comme suit : «Intuitif, cohérent avec les gestes tactiles classiques» (8/12). Cependant, les utilisateurs ont trouvé qu'il était «difficile de viser la bonne cellule» (10/12). La technique Intersection a été qualifiée de «Simple à utiliser car les dimensions sont clairement séparées» (9/12). La technique Finger-Stack a quant à elle été décrite comme "pratique parce que la sélection est presque immédiate" (12/12). Enfin la technique Stack-and-Translate est considérée comme "difficile à manipuler car il est difficile de viser la bonne cellule avec le point rouge [pointeur du smartphone]" (9 / 12).

5.3.3 Conclusion

Les résultats montrent que l'interaction tactile prend en moyenne 19,9% de plus que Finger-Stack et 16,1% de plus que Intersection pour sélectionner correctement une plage de données. Ces résultats restent valables lorsqu'un défilement (scroll) est requis. En termes de facilité d'utilisation, la technique Intersection obtient un score SUS similaire à celui obtenu pour la technique de base Tactile, qui utilise uniquement l'interaction tactile, score qui s'avère plus élevé que pour les autres techniques. En outre, les participants ont émis des commentaires très enthousiastes sur la technique Intersection.

Compte tenu de ces résultats, nous ne considérons que les techniques Intersection et Tactiles (comme base) dans la suite de notre travail sur les techniques d'interaction basées stacking pour la création et la manipulation de tableaux croisés dynamiques.

6 ETUDE 2 : CREATION D'UN TABLEAU CROISE DYNAMIQUE

Après avoir validé l'étape initiale et nécessaire de sélection d'une plage de cellules, nous nous concentrons sur les actions restantes nécessaires pour créer et manipuler un tableau croisé dynamique afin de prendre en charge l'analyse ubiquitaire de données. Dans Excel, sur une tablette Microsoft Surface, après avoir sélectionné les données souhaitées (étape 1) et appuyé sur le menu / sous-menu de droite pour insérer le tableau croisé dynamique, l'application active un assistant. L'assistant est affiché à droite de l'écran, sur un onglet secondaire ou sur l'onglet contenant les données. L'assistant se compose d'une case contenant les en-têtes des lignes sélectionnées et de quatre autres cases, représentant les quatre composants d'un tableau croisé dynamique (Ligne, Colonne, Valeur et Filtre (Microsoft, 2019) - voir Fig. 8-C). Chaque en-tête de colonne peut ensuite être glissé et déposé (étape 2) sur l'une des quatre cases de l'assistant. Toucher l'un des éléments placés dans la case Valeur permet de modifier la fonction d'agrégation à l'aide d'une fenêtre contextuelle. Pour filtrer les éléments, un contact sur le tableau croisé dynamique ouvre une fenêtre contextuelle spécifique. Pour améliorer l'interaction avec le tableau croisé dynamique sur les tablettes, nous avons conçu un ensemble de techniques d'interaction basées sur le stacking.

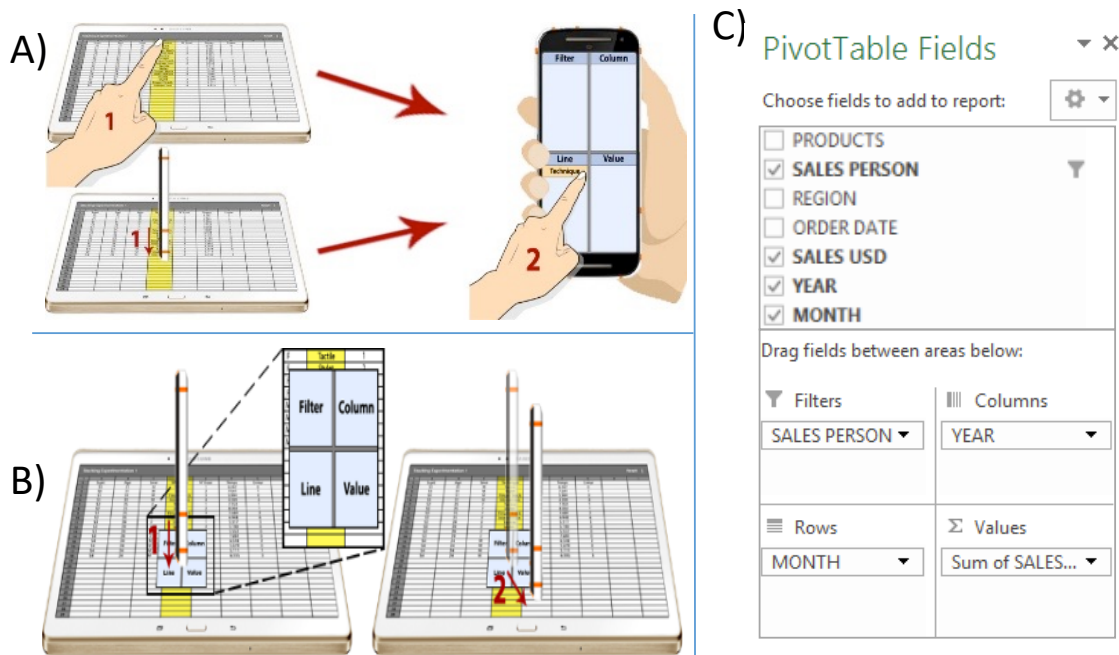
6.1 Conception de techniques d'interaction basées sur le stacking pour les tableaux croisés dynamiques

Nous avons adopté un processus centré utilisateur pour concevoir trois techniques d'interaction différentes, basées sur le stacking et permettant de contrôler la création et l'édition de tableaux croisés dynamiques. Ces trois conceptions diffèrent en termes de type de manipulation :

- "Dual-Screen Touch", repose uniquement sur l'utilisation de l'interaction tactile sur la tablette et le smartphone. Avec cette technique, un premier contact sur un en-tête de colonne affiché sur la tablette sélectionne la colonne. L'utilisateur peut ensuite insérer ces données dans l'assistant en touchant la case appropriée de l'assistant sur le smartphone (Fig. 8 - A-Top). Les données peuvent ensuite être glissées et déposées entre les différentes cases de l'assistant. Un contact sur les éléments placés dans une des cases de l'assistant permet de filtrer et de modifier la fonction de résumé. Un appui long sur un élément le retire de la case.
- "Stack-and-Touch" combine l'interaction tactile sur l'écran du smartphone avec un geste de stacking sur la tablette. Cette technique consiste à effectuer un geste de stack du smartphone sur la colonne souhaitée pour la sélectionner (comme dans la technique Intersection). Après avoir sélectionné la colonne, l'interaction est la même que pour la technique tactile à double écran, c'est-à-dire, toucher les cases cibles de l'assistant sur le smartphone (Fig. 8 - Partie inférieure).
- "Stack-and-Translate" est basé sur l'usage du stacking uniquement. Lors d'un geste de stack du smartphone sur la colonne souhaitée, colonne affichée sur la tablette, l'assistant est répliqué temporairement sur l'écran de la tablette (en plus de l'écran du smartphone) directement sous la position de stacking (Fig. 8 - B). Pour insérer une colonne de données dans l'assistant, l'utilisateur translate alors le smartphone en direction de la case de l'assistant souhaitée. Ensuite, l'assistant affiché sur l'écran de la tablette disparaît pour éviter les occultations.

Le smartphone affiche toujours l'assistant de tableau croisé dynamique, tandis que la tablette affiche les cellules de données. La sélection initiale de la plage de cellules (étape 1) est effectuée à l'aide de la technique Intersection avec le smartphone dans la main dominante (meilleure technique de l'étude 1).

Fig. 8. Sélection de cellules (étape 1) et affectation de celles-ci à une case de l'assistant de tableau croisé dynamique (étape 2) avec la technique Dual-Screen Touche (A-haut), Stack-and-Touch (A-bas), Stack-and-Translate (B). L'assistant de tableau croisé dynamique affiché est similaire à celui utilisé dans Excel sur la MS-Surface (C).



Nous avons modifié notre application de tableur fonctionnant sur la tablette tactile pour intégrer un assistant de tableau croisé dynamique affiché sur l'écran de la tablette (pour la technique de base) : notre application est strictement conforme à l'application Excel sur une Microsoft Surface (interaction tactile, structure et taille). En outre, nous avons étendu notre application pour que la partie inférieure du même assistant de tableau croisé dynamique puisse être affichée sur l'écran du smartphone (pour les techniques de stacking) et nous avons intégré nos trois techniques d'interaction.

Pour évaluer les performances de nos techniques d'interaction support à la création d'un tableau croisé dynamique, nous les avons comparées à l'interaction tactile normale.

6.2 Protocole expérimental

6.2.1 Tâche

La tâche expérimentale comportait deux étapes consécutives : la sélection d'une plage de cellules, puis la création d'un tableau croisé dynamique, toutes deux réalisées avec la même technique d'interaction (tactile ou basée stacking). Étant donné que les résultats de la première expérience étaient similaires pour les différentes catégories de plages de cellules, les participants devaient tout d'abord sélectionner une seule forme de plage de cellules composée de 50 lignes x 12 colonnes. Les mêmes instructions que dans la première étude ont été fournies au cours de cette étape. Une validation automatique s'est produite une fois que la plage de cellules appropriée était sélectionnée.

Après la sélection, les participants devaient ouvrir l'assistant de tableau croisé dynamique à l'aide d'un bouton de la barre de menus situé dans le coin supérieur gauche de la tablette pour la technique Tactile et sur le smartphone pour les techniques basées sur le stacking. Ensuite, ils devaient remplir les cases de l'assistant de tableau croisé dynamique conformément aux instructions données. Chaque essai consistait à remplir une case (la case Valeur), deux cases (les cases Valeur et Ligne), trois cases (les cases Valeur, Ligne et Colonne) ou quatre cases (les cases Valeur, Ligne, Colonne et Filtre, comme illustré dans la Figure 8-C) de l'assistant avec un seul élément chacune. Dans certains essais, les participants devaient également modifier la fonction d'agrégation (somme, nombre, moyenne).

Les participants ont été invités à accomplir la tâche aussi rapidement et avec autant de précision que possible. Les instructions de tâches étaient affichées sur l'écran de la tablette

avant chaque essai et sur un écran d'ordinateur secondaire pendant l'essai. Les instructions consistaient en un assistant de tableau croisé dynamique déjà rempli avec les éléments requis (cf. par exemple, Fig 8-C) et configuré avec une fonction d'agrégation spécifique. Un bouton tactile permettait à l'utilisateur de démarrer l'essai. Une fois l'assistant correctement rempli, une validation automatique était déclenchée après 500 ms.

Nous avons utilisé le même jeu de données que dans (Jo et al., 2017), consistant en un ensemble d'attributs de film (par exemple : genre, classement, budget, total brut et classement). Nous avons coupé le jeu de données à 200 lignes et 12 colonnes comme dans (Jo et al., 2017).

6.2.2 Design expérimental

Notre étude a suivi un design intra-sujets $4 * 4 * 2$ avec les techniques d'interaction (Tactile, Dual-Screen Touch, Stack-and-Touch, Stack-and-Translate), nombre de cases de l'assistant à modifier (un, deux, trois ou quatre) et fonction d'agrégation (oui ou non) comme facteurs. L'étude a été divisée en 4 blocs, chaque bloc correspondant à une technique. L'ordre des blocs a été contrebalancé entre les participants au moyen d'un carré latin 4×4 .

Pour chaque bloc, les participants pouvaient effectuer des essais d'entraînement jusqu'à ce qu'ils se sentent prêts. Ils ont ensuite effectué 24 créations de tableaux croisés dynamiques (8 conditions effectuées 3 fois), avec randomisation des essais. Les participants pouvaient faire une pause entre chaque essai et chaque bloc. Au total, nous avons collecté 4 techniques x 8 configurations x 3 répétitions x 12 participants = 1152 essais.

6.2.3 Equipement, participants et données collectées

Nous avons utilisé la même tablette et le même smartphone que dans l'étude précédente. Nous avons mis à niveau les deux appareils vers Android 7.1 pour exécuter notre implémentation de tableau croisé dynamique (qui nécessitait Java 8). Nous avons également utilisé un écran d'ordinateur (16", 1366x768 pixels) pour afficher en permanence les instructions au cours d'un essai.

Nous avons recruté 12 participants (7 femmes) âgés de 31,7 ans en moyenne (écart-type = 6,8). Les participants étaient tous des étudiants du département d'informatique de l'université locale. Deux d'entre eux ont participé à l'étude 1, limitée à la phase de sélection (étape 1). Ils étaient tous droitiers et connaissaient bien les appareils mobiles (7,8 sur une échelle de 0 à 9), les tableurs (6.5) et les tableaux croisés dynamiques (6.3). L'expérience a duré 78 minutes en moyenne.

Pour chaque essai, nous avons mesuré le temps total d'exécution ainsi que les temps de sélection et d'assistance. Nous avons consigné les erreurs de sélection (sélection d'une plage de cellules incorrecte) et les erreurs d'affectation (affectation d'un élément à la mauvaise case de l'assistant de création du tableau croisé dynamique ou attribution d'une fonction d'agrégation incorrecte). À la fin de chaque bloc, nous avons demandé aux participants de remplir un questionnaire SUS et nous avons recueilli des réactions informelles. Les participants ont également été invités à donner une appréciation générale de chaque technique d'interaction sur une échelle de Likert en 7 points.

6.3 Résultats

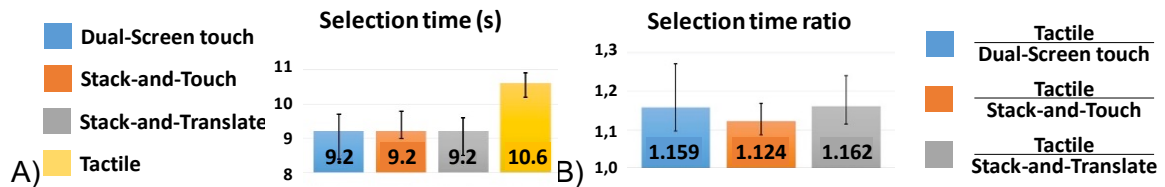
L'interaction globale est divisée en deux étapes : sélection et affectation. Par conséquent, nous rapportons les mesures quantitatives (temps, erreur) pour chaque étape séparément.

6.3.1 Durée de sélection (étape 1).

Alors qu'une seule forme de plage de cellules est à sélectionner dans cette seconde étude (plage de cellules de type NxM avec $N=50$ et $M=12$), par opposition aux sept formes de plage de cellules dans la première étude, les résultats sont en accord avec les mesures de la

première étude : en moyenne, la sélection d'une plage de cellules nécessite plus de temps avec la technique Tactile (10,6s IC [10.2, 10.9]) qu'avec nos techniques basées sur le stacking (9.2s IC [8.6, 9.7]) (Fig 9 - A). L'analyse intra-sujet basée sur le rapport de temps confirme ce résultat et établit qu'il a fallu en moyenne 14,8% de temps en plus (rapport = 1.148 sans intersection avec 1,0, Fig. 9 - B) avec Tactile qu'avec une de nos techniques basées sur le stacking.

Fig. 9. Temps moyen de sélection en s (à gauche) et rapport (à droite) en ce qui concerne le mode Tactile (IC à 95%).

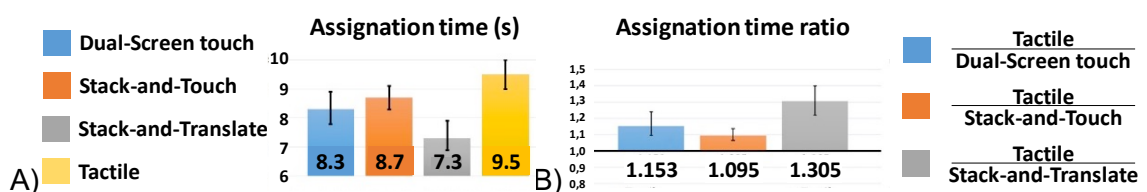


6.3.2 Durée d'affectation (étapes 2 et 3).

Les résultats établissent fermement que la phase d'affectation (c'est-à-dire remplir les cases de l'assistant de tableau croisé dynamique avec les éléments correspondants, Fig. 10-A) avec Stack-and-Translate prend moins de temps (7.3s, IC [6.9, 7.9]) qu'avec les trois autres techniques. Les résultats établissent également que Dual-Screen-Touch (8.3s, IC [7.8, 8.9]) et Stack-and-Touch (8.7s, IC [8.3, 9.1]) sont similaires en termes de temps d'affectation, alors que Tactile (9.5s, IC [9.0, 10.0]) nécessite clairement plus de temps que les trois autres. Ces résultats restent valables pour chaque nombre de cases testées (c'est-à-dire que les performances des techniques sont équivalentes quel que soit le nombre de cases à modifier). L'analyse intra-sujet basée sur le ratio de temps (Fig. 10 - B) confirme ce résultat et établit qu'il a fallu en moyenne 30,1% de temps supplémentaire (ratio = 1,301 sans intersection avec 1,0) avec Tactile qu'avec Stack-and-Translate.

Lors de la modification de la fonction d'agrégation de l'élément affecté à la case Valeur de l'assistant (par exemple, Somme au lieu de Moyenne), le temps d'affectation requis avec la technique Tactile augmente de 42,6% IC [32.7, 54.4] alors qu'il n'augmente que de 14,2% IC [8.6, 21.3] en moyenne pour nos 3 techniques (détails individuels sur la Fig. 11-A). Nous pouvons expliquer ces résultats par le fait qu'il est plus difficile d'accéder aux boutons de configuration de la tablette en utilisant la technique Tactile qu'à ceux affichés sur le smartphone lors de l'utilisation de techniques basées sur le stacking.

Fig. 10. Temps moyen d'affectation en s (A) et rapport (B) vis-à-vis de Tactile (IC à 95%).

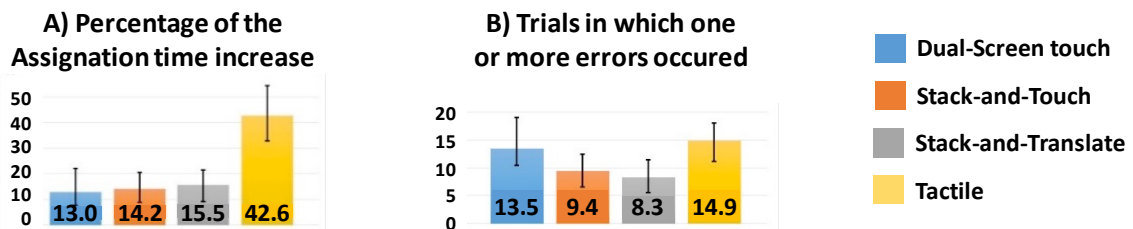


6.3.3 Erreurs

Compte tenu du protocole expérimental, aucune erreur n'était possible au cours de la phase de sélection. En ce qui concerne les erreurs d'affectation, c'est-à-dire une colonne affectée à une mauvaise case de l'assistant de tableau croisé dynamique (Fig. 11-B), il semble que moins d'erreurs se soient produites avec Stack-and-Translate (8,3% des essais contenaient au moins une erreur [5.6, 11.5]) et Stack-and-Touch (9,4% des essais [6.6, 12.5]) qu'avec Tactile (14,9% des essais [11.1, 18.1]) et Dual-Screen-Touch (13,5% des essais [10.4, 19.1]). Avec la technique Tactile, afin d'affecter une colonne à une case de l'assistant, l'utilisateur sélectionne un élément avec le doigt dans la liste des en-têtes de colonne affichés dans la partie supérieure de l'assistant, comme dans l'application Excel. Avec les autres

techniques, l'utilisateur sélectionne la colonne par un geste de stacking. Nous pensons qu'avec l'interaction tactile, la précision requise pour sélectionner l'élément dans la liste des colonnes est responsable de l'augmentation de l'erreur pendant la phase d'affectation.

Fig. 11. A) Pourcentage d'augmentation du temps d'affectation (IC 95%) lorsque la modification de la fonction de résumé est demandée (versus non). B) Pourcentage des essais dans lesquels au moins une erreur d'affectation s'est produite (IC à 95%).



6.3.4 Utilisabilité et préférences utilisateurs

Les questionnaires SUS conduisent à un meilleur score d'utilisation pour Stack-and-Translate (90.4, IC [76.9, 95.4]) et le Dual-Screen-Touch (80.8, IC [73.3, 87.9]), que pour la technique Tactile (70.2, IC [63.3, 75.0]) et Stack-and-Touch (73.1, IC [68.5, 76.0]). L'évaluation générale des techniques, obtenue à l'aide d'une échelle de Likert en 7 points, confirme ces résultats avec 11 participants sur 12 qui ont aimé (5 et plus) Stack-and-Translate, 10 qui ont aimé le Dual-Screen-Touch, 9 Stack-and-Touch et 7 seulement la technique Tactile.

Les commentaires informels des participants vont dans le sens de ces analyses. Stack-and-Translate a été décrit comme « très simple et très rapide » (9/12). La technique Dual-Screen-Touch a été qualifiée de « simple et facile à apprendre » (11/12) bien que « cliquer sur l'en-tête de colonne ne soit pas pratique ; J'aimerais cliquer sur l'une des cellules de la colonne » (9/12). La technique Stack-and-Touch a été décrite comme « plus simple car le menu du smartphone est plus clair que celui de la tablette » (7/12). La technique Tactile était considérée comme « vraiment dérangement : « [...] je peux la faire glisser mais souvent je ne parviens pas à placer correctement » (8/12).

6.3.5 Conclusion

Les résultats de cette étude confirment tout d'abord que, même lorsque combinée à une autre tâche, la sélection d'une plage de cellules nécessite en moyenne 15% de plus de temps avec la technique Tactile qu'avec les techniques basées sur le stacking, comme indiqué dans la première étude utilisateur. Les résultats établissent également que remplir un assistant de tableau croisé dynamique (étape 2) avec la technique Stack-and-Translate nécessite moins de temps que les autres techniques (7.3s contre 8.3s pour Dual-Screen-Touch, 8.7s pour Stack-and-Touch et 9.5s pour Tactile) : l'utilisation de la technique habituelle Tactile pour créer un tableau croisé dynamique nécessite 30% de temps supplémentaire par rapport à l'utilisation de la technique Stack-and-Translate. Ces résultats permettent aussi d'établir, sans surprise, que l'usage de deux écrans réduit le temps nécessaire pour remplir un assistant de tableau croisé dynamique : seule la technique la plus lente (Tactile) utilisait un seul écran. Au-delà de ce constat, les techniques basées sur le stacking induisent moins d'erreur que celle basée sur le tactile seul, pour un score d'utilisabilité similaire. Ces résultats permettent enfin d'établir que le stacking permet encore un gain de temps par rapport à une interaction tactile puisque la techniques Dual-Screen-Touch, entièrement tactile, requiert clairement plus de temps que la plus rapide des techniques basées sur le stacking (Stack-and-Translate). Ces trois aspects permettent donc d'établir clairement l'apport des techniques basées sur le stacking par rapport à des techniques purement tactiles ou mono-écran.

De plus, Stack-and-Translate et Dual-Screen-Touch obtiennent de meilleurs scores SUS que les autres techniques, y compris la technique Tactile. Les évaluations subjectives des techniques confirment largement l'opinion positive des participants à l'égard de la technique

Stack-and-Translate. Lorsque la tâche (sélection + affectation) devient plus complexe parce que la fonction d'agrégation doit être modifiée après l'affectation (c'est-à-dire ouvrir la "fonction" du menu et sélectionner une fonction de résumé différente - telle que Somme), les résultats établissent que les techniques basées sur le stacking résistent mieux à la complexité que la technique Tactile (cf. 6.3.2) : il semble donc que l'espace d'affichage ajouté sur le smartphone permet un accès facile à plus des fonctionnalités. Ces résultats démontrent ainsi les avantages des techniques de stacking par rapport aux interactions tactiles traditionnelles pour la création de tableaux croisés dynamiques.

7 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

7.1 Scénario d'utilisation : retours des élus

L'utilisation du smartphone comme dispositif complémentaire pourrait facilement être insérée dans une application existante pour répondre à des difficultés d'interaction courantes. Par exemple, considérons un analyste qui a effectué une analyse de données avant une réunion. La présentation de son analyse, au cours d'une réunion, génère d'autres hypothèses : il a besoin d'explorer plus avant les données au cours de la réunion, ce qui est fastidieux sur les tablettes. Les smartphones, omniprésents dans les milieux personnels et professionnels, peuvent alors être utilisés pour faciliter l'interaction. Cette situation d'interaction, commune à de nombreux métiers, sert de cadre à notre travail. Les smartphones peuvent servir d'interacteurs principaux avec la tablette, étendant à la fois les degrés de libertés d'entrée et l'espace d'affichage, en faisant un candidat unique pour générer une analyse plus approfondie des données.

Dans ce contexte, en plus de la création de tableaux croisés dynamiques, le smartphone permettrait de créer et d'afficher des représentations graphiques des données, libérant ainsi de l'espace d'affichage sur la tablette. L'utilisation du stacking permettrait alors de transférer les graphiques générés d'un dispositif à l'autre, afin que chaque utilisateur puisse les explorer.

Afin d'obtenir un premier retour informel sur notre approche pour répondre au scénario d'utilisation élaboré avec les élus interviewés, nous avons réalisé un second entretien avec eux. Au cours de cette session, nous avons présenté les différentes techniques d'interaction développées. Nous avons recueilli leurs remarques ainsi que leur appréciation de ces techniques et nous leur avons demandé si nos implémentations semblaient pertinentes pour leur contexte de travail.

Les résultats de cet entretien montrent que nos contributions s'intègrent parfaitement dans leur fonction d'élu : utilisation de dispositifs déjà à leur disposition, manipulation de données suffisamment complexes, exploitations avancées de tableurs. Enfin, après avoir manipulé le smartphone et généré quelques tableaux croisés dynamiques, les élus ont trouvé nos techniques pertinentes et faciles à prendre en main. Il a cependant été noté que l'ajout d'une représentation graphique permettant de visualiser les données, après avoir créé le tableau croisé dynamique, était nécessaire et devait être la prochaine étape de ce travail.

Dans le contexte de l'entreprise Berger-Levrault, l'utilisation du stacking pourrait donc être envisagée dans de nombreuses applications. La version mobile du logiciel Atal (outil de gestion du patrimoine de la collectivité) représente un cas d'application particulièrement pertinent pour ces travaux. Ce logiciel affiche une liste déroulante de l'ensemble des éléments de patrimoine de la collectivité regroupés par catégories (arbres, bancs publics, etc.). Chaque élément est représenté par de nombreuses caractéristiques (p. ex. 47 pour les arbres de la ville de Lyon). L'utilisation du stacking permettrait de faciliter la manipulation de l'ensemble de ces critères tout en permettant leur visualisation sur l'écran du smartphone, libérant ainsi de l'espace d'affichage pour montrer les données sur l'écran de la tablette. De plus, l'utilisation du smartphone permettrait l'affichage de représentations graphiques issues de l'analyse de ces données (p. ex. l'état de santé des arbres d'un quartier). D'autre part, le smartphone

pourrait aussi être utilisé comme une lentille magique (Bier et al., 2013) et ainsi permettre de filtrer les données de la tablette plus efficacement.

7.2 Avantages de l'interaction basée sur le stacking pour l'analyse des données

Nos deux études révèlent que l'utilisation de l'interaction basée sur le stacking pour manipuler des données sur des appareils mobiles est plus efficace que l'interaction tactile actuelle fournie par les tableurs sur tablette. Dans un premier temps, nous avons démontré que la sélection des cellules nécessite 15% plus de temps avec l'interaction tactile qu'avec une technique basée sur le stacking ; dans un deuxième temps, nous avons établi que la sélection des cellules et leur affectation dans l'assistant du tableau croisé dynamique nécessitaient plus de temps avec la technique Tactile qu'avec une technique basée sur stacking et jusqu'à 22% de temps en plus qu'avec la technique Stack-and-Translate. Enfin, parmi les techniques basées sur le stacking, celle reposant uniquement sur le stacking (Stack-and-Translate - 7.3s) nécessite moins de temps que celles utilisant uniquement le toucher (Dual-Screen Touch - 8.3s) ou une combinaison de toucher et stacking (Stack-and-Touch - 8.7s).

La manipulation physique du smartphone permet une manipulation directe de la base de données sans interférer avec les gestes tactiles habituels, et raccourcit le chemin d'interaction. De plus, l'utilisation de l'écran du smartphone pour afficher l'assistant de tableau croisé dynamique s'est avérée pratique et utile (voir les commentaires informels des utilisateurs). Globalement, l'interaction basée sur le stacking semble bien adaptée pour faciliter l'analyse ubiquitaire des données sur les tablettes.

7.3 Temps total d'interaction et choix du smartphone

Pour utiliser notre approche de stacking pour l'analyse de données, il faut d'abord prendre le smartphone et le configurer sur la tablette, ce qui se rajoute au temps total d'interaction. Cependant, au cours d'une longue analyse de données (les conseils municipaux durent en moyenne 2 heures), une fois le smartphone positionné, l'utilisateur ne fera que continuer à l'utiliser, avec les avantages démontrés par rapport à une interaction tactile normale. Cela justifie le choix d'utiliser le smartphone comme principal acteur de la main dominante : dans de telles conditions, nos techniques sont respectivement supérieures de 19,9% et 30,1% à celles tactiles pour la sélection de la plage de cellules et la configuration de l'assistant de tableau croisé dynamique.

7.4 Perspectives

À l'avenir, nous prévoyons d'intégrer à notre application d'autres fonctionnalités du tableau croisé dynamique telles que le classement ou le filtrage des éléments dans l'assistant et le changement de visualisations du tableau croisé (représentation graphique par rapport à un tableau). Ces deux visualisations peuvent être disponibles sur l'écran du smartphone en effectuant un geste de balayage gauche / droite. Une fois ces fonctionnalités intégrées à notre application, nous prévoyons de comparer notre solution à une technique tactile avancée (basée sur le toucher à trois doigts, par exemple). Nous mènerons ensuite une étude longitudinale avec nos utilisateurs ciblés, à savoir les élus, dans un contexte concret.

De plus, nous espérons exploiter tout le potentiel des gestes de stacking. Alors que dans notre exploration initiale, nous avons dévoilé un vocabulaire composé de différents types de gestes (physiques ou tactiles), nous n'avons utilisé qu'un sous-ensemble dans nos interactions. Nous prévoyons aussi d'étudier l'apport du stacking pour d'autres utilisations : une interaction basée sur le stacking pourrait être utile pour la configuration de graphiques de tableur, pourrait être utilisée dans des interfaces overview+detail (Saidi et al., 2016) ou pour transférer des données entre des périphériques dans un environnement multi-périphérique (Chen et al., 2013; Hamilton et al., 2014).

En ce qui concerne l'utilisation à long terme de techniques de stacking, étant donné que la tablette et le smartphone reposent le plus souvent sur la table, nous n'anticipons pas que la technique induise une fatigue particulière lors de son utilisation. Nous n'avons d'ailleurs reçu aucun commentaire sur la fatigue lors de nos tests qui ont duré une heure. Cependant, des études futures devraient valider ce point.

LES PERSPECTIVES D'APPLICATION DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ Intégrer à notre application d'autres fonctionnalités du tableau croisé dynamique, telles que le classement ou le filtrage
- ✓ Comparer notre solution à une technique tactile avancée
- ✓ Mener une étude longitudinale avec nos utilisateurs ciblés
- ✓ Etudier l'apport à d'autres applications, comme la configuration de graphiques de tableur ou les interfaces « overview+detail »

8 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté différentes techniques de stacking pour faciliter l'analyse de données ubiquitaires sur des tablettes. Nous avons tout d'abord éliminé les gestes de stacking les plus inconfortables. Sur la base de ces résultats, nous avons conçu une coque conductive qui détecte la présence du smartphone sur l'écran de la tablette. Nous avons ensuite proposé des techniques d'interaction basées sur le stacking, l'objectif final étant de prendre en charge l'analyse de données à l'aide de tableaux croisés dynamiques selon une approche en deux étapes : premièrement, effectuer une sélection de plage de cellules, puis créer un tableau croisé dynamique à partir de la plage de cellules choisie. Nous avons montré que nos techniques de stacking sont plus rapides que les interactions tactiles classiques pour la sélection d'une plage de cellules. En outre, nous avons établi que l'utilisation du smartphone en tant qu'interacteur tangible avec un écran tactile complémentaire étend les capacités d'interaction d'un appareil mobile en termes d'entrée (interaction basée sur le stacking) et de sortie (écran complémentaire) : en particulier, il accélère la création et la manipulation de tableaux croisés dynamiques, et est plus utilisable que l'interaction tactile usuelle.

QUE RETENIR DE CETTE RECHERCHE ?

- ✓ Les techniques d'interaction basées sur le stacking sont plus rapides que les interactions tactiles classiques pour la sélection d'une plage de cellules.
- ✓ L'utilisation du smartphone en tant qu'interacteur tangible accélère la création et la manipulation de tableau croisé dynamique.

9 REFERENCES

- ▶ Banovic, N, Frank Chun Yat Li, David Dearman, Koji Yatani, and Khai N. Truong. 2011. Design of unimanual multi-finger pie menu interaction. In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS '11). ACM, New York, NY, USA, 120-129. DOI: <https://doi.org/10.1145/2076354.2076378>
- ▶ Baudisch, P., C. Holz, "My New PC Is a Mobile Phone," XRDS: Cross-roads, vol. 16, no. 4, 2010, pp. 36-41
- ▶ Bier, E., A., Maureen C. Stone, Ken Pier, William Buxton, and Tony D. DeRose. 1993. Toolglass and magic lenses: the see-through interface. In Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '93). ACM, New York, NY, USA, 73-80.
- ▶ Blagojevic R., Plimmer B. (2013) CapTUI: Geometric Drawing with Tangibles on a Capacitive Multi-touch Display. In: Kotzé P., Marsden G., Lindgaard G., Wesson J., Winckler M. (eds) Human-Computer Interaction – INTERACT 2013. INTERACT 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 8117. Springer, Berlin, Heidelberg
- ▶ Brooke, J.. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry, 189(194), 4-7.

- ▶ Brudy, F., Steven Houben, Nicolai Marquardt, and Yvonne Rogers. 2016. Cura-tionSpace: Cross-Device Content Curation Using Instrumental Interaction. In Pro-ceedings of the ACM Conference on Interactive Surfaces and Spaces. ACM, 159–168. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2992154.2992175>
- ▶ Chen, N., François Guimbretière, and Abigail Sellen. 2013. Graduate student use of a multi-slate reading system. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13). ACM, New York, NY, USA, 1799-1808. DOI: <https://doi.org/10.1145/2470654.2466237>
- ▶ Chan, L., Stefanie Müller, Anne Roudaut, and Patrick Baudisch. 2012. CapStones and ZebraWidgets: sensing stacks of building blocks, dials and sliders on capacitive touch screens. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12). ACM, New York, NY, USA, 2189-2192. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2207676.2208371>
- ▶ Chen, X.A., Tovi Grossman, Daniel J. Wigdor, and George Fitzmaurice. 2014. Duet: exploring joint interactions on a smart phone and a smart watch. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, New York, NY, USA, 159-168. DOI: <https://doi.org/10.1145/2556288.2556955>
- ▶ Elmqvist, N., & Irani, P. (2013). Ubiquitous analytics: Interacting with big data anywhere, anytime. *Computer*, 46(4), 86-89.
- ▶ Excel on Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.microsoft.office.excel&hl=fr> (Last visit 20/09/2018)
- ▶ Goguey, A., Géry Casiez, Thomas Pietrzak, Daniel Vogel, and Nicolas Roussel. 2014. Adoiraccourcix: multi-touch command selection using finger identification. In Proceedings of the 26th Conference on l'Interaction Homme-Machine (IHM '14). ACM, New York, NY, USA, 28-37. DOI: <https://doi.org/10.1145/2670444.2670446>
- ▶ González R.M., Caroline Appert, Gilles Bailly, and Emmanuel Pietriga. 2016. TouchTokens: Guiding Touch Patterns with Passive Tokens. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, 4189-4202.
- ▶ Google Spreadsheet on Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.docs.editors.sheets&hl=fr> (Last visit 18/09/2017)
- ▶ Hamilton, P. Daniel J. Wigdor. 2014. Conductor: enabling and understanding cross-device interaction. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, New York, NY, USA, 2773-2782. DOI: <https://doi.org/10.1145/2556288.2557170>
- ▶ INRIA - AVIZ Group. R Macros for data analysis. www.aviz.fr/reliefshearing.
- ▶ Hasan, K., David Ahlström, and Pourang Irani. 2013. Ad-binning: leveraging around device space for storing, browsing and retrieving mobile device content. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13). ACM, New York, NY, USA, 899-908. DOI: <https://doi.org/10.1145/2470654.2466115>
- ▶ Heo, S., Jiseong Gu, and Geehyuk Lee. 2014. Expanding touch input vocabulary by using consecutive distant taps. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, New York, NY, USA, 2597-2606. DOI: <https://doi.org/10.1145/2556288.2557234>
- ▶ Heo, S., Jingun Jung, and Geehyuk Lee. 2016. MelodicTap: fingering hotkey for touch tablets. In Proceedings of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction (OzCHI '16). ACM, New York, NY, USA, 396-400. DOI: <https://doi.org/10.1145/3010915.3010993>
- ▶ Badam, H.T., S. K., Elmqvist, N., & Dachsel, R. (2018, April). When David Meets Goliath: Combining Smartwatches with a Large Vertical Display for Visual Data Exploration. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 19). ACM.
- ▶ Hwang, S., Myungwook Ahn, and Kwang-yun Wohn. 2013. MagGetz: customizable passive tangible controllers on and around conventional mobile devices. In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '13). ACM, New York, NY, USA, 411-416. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2501988.2501991>

- ▶ Jelen, B., Michael Alexander. 2010. Pivot Table Data Crunching: Microsoft Excel 2010 (1st ed.). Que Publishing Company.
- ▶ Jo, J., Sehi L'Yi, Bongshin Lee, and Jinwook Seo. 2017. TouchPivot: Blending WIMP & Post-WIMP Interfaces for Data Exploration on Tablet Devices. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17). ACM, New York, NY, USA, 2660-2671. DOI: <https://doi.org/10.1145/3025453.3025752>
- ▶ Krzywinski, M. and Altman, N. Points of Significance: Error bars. Nature Methods 10, 10 (2013), 921–922.
- ▶ Langner, R., Tom Horak, Raimund Dachsel (2018). VisTiles: Coordinating and Combining Co-located Mobile Devices for Visual Data Exploration. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 24(1), 626-636.
- ▶ Leigh, S., Philipp Schoessler, Felix Heibeck, Pattie Maes, and Hiroshi Ishii. 2015. THAW: Tangible Interaction with See-Through Augmentation for Smartphones on Computer Screens. In Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '15). ACM, New York, NY, USA, 89-96. DOI: <https://doi.org/10.1145/2677199.2680584>
- ▶ Microsoft Office support, "Créer un tableau croisé dynamique pour analyser des données de feuille de calcul", <https://support.office.com/fr-fr/article/cr%C3%A9er-un-tableau-crois%C3%A9-dynamique-pour-analyser-des-donn%C3%A9es-de-feuille-de-calcul-a9a84538-bfe9-40a9-a8e9-f99134456576>.
- ▶ Li, M., Leif Kobbelt. 2015. ACTUI: Using Commodity Mobile Devices to Build Active Tangible User Interfaces. In Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct (MobileHCI '15). ACM, New York, NY, USA, 592-597. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2786567.2792895>
- ▶ Perelman, G., Marcos Serrano, Célia Picard, Mustapha Derras, and Emmanuel Dubois. 2017. Multi-device interaction for spreadsheet on tablets. In Proceedings of the 29th Conference on l'Interaction Homme-Machine (IHM '17). ACM, New York, NY, USA, 105-115.
- ▶ Perelman, G. Marcos Serrano, Célia Picard, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, and Emmanuel Dubois. 2018. Combination of tactile devices to interact with a spreadsheet on tablet. In Proceedings of the 30th Conference on l'Interaction Homme-Machine (IHM '18). ACM, New York, NY, USA, 20-29.
- ▶ Perelman, G., Conception, développement et évaluation de techniques d'interactions fluides pour des environnements multidimensionnels : application aux logiciels du service public. Thèse de Doctorat, Université Toulouse 3, 2018. <http://thesesups.ups-tlse.fr/4189/>
- ▶ Perelman, G., Marcos Serrano, Christophe Bortolaso, Celia Picard, Mustapha Derras and Emmanuel Dubois. Combining Tablets with Smartphones for Data Analytics. I proceeding of Interact 2019, septembre 2019, 22 pages.
- ▶ Pfeuffer, K., Ken Hinckley, Michel Pahud, and Bill Buxton. 2017. Thumb + Pen Interaction on Tablets. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17). ACM, New York, NY, USA, 3254-3266. DOI: <https://doi.org/10.1145/3025453.3025567>
- ▶ Piazza, T., Morten Fjeld, Gonzalo Ramos, Asim Evren Yantac, and Shengdong Zhao. 2013. Holy smartphones and tablets, Batman!: mobile interaction's dynamic duo. In Proceedings of the 11th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI '13). ACM, New York, NY, USA, 63-72. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2525194.2525205>
- ▶ QlikSense: <https://www.qlik.com/fr-fr/products/qlik-sense> (Last visit 20/09/2018)
- ▶ QlikView: <https://www.qlik.com/fr-fr/products/qlikview> (Last visit 20/09/2018)
- ▶ Rädle, R., Hans-Christian Jetter, Jens Müller, and Harald Reiterer. 2014. Bigger is not always better: display size, performance, and task load during peephole map navigation. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, New York, NY, USA, 4127-4136
- ▶ Saidi, H., Marcos Serrano, and Emmanuel Dubois. 2016. Investigating the effects of splitting detailed views in Overview+Detail interfaces. In Proceedings of the 18th International Conference

- on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '16). ACM, New York, NY, USA, 180-184. DOI: <https://doi.org/10.1145/2935334.2935341>
- ▶ Santosa, S., Daniel Wigdor, A field study of multi-device workflows in distributed workspaces, Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing, September 08-12, 2013, Zurich, Switzerland doi>10.1145/2493432.2493476
 - ▶ Schmidt, D., Fadi Chehimi, Enrico Rukzio, and Hans Gellersen. 2010. PhoneTouch: a technique for direct phone interaction on surfaces. In Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '10). ACM, New York, NY, USA, 13-16. DOI: <https://doi.org/10.1145/1866029.1866034>
 - ▶ Schmidt, D., Julian Seifert, Enrico Rukzio, and Hans Gellersen. 2012. A cross-device interaction style for mobiles and surfaces. In Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference (DIS '12). ACM, New York, NY, USA, 318-327. DOI: <https://doi.org/10.1145/2317956.2318005>
 - ▶ Srinivasan, A., Lee, B., Stasko, J. 2018. Facilitating Spreadsheet Manipulation on Mobile Devices Leveraging Speech. MobileVis '18 Workshop at CHI 2018, April 21, 2018, Montreal, QC, Canada. <https://mobilevis.github.io/>
 - ▶ Uddin Sami, Md., Carl Gutwin. 2016. Rapid Command Selection on Multi-Touch Tablets with Single-Handed HandMark Menus. In Proceedings of the 2016 ACM on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '16). ACM, New York, NY, USA, 205-214. DOI: <https://doi.org/10.1145/2992154.2992172>
 - ▶ Tableau software : <https://www.tableau.com/fr-fr> (Last visit 20/09/2018)
 - ▶ VandenBos Gary R. (Ed.). 2009. Publication Manual of the American Psychological Association (6th ed.). American Psychological Association, Washington, DC. <http://www.apastyle.org/manual/>
 - ▶ Vogel, D. and Géry Casiez. 2011. Conté: multimodal input inspired by an artist's crayon. In Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '11). ACM, New York, NY, USA, 357-366. DOI: <https://doi.org/10.1145/2047196.2047242>
 - ▶ Wagner, J., Eric Lecolinet, and Ted Selker. 2014. Multi-finger chords for hand-held tablets: recognizable and memorable. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, New York, NY, USA, 2883-2892. DOI: <https://doi.org/10.1145/2556288.2556958>
 - ▶ Willett, W., Jenny, B., Isenberg, T., et al. Lightweight Relief Shearing for Enhanced Terrain Perception on Interactive Maps. Proceedings of the 33rd ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2015), (2015).
 - ▶ Wongsuphasawat, K., Dominik Moritz, Anushka Anand, Jock Mackinlay, Bill Howe, and Jeffrey Heer. 2016. Voyager: exploratory analysis via faceted browsing of visualization recommendations. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG) 22, 12: 649-658.
 - ▶ Woźniak, P., Lars Lischke, Benjamin Schmidt, Shengdong Zhao, and Morten Fjeld. 2014. Thaddeus: a dual device interaction space for exploring information visualisation. In Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational (NordiCHI '14). ACM, New York, NY, USA, 41-50. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2639189.2639237>
 - ▶ Wozniak, P., Nitesh Goyal, Przemysław Kucharski, Lars Lischke, Sven Mayer, and Morten Fjeld. 2016. RAMPARTS: Supporting Sensemaking with Spatially-Aware Mobile Interactions. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, 2447-2460. DOI: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858491>

10 BIOGRAPHIE



Gary PERELMAN

a soutenu son doctorat en Informatique en 2018. Ses travaux de cette thèse s'inscrivent dans une collaboration avec l'entreprise Berger-Levrault. L'objectif de ses travaux de thèse est de contribuer à la fluidification de l'interaction avec des données multidimensionnelles, contenues dans les logiciels du service public, au travers de l'augmentation des degrés de libertés en entrée proposés par les dispositifs. Ses travaux de thèse ont présenté trois contributions majeures : un dispositif à multiples degrés de libertés, la Roly-Poly Mouse ; un espace de conception, DECO ; ainsi qu'un ensemble de techniques d'interaction avec dispositifs mobiles basées sur le principe du stacking.



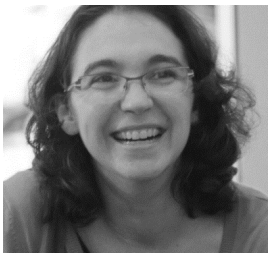
Marcos SERRANO

est maître de conférence à l'Université Paul Sabatier-Toulouse 3. Il a obtenu son Doctorat en Informatique en 2010 à Grenoble, et son Habilitation à Diriger des Recherches en 2018 à Toulouse. Ses recherches sont consacrées à la conception de nouvelles techniques d'interaction dans le domaine de l'informatique mobile et ubiquitaire. Ses travaux s'intéressent en particulier aux interactions avec des interfaces non rectangulaires, des environnements multi-écrans et des dispositifs mobiles.



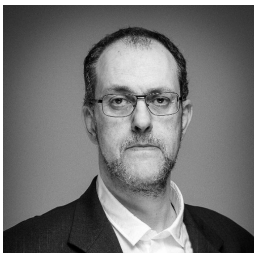
Christophe BORTOLASO

est Docteur en Informatique, spécialiste en interaction homme-machine. Depuis maintenant plus de 10 ans, il a travaillé en France et à l'étranger sur de nombreux projets de recherche et de développement logiciel dans des secteurs divers tel que la défense, la culture, l'énergie, le public et la santé. Aujourd'hui en charge des projets R&D chez Berger-Levrault, il coordonne une équipe de chercheurs dans de multiples thématiques allant du génie logiciel, à la réalité augmentée jusqu'à l'intelligence artificielle et le traitement naturel du langage.



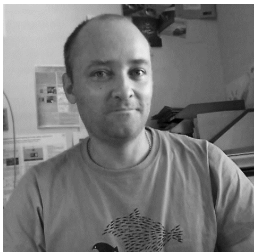
Célia PICARD

est enseignante-chercheuse à l'École Nationale d'Aviation Civile à Toulouse depuis 2017. Son Doctorat en Informatique, obtenu en 2012 à Toulouse, se situait à la frontière de la théorie des types et de l'ingénierie dirigée par les modèles. Après un passage de par l'industrie au cours duquel elle s'est intéressée notamment à des problématiques d'IHM, ses recherches sont désormais consacrées à la formalisation et à la certification de propriétés interactives en particulier pour les systèmes critiques et embarqués.



Mustapha DERRAS

est docteur en informatique et systèmes (URA 830 CNRS – 1993). Il est aujourd'hui Directeur de la Recherche et de l'Innovation du groupe Berger-Levrault. Auparavant il a occupé de nombreux postes ayant pour objectif de créer des produits innovants auprès de grands acteurs nationaux et internationaux (Dassault Systèmes, Timeg, Cadence Design Systems, General Electric) ainsi que chez CLAAS où il a effectué ses études doctorales dans le domaine de la robotique mobile et du traitement d'image.



Emmanuel DUBOIS

est Professeur à l'Université Paul Sabatier - Toulouse 3 depuis 2012. Il a obtenu son Doctorat en Informatique en 2001 à Grenoble et son Habilitation à Diriger des Recherches en 2009 à Toulouse. Après avoir développé des approches à base de modèles pour concevoir et développer des Systèmes Interactifs Mixtes, ses travaux se concentrent aujourd'hui sur la conception et l'expérimentation de techniques permettant d'interagir avec de grands volumes de données. Il s'agit notamment d'explorer comment combiner plusieurs espaces d'interaction au moyen de multiples dispositifs, de dispositifs immersifs, d'interaction spatiale ou tangible.