

# Étude de terrain sur l'utilisation des pavés tactiles

Sylvain Malacria<sup>1</sup>, Alix Goguey<sup>1</sup>, Gilles Bailly<sup>2</sup>, Géry Casiez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Inria, France <sup>2</sup>CNRS LTCI, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay <sup>3</sup>Université de Lille  
{sylvain.malacria,alix.goguey}@inria.fr, gilles.bailly@telecom-paristech.fr, gery.casiez@univ-lille1.fr

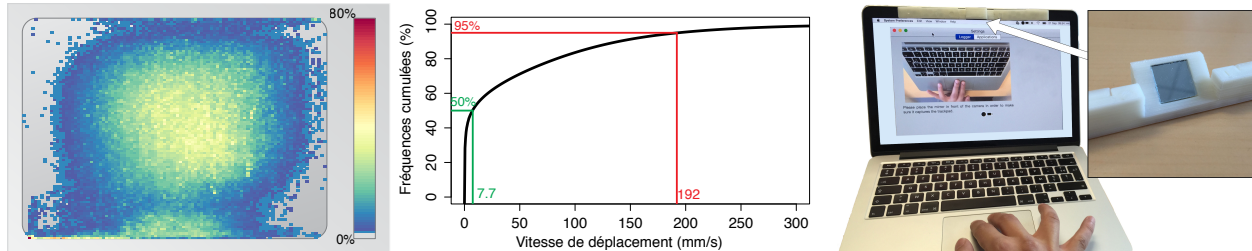


Figure 1: Gauche : densité des points de contact en superposition sur un pavé tactile ; Centre : fréquences cumulées des vitesses de déplacement du doigt lors de tâches de pointage ; Droite : miroir positionné en face de la caméra intégrée de l'ordinateur portable dans le but de rediriger son champ et de déterminer quels doigts sont en interaction avec le pavé tactile.

## RESUMÉ

Dans cet article, nous cherchons à mieux comprendre les interactions des utilisateurs avec les pavés tactiles multi-points et donnons des recommandations pour créer de nouvelles interactions ou revisiter les interactions existantes. Dans ce but, nous avons mené une étude de terrain en trois parties ciblant les pavés tactiles multi-points Macbook d'Apple. Nous avons collecté (1) les préférences système de 80 utilisateurs ; (2) des données de bas niveau sur l'interaction de 11 utilisateurs et (3) les accords utilisés par 9 utilisateurs pour effectuer des gestes multi-points. Nos résultats montrent que les utilisateurs ont tendance à conserver les préférences système par défaut ; que les contacts physiques sur pavés tactiles sont relativement lents et se concentrent dans une zone centrale ; et que la fréquence d'un geste et le nombre de doigts mis en œuvre influent sur la constance de l'accord utilisé pour l'effectuer.

## Mots Clés

Trackpad; pavé tactile; gestes; étude de terrain;

## ABSTRACT

In this paper, we aim at better understanding users interaction with trackpads and provide recommendations for creating novel or revisiting existing interactions. To achieve this goal, we conducted a three-steps field study targeted at Apple Macbook's multi-touch trackpads. We collected (1) system preferences of 80 users; (2) low-level interaction data of 11 users and (3) finger chord mappings to

multi-touch gestures of 9 users. Our results show that users change few default system preferences; that touch contacts on the trackpad are performed on a limited sub-surface and are relatively slow; and that the consistency of user finger chords varies depending on the frequency of a gesture and the number of fingers involved.

## Author Keywords

Trackpad; touchpad; logging; field-study; gestures;

## ACM Classification Keywords

H.5.2 Information interfaces (e.g. HCI): User interfaces

## INTRODUCTION

Un *pavé tactile* (ou *trackpad*) est un dispositif d'entrée très répandu, utilisé principalement pour convertir les mouvements effectués par un point en contact avec sa surface en déplacements du curseur souris. Introduit dans les années 80 avec les claviers des ordinateurs de bureau, les pavés tactiles ont gagné en popularité lorsqu'ils ont été utilisés comme dispositifs de pointage pour ordinateurs portables. En effet, contrairement à la souris, un pavé tactile ne nécessite pas d'avoir une surface plane et dégagée à proximité, ce qui permet d'utiliser l'ordinateur en toutes circonstances (transports, maison, etc.). La taille de ces pavés tactiles a régulièrement augmenté et les nouveaux modèles détectent plusieurs points de contact simultanés ou la pression exercée par chacun d'eux [4]. Par exemple, un utilisateur peut faire défiler un document en déplaçant simultanément deux doigts ou changer de bureau virtuel par un balayage de quatre doigts. Ces nouveaux modèles ont redonné ses lettres de noblesse au pavé tactile en tant que dispositif d'entrée pour ordinateurs de bureau [3, 13].

Bien que le pavé tactile soit un dispositif à la fois répandu et proposant maintenant un vocabulaire d'entrée riche, nous ne savons toujours pas comment les utilisateurs interagissent avec, ni quels gestes multi-points ils

préfèrent utiliser. En effet, les pavés tactiles sont encore trop souvent considérés dans la littérature comme une alternative aux dispositifs de pointage et comparés soit en terme de performance [1, 10], ou en terme de préférences utilisateurs [11]. Entre-temps, aucune étude de terrain n'a été effectuée pour analyser l'utilisation des pavés tactiles. Plusieurs études ont été menées pour examiner les mouvements du pointeur de souris en situation réelle, réalisés à l'aide d'une souris ou d'un pavé tactile [2, 8, 12, 14], mais sans analyse particulière des données brutes des périphériques de pointage. Enfin, l'utilisation d'accords statiques [5] et la performance et l'ergonomie des gestes sur grandes surfaces tactiles [9] ont été étudiés, mais aucune information n'existe à ce jour sur l'utilisation des doigts et des mains sur pavés tactiles.

Afin de mieux comprendre comment les utilisateurs interagissent sur pavés tactiles multi-points, nous avons mené une étude de terrain en trois parties sur du *matériel spécifique*. Nous nous sommes concentrés sur les pavés tactiles de marque Apple qui offrent l'avantage d'avoir un ensemble conséquent de gestes intégrés au système ; de donner accès à une API fournissant caractéristiques physiques, données brutes et préférences système de l'utilisateur ; et d'offrir un écosystème propice aux études de terrain. Ainsi, nous souhaitons atteindre la plus large population possible qui utilise 1) le même système d'exploitation, 2) le même catalogue de raccourcis gestuels et de préférences systèmes et 3) les mêmes dimensions physiques de pavé tactile.

La première partie de notre étude consistait à déployer une application collectant les préférences système afin de rassembler celles liées au pavé tactile (comme la fonction de transfert et les associations commande/geste) de 80 utilisateurs.

Nous avons ensuite collecté les données bas-niveaux des interactions, typiquement les points de contact sur le pavé tactile et les gestes multi-points effectués. Dans cette optique, nous avons développé une application de *collecte de données* dédiée que nous avons déployée durant 14 jours sur les machines de 11 participants pour recueillir plus de 82 millions de points de contact et 219 000 gestes.

Enfin, nous avons étudié les accords (c.-à-d., les combinaisons de doigts utilisées) lors de l'interaction sur pavé tactile. Dans ce but, nous avons conçu un support pour miroir qui se place facilement devant la caméra intégrée du portable et qui dévie son champ de vision (figure 1-droite). Le support et son miroir sont combinés à une application tournant en tâche de fond qui prend une photo quand un geste multi-points est effectué sur le pavé tactile. Nous avons déployé ce système pendant 14 jours sur les ordinateurs de 9 participants.

Nos principaux résultats sont que les utilisateurs ont tendance à conserver les préférences système par défaut ; que les contacts physiques sur le pavé tactile se concentrent dans une zone limitée de la surface et sont relativement lents ; et que la fréquence d'un geste et le nombre de doigts mis en œuvre influent sur la constance de l'accord utilisé pour l'effectuer.

Nos contributions principales sont : 1) une meilleure compréhension de l'utilisation des pavés tactiles ; 2) un ensemble de données<sup>1</sup> permettant, par exemple, de tester si une nouvelle technique d'interaction est compatible avec celles déjà existantes ; 3) des recommandations pour créer ou revisiter les techniques d'interaction sur pavé tactile.

## ÉTUDE 1 : PRÉFÉRENCES SYSTÈME

Dans cette troisième étude, nous nous intéressons aux préférences système liées au pavé tactile.

### Collecteur de préférences

*Collecteur de préférences* est une application de bureau qui récupère les différentes préférences système liées au pavé tactile qui se trouvent dans les menus `Souris&Trackpad>TrackPad` et `Accessibilité>Trackpad` des Préférences Systèmes. L'utilisateur peut ensuite envoyer ces informations vers notre serveur en cliquant sur un bouton.

L'application a été implémentée pour les systèmes Mac OS X Mavericks (et plus récents) en Objective-C avec la bibliothèque Cocoa. Les préférences système sont extraites depuis les fichiers `com.apple.AppleMultitouchTrackpad.plist` et `com.apple.dock.plist` se trouvant dans le répertoire `/Library/Preferences/`. Étonnamment, ces fichiers ne contiennent pas les fonctions de transfert de pointage ou de défilement, ni le sens de défilement. Ces données sont obtenues grâce aux propriétés partagées par défaut de la classe `NSUserDefaults`.

### Résultats

80 participants utilisant le pavé tactile comme dispositif de pointage principal ont été recrutés via les réseaux sociaux. 56 d'entre eux (70%) n'ont pas changé la fonction de transfert par défaut du pavé tactile [7]. 7 l'ont changé pour l'une des deux valeurs d'accélération maximales et 17 pour des valeurs entre celle par défaut et les deux maximales. Aucun utilisateur n'a changé la fonction de transfert pour une valeur d'accélération moins importante. 56 participants (70%) ont activé la fonctionnalité *Toucher pour cliquer*.

Seuls 4 participants (5%) n'utilisent pas la fonction de transfert de défilement par défaut : 2 l'ont changé pour des valeurs d'accélération moins importantes, 1 pour une valeur légèrement plus importante et 1 pour la plus importante [15]. Aucun participant n'a désactivé le défilement à deux doigts, ni l'inertie, mais 15 participants (19%) ont changé la direction de défilement *naturelle* par défaut pour qu'un geste de deux doigts vers le bas fasse défiler vers le bas plutôt que vers le haut.

Aucun participant n'a désactivé le geste *PE* ni le geste *Rotate*. Seuls 2 participants ont désactivé  $2\leftarrow$ . 1 participant a désactivé  $4E$ , 7 ont désactivé  $4P$  et 2 ont désactivé

<sup>1</sup>Les données collectées ont été centralisées et anonymisées dans une base de données, accessible à <http://ns.inria.fr/mjolnir/tplog>.

les deux. 6 participants ont désactivé *3Tap* et seul 1 a désactivé *2Taps*.

*3Drag* est un geste, non activé par défaut, assez populaire, que 32 participants (40%) ont activé. À noter que l'activation de *3Drag* change les valeurs par défaut de *3Swipe* $\leftrightarrow$  et *3Swipe* $\uparrow$  pour *4Swipe* $\leftrightarrow$  et *4Swipe* $\uparrow$ , ce qui a vraisemblablement influencé l'activation de *4Swipe* $\uparrow$  et *4Swipe* $\leftrightarrow$  par 45 des participants (56%). En outre, 3 participants ont aussi changé les fonctionnalités associées à *3Swipe* $\leftrightarrow$  pour le changement de page plutôt que le changement de bureau, et 5 participants ont désactivé le *3Swipe* $\uparrow$  qui par défaut déclenche *Mission Control*. Pour finir, 32 participants (40%) ont activé la fonctionnalité *App exposé* (désactivée par défaut) et l'ont associée au *3Swipe* $\downarrow$  (9 participants) ou au *4Swipe* $\downarrow$  (23 participants).

## ÉTUDE 2 : INTERACTIONS BAS-NIVEAUX

La première étude vise à mieux comprendre les interactions bas-niveau sur pavé tactile multi-points de marque Apple, et en particulier les gestes effectués par les utilisateurs (table 1).

### Moniteur d'activité

Nous avons développé un moniteur d'activité qui écoute et collecte en permanence les déplacements des points de contact (chaque point de contact est caractérisé par sa position x-y absolue normalisée) et les gestes effectués sur le pavé tactile (table 1). Afin d'isoler a posteriori les points de contact correspondants au déplacement du curseur (par exemple, pointage, glisser-déposer) de ceux associés à des gestes multi-points, le moniteur d'activité collecte également les coordonnées et les états du pointeur de souris (c.-à-d. cliquer/glisser, états boutons gauche et droit) au cours du temps.

Le moniteur d'activité a été réalisé en Objective-C avec la bibliothèque Cocoa. Les points de contact sont obtenus grâce à l'API privée multi-points d'Apple. Aucune API publique ne permettant l'écoute des gestes multi-points au niveau système, un travail de rétro-ingénierie a été effectué pour intercepter ces événements de l'API Quartz. Les données collectées sont stockées dans une base de données SQLite.

### Protocole et Déploiement

11 volontaires (32,5 d'âge moyen, 1 femme, tous droitiers) ont installé le moniteur d'activité sur leurs ordinateurs pendant deux semaines. Tous les ordinateurs étaient des Macbooks sortis après début 2011 fonctionnant avec Yosemite. Tous étaient équipés de trackpad multi-points ayant la même taille physique. Après les deux semaines, les participants étaient invités à compresser la base de données SQLite créée et à nous l'envoyer via internet.

### Résultats

Au total, nous avons collecté les informations relatives à plus de 82 000 000 points de contact et 219 000 gestes. Tous nos participants avaient les gestes de *Scroll*, *P/E*, *Rot.*, *2* $\leftarrow$ , *3Tap*, et *4P/E* activés (voir table 1). Tous, sauf un, avaient *2Taps* activé. Quatre participants avaient *3Drag* activé. Six participants avaient à la fois *4* $\leftrightarrow$ *Swipe*

Geste	Id	#doigts	Direction	Commande
Scroll	<i>Scroll</i>	2	$\updownarrow$	Scroll
Pincer/Ecarter 2-doigts	<i>P/E</i>	2	$\nearrow \swarrow$	Zoom
Rotation 2-doigts	<i>Rotation</i>	2	$\circlearrowleft \circlearrowright$	Rotation
Double-taps 2-doigts	<i>2Taps</i>	2		Zoom intelligent
Scroll vers la gauche	<i>2</i> $\leftarrow$	2	$\leftarrow$	Notification
Tap 3-doigts	<i>3Tap</i>	3		Lookup
Drag 3-doigts	<i>3Drag</i>	3	$\updownarrow$	Drag
Swipe Horiz. 3-doigts	<i>3Swipe</i> $\leftrightarrow$	3	$\leftrightarrow$	Changer bureau/page
Swipe Vert. 3-doigts	<i>3Swipe</i> $\updownarrow$	3	$\updownarrow$	$\up$ Mission Control $\downarrow$ Expose
Swipe Horiz. 4-doigts	<i>4Swipe</i> $\leftrightarrow$	4	$\leftrightarrow$	Changer bureau
Swipe Vert. 4-doigts	<i>4Swipe</i> $\updownarrow$	4	$\updownarrow$	$\up$ Mission Control $\downarrow$ Expose
Pincer/Ecarter 4-doigts	<i>4P/E</i>	4	$\nearrow \swarrow$	Launchpad/Bureau

Tableau 1: Gestes multi-points du pavé tactile Apple : geste, identifiant, nombre de doigts utilisés, directions possible et commandes associées.

et *4* $\updownarrow$ *Swipe* activés, quatre avaient à la fois *3* $\leftrightarrow$ *Swipe* et *3* $\updownarrow$ *Swipe* activés et un n'avait activé que *3* $\leftrightarrow$ *Swipe*.

*Distribution des points de contact.* La figure 1-gauche montre la densité de tous les points de contact de nos participants. Les contacts sont pour la plupart localisés dans une zone centrale couvrant approximativement 75% de la largeur et 80% de la hauteur du pavé tactile et dans une autre zone située sous la principale, qui correspond à des actions d'appui du bouton physique du pavé tactile. Les arêtes latérales, et dans une moindre mesure celle du haut, concentrent en comparaison beaucoup moins de contacts. À noter qu'une concentration relativement importante peut être observée dans le coin bas gauche du pavé tactile. Nous supposons que ces points de contacts résultent de contacts accidentels lorsque la main est au repos.

*Fréquences cumulées des vitesses.* La figure 1-milieu montre les fréquences cumulées des vitesses instantanées des mouvements effectués sur le pavé tactile lors d'actions de pointage. 95% des mouvements étaient plus lents que 192 mm/s et 50% plus lents que 7,7 mm/s.

*Utilisation des gestes multi-points.* Le *Scroll* est de très loin le geste le plus effectué, représentant en moyenne 98.1% des gestes de tous les participants. Ce résultat s'explique facilement par le fait que le défilement est une action récurrente qui nécessite la plupart du temps de débrayer, ce qui engendre plusieurs événements *Scroll*. En dehors de *Scroll* (voir table 2), les gestes les plus effectués étaient *P/E* (27%), *3Swipe* $\leftrightarrow$  (16.9%), *3Drag* (15.3%) et *Rotate* (14.1%), et les gestes les moins effectués étaient *3Swipe* $\uparrow$  (0.3%), *2Taps* (0.3%) et *3Tap* (jamais utilisé). À noter que tous les gestes n'étaient pas disponibles pour tous les participants, ce qui se traduit par un grand taux d'utilisation pour *3Drag* (lorsque disponible), et un faible taux d'utilisation de *3Tap* (disponible pour tous).

## ÉTUDE 3 : ACCORDS

Cette seconde étude vise à observer quelle main et quels doigts sont utilisés pour interagir avec le pavé tactile.

	Rotate	P/E	2Taps	2←	3Drag	3Tap	3Swi↔	4Swi↔	3Swi↑	3Swi↓	4Swi↑	4Swi↓	4E	4P
Exécutions (%)	14,1	27	0,3	1,3	15,3	0	16,9	10	0,3	0,8	3,5	1	8,3	1,2
Actif (%)	100	100	90	100	36	100	45	55	36	36	45	45	100	100

**Tableau 2: Première ligne : proportion d'exécution des gestes (en %) défilement à part ; Seconde ligne : proportion des utilisateurs ayant ce geste activé sur leur système.**

Nous souhaitons aussi savoir si les accords sont constants pour un même utilisateur et identiques entre utilisateurs.

### Chord Observer

*Chord Observer* est une extension du moniteur d'activité qui utilise la caméra intégrée de l'ordinateur portable pour prendre des photos lorsqu'un geste est effectué sur le pavé tactile. La prise de photos est rendue possible grâce à l'utilisation d'un miroir qui se fixe devant la caméra pour dévier son champ vers le pavé tactile, et ainsi cadrer la main de l'utilisateur (figure 1-droite). L'accès au flux de la caméra se fait à l'aide de la bibliothèque AV Foundation d'Apple. Les images capturées sont stockées au format Jpeg2000 pour minimiser l'utilisation de la mémoire disque. Dans la même optique, une seule photo est stockée lorsque deux gestes de même type sont effectués sur une période de moins de 3 secondes (par exemple pour le défilement dans un document). Un algorithme de détection de visages est utilisé pour mettre en pause le flux de la caméra lorsqu'un visage a été détecté (signifiant par conséquent que le miroir n'est pas en place). Le miroir est collé à un support en plastique imprimé en 3D et équipé d'aimants. Le miroir tire parti des aimants intégrés au cadre de l'écran de l'ordinateur portable (initialement utilisés pour la mise en veille de l'appareil) pour pouvoir se placer à une position pré-définie sans nécessité de précision particulière de la part de l'utilisateur. Il peut ainsi s'installer et se désinstaller en quelques secondes. Notre dispositif est similaire au miroir commercial, vendu 89€, utilisé par Zheng et al. pour proposer de nouveaux raccourcis clavier [16].

### Protocole et Déploiement

9 participants (30,8 d'âge moyen, 1 gaucher<sup>2</sup>, 8 participants avaient pris part à la première étude) ont installé notre application sur leur ordinateur portable pour une période de deux semaines. Après les deux semaines, les participants étaient invités à supprimer les images non pertinentes et à nous envoyer l'ensemble des données.

### Résultats

29 531 photos ont été capturées par notre dispositif. 2 867 photos inexploitables (parce que le miroir n'était pas positionné, la photo trop sombre, etc.) ont été supprimées par les utilisateurs ou les expérimentateurs. Nous avons au final collecté un total de 26 664 photos que nous avons annotées manuellement à l'aide d'une application dédiée pour associer chaque geste à l'accord correspondant. Nous avons ensuite calculé les taux d'occurrence de chaque accord par geste et par utilisateur. 97,3% des accords utilisés impliquaient uniquement la main droite. Cinq participants avaient activé le *3Drag*. Six participants

<sup>2</sup>100% des gestes effectués par l'utilisateur gaucher impliquaient uniquement les doigts de sa main droite. Pour les autres participants, ce taux était au minimum de 94,2%.

avaient à la fois activé *4↔Swipe* et *4↓Swipe* et trois participants avaient activé *3↔Swipe* et *3↓Swipe*. Tous les autres gestes étaient activés pour tous les participants.

Dans la suite, la notation  $X_gY$  est utilisée pour décrire l'accord impliquant le doigt  $X$  de la main gauche et le doigt  $Y$  de la main droite (avec  $P$  pour le pouce,  $I$  pour l'index,  $M$  pour le majeur,  $A$  pour l'annulaire et  $L$  pour l'auriculaire).

*Pointage* : L'index et le majeur étaient les deux doigts les plus utilisés pour le pointage (respectivement 48% et 39% du temps). Quatre participants étaient constants et ont utilisé le même doigt (l'index ou le majeur) au moins 79% du temps. Les cinq autres participants étaient moins constants mais ont tout de même utilisé ces deux doigts au moins 71% du temps.

*Défilement* : Majeur-Annulaire ( $MA$ ) et Index-Majeur ( $IM$ ) étaient les deux accords les plus utilisés pour le défilement (respectivement 56% et 40% du temps). Sept utilisateurs ont utilisé le même accord ( $MA$  ou  $IM$ ) au moins 92% du temps. Les deux autres utilisateurs étaient moins constants mais ont tout de même utilisé ces deux accords au moins 94% du temps

*P/E* :  $PI$  et  $IM$  ont été utilisés respectivement 36% et 20% du temps. Nous n'avons observé aucun comportement concordant entre les différents utilisateurs. Cependant, trois utilisateurs ont été extrêmement constants en utilisant l'un de ces deux accords entre 80% et 98% du temps. Les autres utilisateurs avaient une plus grande variabilité utilisant entre 3 et 5 accords différents. Le manque de concordance pourrait s'expliquer par le faible nombre de données collectées pour ces gestes (107/26 664). L'utilisation de  $IM$  semble s'expliquer par le fait que les participants utilisant cet accord pour le zoom opèrent également le pavé tactile de cette manière pour le pointage (c.-à-d., utilisation de l'index pour cliquer et du majeur pour déplacer le curseur) et pour le défilement.

*Rotation* :  $PI$  et  $IM$  ont été utilisés respectivement 33% et 24% du temps. Tout comme pour  $P/E$ , nous n'avons observé aucun comportement systématique entre les différents utilisateurs. Cependant, cinq de nos neuf participants ont montré une grande constance en utilisant le même accord plus de 75% (voire 100%) du temps bien que l'accord ne faisait pas nécessairement partie du lot  $PI$  et  $IM$ . Une fois de plus, le manque de constance pourrait s'expliquer par le faible nombre de données collectées (40/26 664). Il est toutefois intéressant de noter que le participant qui a utilisé 5 accords différents pour  $P/E$  a utilisé les 5 mêmes pour *Rotate*.

*3Drag* :  $IMA$  et  $PIM$  étaient les deux accords les plus utilisés (respectivement 68% et 28% du temps) avec cinq participants sur six utilisant l'un de ces deux accords au



moins 94% du temps (quatre favorisant l'utilisation de *IMA*) et le dernier participant utilisant *PIM* 73% et *IMA* 18% du temps.

*3Swipe* $\leftrightarrow\uparrow$  : *IMA* était l'accord le plus utilisé (81% du temps). Deux participants sur trois l'ont utilisé très souvent (respectivement 100% et 93,2% du temps) alors que le dernier participant l'a utilisé 50% du temps.

*4Swipe* $\leftrightarrow\uparrow$  : *IMAL* était de loin l'accord le plus utilisé (98% du temps). À noter que seul un autre accord a été utilisé *I<sub>g</sub>M<sub>g</sub>A<sub>g</sub>L<sub>g</sub>* (2%).

*4E/P* : Seuls trois accords ont été utilisés : *IMAL* (54,7%), *PIMAL* (41,5%) et *PIMA* (3,8%).

## DISCUSSION ET CONCLUSION

### Résumé des observations

Notre étude sur les préférences système montre que les utilisateurs changent très peu les préférences système par défaut, les fonctionnalités inactives par défaut les plus populaires étant le *Toucher pour cliquer* et le *drag à 3 doigts*. Notre seconde étude se concentre sur les interactions bas niveaux et informe notamment sur la position et la vitesse des mouvements physiques effectués sur le pavé tactile. Pour finir, notre troisième étude montre que l'index et le majeur sont les doigts les plus utilisés, surtout pour le pointage et le défilement, et que les gestes fortement utilisés tels que le défilement sont effectués de façon constante avec les mêmes doigts. Pour les gestes rarement utilisés (comme *P/E* ou *Rotate*), les utilisateurs semblent varier les accords.

### Implications

*Conception de fonctions de transfert.* Les mouvements des doigts effectués sur le pavé tactile sont relativement lents, ce qui souligne qu'une attention toute particulière doit être apportée à la conception des fonctions de transfert pour ces vitesses. De plus, la plupart des participants de notre troisième étude utilisent la fonction de transfert par défaut, pour le pointage et le défilement, ce qui suggère que soit ces fonctions sont bien conçues et efficaces, soit que les utilisateurs s'adaptent à celles-ci. Dans le dernier cas, le choix de la valeur par défaut est donc primordial.

*Concevoir de nouvelles techniques d'interaction.* Comme 95% des mouvements sur le pavé tactile sont effectués avec une vitesse inférieure à 200mm/s, un seuil sur la vitesse pourrait par exemple être utilisé pour différencier les mouvements de pointage de nouveaux raccourcis gestuels (p. ex., [6]). Notre collection de contacts fournit également une bonne base de données pour tester si de nouveaux gestes provoqueraient de faux positifs durant une interaction classique sur pavé tactile.

*Zones actives sur pavé tactile.* Notre étude souligne que la plupart des événements tactiles sont détectés dans une zone centrale du pavé tactile, et montrent de faibles fréquences de contact sur les parties gauche et droite de celui-ci (particulièrement les coins haut gauche et bas droit). Ces zones seraient donc théoriquement les plus appropriées au positionnement de zones actives dédiées.

*Usage potentiel de l'identification des doigts.* La caractérisation des différents doigts utilisés pour chaque geste permet de guider les concepteurs de techniques d'interaction sur pavés tactiles utilisant l'identification des doigts (i.e, connaître les doigts à l'origine des contacts). Comme nous avons pu l'observer, les utilisateurs n'utilisent pas les mêmes doigts pour un même geste, nos résultats montrent comment introduire des gestes basés sur l'identification des doigts compatibles avec les gestes basés sur le nombre de doigts.

### Limitations et travaux futurs

Une limitation possible de ce travail est le faible nombre de participants des deux premières études. Recruter des personnes ayant un ordinateur avec les caractéristiques techniques requises et acceptant d'installer une application enregistrant des événements d'interaction bas niveau n'est pas simple. Nous avons donc décidé de compenser notre faible nombre de participant en collectant un nombre conséquent de données. Nous avons aussi décidé de ne pas rapporter les résultats sujets à interprétation et contenant de possibles fausses détections (p. ex., tap à 2 doigts en guise de clic droit qui actionne les mêmes mécanismes qu'un clique droit ordinaire). Pour la même raison, nous avons concentré notre étude sur les gestes sur pavé tactile plutôt que de comparer les différentes modalités activant une même commande. Typiquement, le défilement peut s'effectuer avec un geste de *Scroll*, le clavier ou l'ascenseur, mais détecter les deux derniers au niveau système requiert aussi de l'interprétation.

Enfin, notre étude ne s'intéresse qu'aux pavés tactiles de la marque Apple car ils offrent une grande variété de gestes qui sont intégrés dans un écosystème favorisant leur utilisation et rendant l'étude intéressante. Bien que certains résultats nous semblent être généralisables (typiquement les accords utilisés pour le défilement ou le zoom, dont les associations commande-geste sont disponibles sur plusieurs systèmes), des travaux complémentaires sont nécessaires pour reproduire cette étude dans d'autres écosystèmes (Windows 10 par exemple).

### REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans cet article a été partiellement financé par CPER Nord-Pas de Calais/FEDER DATA Advanced data science and technologies 2015-2020 et par l'ANR (TurboTouch, ANR-14-CE24-0009).

### BIBLIOGRAPHIE

1. Johnny Accot and Shumin Zhai. 1999. Performance Evaluation of Input Devices in Trajectory-based Tasks: An Application of the Steering Law. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99)*. ACM, New York, NY, USA, 466–472. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/302979.303133>
2. Aitor Apaolaza, Simon Harper, and Caroline Jay. 2013. Understanding Users in the Wild. In *Proceedings of the 10th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A '13)*. ACM, New York, NY, USA, Article 13, 4 pages. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2461121.2461133>

3. Apple. 2010. Apple Magic Trackpad. (Jul. 2010). Retrieved August 29, 2016 from <http://www.apple.com/magicttrackpad/>.
4. Apple. 2015. Apple Force Touch trackpad. (Oct. 2015). Retrieved August 29, 2016 from <https://support.apple.com/en-us/HT204352>.
5. Gilles Bailly, Jörg Müller, and Eric Lecolinet. 2012. Design and Evaluation of Finger-count Interaction: Combining Multitouch Gestures and Menus. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 70, 10 (Oct. 2012), 673–689. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2012.05.006>
6. Mathieu Berthelley, Elodie Cayez, Marwan Ajem, Gilles Bailly, Sylvain Malacria, and Eric Lecolinet. 2015. SpotPad, LociPad, ChordPad and InOutPad: Investigating Gesture-based Input on Touchpad. In *Proceedings of the 27th Conference on L'Interaction Homme-Machine (IHM '15)*. ACM, New York, NY, USA, Article 4, 8 pages. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2820619.2820623>
7. Géry Casiez and Nicolas Roussel. 2011. No More Bricolage!: Methods and Tools to Characterize, Replicate and Compare Pointing Transfer Functions. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '11)*. ACM, New York, NY, USA, 603–614. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2047196.2047276>
8. Olivier Chapuis, Renaud Blanch, and Michel Beaudouin-Lafon. 2007. Fitts' Law in the Wild: A Field Study of Aimed Movements. (Dec. 2007). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00612026> LRI Technical Repport Number 1480, Univ. Paris-Sud, 11 pages.
9. Alix Goguy, Mathieu Nancel, Géry Casiez, and Daniel Vogel. 2016. The Performance and Preference of Different Fingers and Chords for Pointing, Dragging, and Object Transformation. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. ACM, New York, NY, USA, 4250–4261. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858194>
10. Morten Hertzum and Kasper Hornbæk. 2010. How Age Affects Pointing With Mouse and Touchpad: A Comparison of Young, Adult, and Elderly Users. *International Journal of Human-Computer Interaction* 26, 7 (2010), 703–734. DOI : <http://dx.doi.org/10.1080/10447318.2010.487198>
11. Stephan Kotin. 2014. A Comparison of User Preference for Mouse and Touchpad with Windows 8 Interaction. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 58. SAGE Publications, 1114–1118. DOI : <http://dx.doi.org/10.1177/1541931214581233>
12. Urmila Kukreja, William Stevenson, and Frank Ritter. 2006. RUI: Recording user input from interfaces under Windows and Mac OS X. *Behavior Research Methods* 38, 4 (2006), 656–659. DOI : <http://dx.doi.org/10.3758/BF03193898>
13. Logitech. 2013. Logitech-T650 trackpad. (Jan. 2013). Retrieved August 29, 2016 from <http://support.logitech.com/product/touchpad-t650>.
14. Jonathan H. Morgan, Chen-Yang Cheng, Christopher Pike, and Frank E. Ritter. 2013. A Design, Tests and Considerations for Improving Keystroke and Mouse Loggers. *Interacting with Computers* 25, 3 (2013), 242–258. DOI : <http://dx.doi.org/10.1093/iwc/iws014>
15. Philip Quinn, Andy Cockburn, Géry Casiez, Nicolas Roussel, and Carl Gutwin. 2012. Exposing and Understanding Scrolling Transfer Functions. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '12)*. ACM, New York, NY, USA, 341–350. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2380116.2380161>
16. Jingjie Zheng and Daniel Vogel. 2016. Finger-Aware Shortcuts. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. ACM, New York, NY, USA, 4274–4285. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858355>