

Conception d'un Dispositif pour Interagir avec des Données Multidimensionnelles : Disco

Gary Perelman, Marcos Serrano, Mathieu Raynal, Célia Picard, Mustapha Derras, Emmanuel Dubois

▶ **To cite this version:**

Gary Perelman, Marcos Serrano, Mathieu Raynal, Célia Picard, Mustapha Derras, et al.. Conception d'un Dispositif pour Interagir avec des Données Multidimensionnelles : Disco. IHM'14, 26e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Oct 2014, Lille, France. pp.91-100. hal-01090411

HAL Id: hal-01090411
https://hal.science/hal-01090411

Submitted on 3 Dec 2014

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.

Conception d'un Dispositif pour Interagir avec des Données Multidimensionnelles : Disco

Gary Perelman, Marcos Serrano, Mathieu Raynal, Emmanuel Dubois
Université de Toulouse - IRIT - Elipse
31062, Toulouse, France
<prénom.nom>@irit.fr

Célia Picard, Mustapha Derras
Berger-levrault
31676, Labège, France
<prénom.nom>@berger-levrault.fr



Figure 1. Disco est un dispositif à multiples degrés de liberté avec une base semi-sphérique inspirée du culbuto. Nous avons conçu différents facteurs de forme pour la moitié supérieure, de gauche à droite : Spherical, Rounded et Concave. Trois prises en main sont identifiées et étudiées dans l'article, de gauche à droite : Squeeze, Touch et Lay.

RESUME
En s'inspirant de travaux fondateurs proposant des souris à multiples degrés de liberté, cet article présente la conception d'un nouveau dispositif d'interaction basé sur le principe du culbuto : Disco. Nous présentons divers scénarii d'usage et explorons la manipulation de ce dispositif au travers de deux études. D'abord nous observons la prise en main de trois versions de Disco avec différents facteurs de forme. Ensuite nous étudions les capacités et limites liées à la translation, rotation (yaw) ou inclinaison (pitch, roll) physique de deux versions de Disco selon trois prises en main différentes. A partir des résultats nous proposons des guides de conception afin de créer des techniques d'interaction qui exploitent au mieux les différents degrés de liberté du dispositif pour interagir avec des données multidimensionnelles.

Mots Clés
Dispositif en entrée ; dispositif à multiples degrés de liberté ; multidimensionnel.

ACM Classification Keywords
H.5.2. Information interfaces and presentation: Interaction.

INTRODUCTION

Des travaux ont proposé des extensions de la souris soit pour intégrer des nouvelles modalités d'interaction [6,29] soit pour étendre ses degrés de liberté [5,14]. Les premiers, comme l'intégration du multitouch [6] ou du touchscreen [29], ne modifient pas la manipulation physique de la souris, toujours limitée à des déplacements en 2D. Les seconds proposent d'étendre les degrés de manipulation de la souris en permettant les inclinaisons et les rotations, avec comme dispositifs fondateurs Rockin'Mouse [5] et VideoMouse [14]. Ces deux dispositifs ont montré leur intérêt pour interagir avec des environnements 3D ou des grands espaces d'information. Néanmoins ces dispositifs sont basés sur un facteur de forme proche de la souris qui ne favorise pas la rotation en raison du placement des boutons. De plus aucune étude n'a été menée sur les limites et les degrés de liberté de leur manipulation.

Inspirés par ces travaux fondateurs et leurs limitations, nous explorons dans cet article un dispositif original, appelé Disco, qui préserve les qualités de pointage de la souris dans les interfaces WIMP et intègre un plus grand nombre de degré de liberté que la souris. Disco est un dispositif en entrée basé sur le principe du culbuto (Figure 1) : la base du dispositif est hémisphérique et sa forme vue du dessus ronde. Il offre donc trois formes de manipulation : translation, rotation (yaw) et inclinaison (pitch et roll) (Figure 1). Nous explorons l'espace de conception de Disco puis étudions ses limites et capacités du point de vue des amplitudes possibles pour chaque manipulation et de la séparabilité des différentes manipulations.

Pour cela, nous explorons les principaux attributs de conception de ce dispositif. En prenant en compte des variations du facteur de forme de Disco basés sur le degré d'arrondi de la moitié supérieure du dispositif (concave, courbé ou hémisphérique - Figure 1), nous examinons dans une première étude les prises en main possibles pour ces différentes formes (Figure 1). Nous sélectionnons trois prises en main et deux formes

© ACM, 2014. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution. The definitive version was published in Actes de la 26ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, 2014.
http://dx.doi.org/10.1145/2670444.2670453

préférées par les utilisateurs. Dans une deuxième étude nous demandons aux participants de réaliser des translations, des inclinaisons et des rotations avec les prises en main et les formes sélectionnées. Les résultats nous permettent d'identifier les limites et les domaines de valeur des manipulations de Disco.

Nous réinvestissons ces résultats pour définir l'utilisation de Disco dans différents cas d'usage illustrant des applications à données multidimensionnelles [15,22] : navigation dans des menus, navigation sur une carte, paramétrage d'un outil de dessin et contrôle d'un jeu de simulation. Ces illustrations permettent de définir des mises en œuvre des Disco dans des contextes informatiques précis impliquant des dispositifs existants (souris, raccourcis claviers, SpaceMouse, etc.). Ils définissent autant de situations d'interaction devant faire l'objet d'évaluations expérimentales ultérieures.

Nos contributions sont : 1) l'exploration de l'espace de conception d'un nouveau dispositif sphérique, Disco, 2) l'étude des prises en main induites par trois variations du nouveau dispositif, 3) l'étude des limites et des valeurs des degrés de manipulation du dispositif et 4) l'application des résultats à la conception de techniques d'interactions pour plusieurs scénarii illustratifs.

ETAT DE L'ART

Nous situons d'abord Disco par rapport aux dispositifs en entrée multidimensionnels puis étudions les autres dispositifs de type souris à plusieurs degrés de liberté. Nous parcourons ensuite les travaux traitant des aspects physiologiques de la prise en main de dispositifs tangibles.

Dispositifs en entrée multidimensionnels

Différentes taxonomies permettent de classer les dispositifs en entrée : Foley [12] caractérise les dispositifs par les tâches qu'ils permettent de réaliser ; Buxton [9] propose de classer les dispositifs selon leurs propriétés physiques et les degrés de liberté ; Card [10] a généralisé la taxonomie de Buxton pour mieux décrire des dispositifs complexes. A partir de ces taxonomies, on peut classer les dispositifs selon deux types [11] : les dispositifs isotoniques basés sur le déplacement du dispositif pour modifier la position du pointeur (souris par exemple) ; et les dispositifs isométriques où l'on applique une force sur le dispositif pour déplacer le pointeur (souris3D par exemple) plus souvent couplés à un contrôle de vitesse. Toutefois ces derniers ne sont pas adaptés pour un pointage efficace dans des interfaces WIMP ce qui induit une interaction partagée entre la souris et le dispositif. Notre dispositif est à la frontière entre ces deux types car nous pouvons nous en servir à la fois comme dispositif isotonique (du fait des translations), mais aussi comme dispositif isométrique (grâce aux rotations et aux inclinaisons). Ce couplage est important pour avoir un dispositif universel qui soit utilisable quel que soit le contexte d'interaction (interface WIMP, environnement virtuel 3D, etc.) car il nous permet de conserver les avantages des dispositifs isotoniques notamment pour le contrôle du pointeur dans un environnement 2D, mais aussi d'avoir tous les Degrés De Liberté (DDL) indispensables pour une interaction avec un EV3D.

Souris à plusieurs degrés de liberté

Augmenter les degrés de liberté de la souris, principalement à travers l'intégration de l'inclinaison ou de la rotation [5, 14], a été une solution initialement conçue pour faciliter l'interaction avec des environnements 3D. Rockin' Mouse [5] est un travail fondateur : il s'agit d'une souris avec des bords arrondis permettant d'incliner le dispositif en avant/arrière et sur les côtés, ajoutant ainsi deux degrés de liberté supplémentaires. Une version commerciale a été présentée en 2009, le Lexip 3DM. Ces deux dispositifs ne permettent pas la rotation (yaw) et leur usage n'a pas été étudié sur d'autres domaines que l'interaction dans des EV3D. VideoMouse [14] est un dispositif similaire à Rockin' Mouse, qui intègre en plus la rotation et a donc les 6 DDLs, En revanche, ses degrés d'inclinaison sont assez limités (+/-20°). Ces différents travaux étendaient la souris sans modifier sa forme (en dehors de l'arrondi des bords de la base) et aucune étude n'a porté sur le lien entre prise en main et liberté de mouvement du dispositif.

D'autres travaux se sont focalisé uniquement sur la rotation de la souris [2, 1]. Une solution pour détecter la rotation consiste à utiliser deux souris [2]. La rotation a été utilisée pour manipuler des objets 3D [2] et pour interagir avec des palettes d'outils contextuels [1]. Cependant, du fait que ces dispositifs ne proposent pas de gestion des inclinaisons, leurs DDLs sont limités à 4.

Facteurs humains sur la prise en main d'objets tangibles

Les travaux précédents n'ont pas étudié l'effet de la prise en main du dispositif sur ses degrés de liberté ou son usage. Par contre des travaux en psychologie [19] et physiologie [23] ont porté sur la préhension d'objets tangibles. Les travaux en psychologie montrent que le type de préhension (nombre et position des doigts) dépend autant de la forme de l'objet que de l'objectif de la tâche [19]. Par exemple nous ne prenons pas de la même façon une cuillère pour la tendre à quelqu'un que pour manger. Nous étudions donc dans notre travail différentes prises en main pour les trois actions principales de Disco : rotation, translation et inclinaison.

Afin de tirer parti des degrés de liberté de Disco, nous devons aussi prendre en compte les degrés de liberté physiologiques du poignet humain qui diffèrent selon les axes de rotation [23]. Notre deuxième étude vise précisément à identifier quelles sont les limites physiologiques de manipulation de Disco selon différentes prises en main.

Interaction sur et avec des dispositifs arrondis

De façon assez hétérogène, des travaux en IHM ont proposé diverses solutions d'interaction exploitant la

forme ronde [24, 27]. Parmi les dispositifs, nous pouvons citer PALLA [27], un dispositif sphérique conçu pour la manipulation 3D en l'air. Concernant l'interaction sur des surfaces rondes, Roudaut et al. [24] ont étudié l'interaction tactile sur des surfaces à différents degrés de courbure et sur différents points de la courbe. Les surfaces convexes (comme Disco) offrent une meilleure précision de pointage que les surfaces concaves. Ces résultats sont encourageants pour l'intégration future du toucher sur Disco.

Séparation des degrés de liberté

Habituellement, la manipulation d'objets virtuels sur différents degrés de liberté (translation, rotation) se fait de manière séparée et séquentielle [17]. C'est pourquoi, dans ce travail, nous étudions comment séparer les degrés de liberté de Disco pour pouvoir réaliser des actions indépendantes.

Néanmoins, ces actions sont indissociables dans le monde physique et il serait donc souhaitable de pouvoir les réaliser de façon combinée [28, 16]. Des travaux ont donc proposé des techniques d'interaction pour manipuler des objets virtuels qui combinent la rotation et la translation : Rotate'N Translate [17] est une technique conçue pour des tables tactiles basée sur l'usage d'un seul point de contact avec la surface interactive. Les études menées sur Rotate'N Translate montrent qu'elle est plus efficace que la manipulation traditionnelle en utilisant des actions séparées. Disco ayant 3 types de manipulations, il est envisageable de les combiner pour augmenter le nombre d'action ou optimiser leur accès.

ASPECTS DE CONCEPTION DE DISCO

Principe : le culbuto

Disco est un dispositif en entrée basé sur le principe du culbuto : sa base est hémisphérique (Figure 2-A) et sa forme vue de dessus est ronde (Figure 2-B). Cette demi-sphère est lestée de sorte que son centre de masse soit situé dans l'axe vertical du centre de la demi-sphère (Figure 2-C).

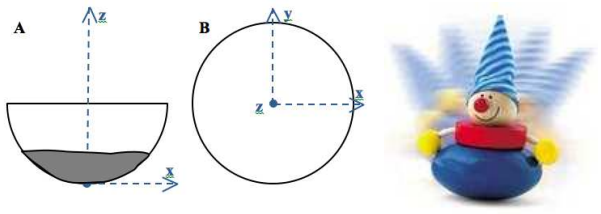


Figure 2. Base de Disco vue de face (a) et du dessus (b). Principe de recentrage du culbuto (c).

Les intérêts d'utiliser le principe du culbuto sont multiples. Tout d'abord sa forme permet d'offrir à l'utilisateur trois ensembles de manipulations de types différents : des translations, des inclinaisons (autour de l'axe X et Y, correspond au pitch et roll) et des rotations (autour de l'axe Z, correspond au yaw). Ainsi l'utilisateur dispose en un seul dispositif de nombreux modes d'interactions sans recourir à l'utilisation d'un dispositif supplémentaire ou à des combinaisons de touches par exemple. De plus sa forme symétrique ne contraint nullement son utilisation selon une orientation prédéfinie, contrairement aux souris classiques. Enfin sa forme arrondie et le lest lui confèrent une capacité d'auto-recentrage, à l'image des dispositifs élastiques ou isométriques [30]. Du point de vue structurel, Disco dispose donc des caractéristiques d'un dispositif isotonique pour les rotations et les translations, et de celles d'un dispositif isométrique pour les inclinaisons (auto-centrage). Il combine ainsi les avantages et capacités d'une souris (amplitude, stabilité), d'une souris 3D (rotations) et d'un joystick (inclinaisons).

Ces principes constitutifs de DISCO amènent un certain nombre de constats et questionnements sur des aspects de la conception de Disco que nous développons ci-après.

Séparabilité des degrés de liberté

Tout d'abord, lors des inclinaisons de Disco, son centre subit inévitablement une translation dans la direction de l'inclinaison. De plus, la stabilité du dispositif est telle qu'elle garantit son auto-recentrage ; toutefois lors de sa manipulation en translation, par exemple, rien dans sa forme ne vient contraindre des oscillations (en inclinaison ou rotation) autour de sa position de référence. Comment dès lors distinguer une translation d'une inclinaison, et les inclinaisons (ou translations) voulues des inclinaisons (ou rotations) parasites ? Nous explorerons ces considérations dans l'expérimentation 2 que nous présentons dans la suite de cet article.

Forme et prise en main

La moitié inférieure du dispositif est basée sur le culbuto. Nous explorons différentes options de conception pour la moitié supérieure du dispositif. Cette forme doit permettre de poser la main dessus confortablement et doit être symétrique autour de l'axe Z (Figure 1) afin de conserver les propriétés de symétrie. Nous étudions trois formes basées sur des variations de l'arrondi supérieur (Figure 1): la moitié supérieure peut être concave (Disco Concave), légèrement convexe (Disco Rounded) ou hémisphérique (Disco Spherical). Notre première étude explore les prises en main possibles pour ces différents types de forme. Dans les trois cas, Disco est lesté de pâte à modeler.

Liberté des degrés de manipulation

En termes de manipulations physiques, du fait de la forme hémisphérique continue de Disco, les inclinaisons, rotations et translations peuvent être librement produites et combinées, quelle que soit la position de Disco. De plus par rapport au point de contact de référence de Disco avec la surface de travail, des inclinaisons sont possibles selon toutes les directions, de 0 à 360°, et leur amplitude peut varier de 0 à 90°. Par construction, l'angle de rotation est illimité. Dans l'usage, l'angle de rotation est limité selon le type de prise en main de l'utilisateur. Notre deuxième étude explore les limites de rotation du dispositif.

L'étude 1 explore les différentes prises en main envisagées par les utilisateurs pour les différentes manipulations permises par Disco.

ETUDE 1: PRISE EN MAIN

Etant donné la forme hémisphérique de Disco et la variation du degré d'arrondi envisagé dans la conception de celui-ci, la prise en main peut varier d'un utilisateur à l'autre. Le but de cette première étude est d'identifier les différents modes de prise en main que les utilisateurs adoptent lors d'une première confrontation aux trois variantes de Disco et en l'absence d'instructions spécifiques relatives à la prise en main de ce dispositif.

Tâche

La tâche confiée aux utilisateurs consiste à réaliser, avec la main dominante, des translations, inclinaisons et rotations libres (sans contraintes) de Disco, toujours en contact avec la table. La manipulation de Disco n'a aucun effet sur une application interactive et aucun feedback informatique n'est donc fourni aux participants.

Matériel

Le but étant d'étudier les types de prise en main des trois dispositifs, aucun matériel informatique n'est utilisé. Les participants manipulent donc les trois variantes en plastique et lestées de Disco présentées précédemment (voir Figure 1).

Procédure

L'étude suit un plan 4x3 avec Tâche (Translation, Inclinaison, Rotation ou Tout) et Forme (Spherical, Rounded et Concave) comme facteurs. L'étude se compose de deux étapes réalisées avec les 3 variantes de Disco (l'ordre des variantes est contrebalancé). Dans l'étape 1, le participant doit réaliser chacune des trois tâches (translation, inclinaison, rotation) pendant un temps limité et trouver la position qui lui semble optimale pour chaque manipulation. Dans l'étape 2, le participant doit choisir une seule prise en main lui permettant d'effectuer l'ensemble des trois tâches de manière optimale. Nous demandons au participant de réaliser tous les gestes possibles afin de valider sa prise en main. Enfin il est demandé à chaque participant de classer par ordre de préférence les trois formes étudiées. La durée moyenne de l'expérimentation était de 30 minutes.

Participants

Nous avons recruté 12 participants (2 femmes) âgés de 24,8 ans en moyenne (SD=1,8). 2 d'entre eux avaient de l'expérience dans l'utilisation de dispositifs possédant 4 degrés de libertés ou plus et un seul était gaucher.

Données collectées

Une photo de la main est prise pour chaque condition de prise en main. Au total, nous avons collecté 4 Tâches x 3 Formes x 12 Participants = 144 photos. Nous avons collecté l'ordre de préférence de chaque participant pour les trois formes étudiées.

Résultats

Préférence sur la forme de Disco

Nous analysons d'abord la préférence sur la forme du dispositif. Sur les 12 participants, 7 ont préféré Disco Rounded, 4 Disco Spherical et 1 seul le Disco concave. De plus Disco Concave a été classé dernier à 9 reprises. Les principaux inconvénients qui ont été relevés par les participants sont le peu de confort de cette forme du fait du trou au centre, et du manque d'accroches. Devant le faible succès de cette forme, nous avons choisi de ne pas la conserver pour la suite de nos études.

Disco Rounded est le plus apprécié car la base supérieure bombée, qui rappelle celle de la souris traditionnelle, permet de le prendre en main plus facilement et donne une impression de stabilité. Disco Spherical a lui l'avantage de permettre une position de main plus confortable. En revanche, la taille proposée pour Disco est, pour cette forme, un inconvénient car le dispositif Spherical est trop volumineux et la hauteur du dispositif a dérangé plusieurs participants.

Prises en main observées

Six types de prise en main ont été proposées par les participants (Figure 3).

Avec Disco Spherical, la prise en main *2* a été utilisée dans huit cas sur douze pour les inclinaisons et les translations. Pour les translations, aucune autre prise en main n'a été utilisée plusieurs fois. Pour les inclinaisons, la prise en main *3* a été utilisée à trois reprises. Pour les rotations, Disco Spherical a été pris en main de trois manières différentes : *1* a été utilisé dans la moitié des cas alors que *6* et *5* ont été chacun utilisé par 3 participants. Lors de la deuxième étape de l'étude, où les participants devaient adopter une position de main unique pour les trois manipulations, les prises en main *1*, *2* et *3* ont été privilégiées avec respectivement quatre, quatre et trois participants qui les ont utilisées.

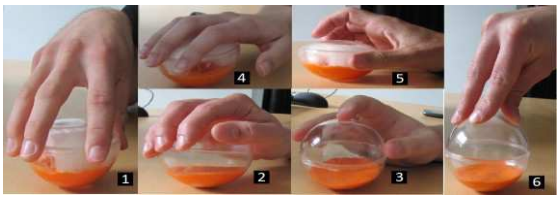


Figure 3. Les six types de prises en main utilisées par les participants sur différentes formes de Disco.

Concernant Disco Rounded, la prise en main *2* reste la plus utilisée pour les translations (huit fois sur douze). Pour les inclinaisons, *2* est utilisée moins souvent qu'elle ne l'était avec Disco Spherical (quatre fois pour Disco Rounded contre huit pour Disco Spherical), et les participants lui ont même préféré la prise en main *4* utilisée à cinq reprises. Enfin, pour les rotations, la prise en main *1* a été très fortement utilisée (dix cas sur douze). Malgré une forte utilisation des prises en main *2* et *1* lors de l'étape 2, ces préférences ne se sont pas retrouvées aussi marquées lors de l'étape 3 avec Disco

Rounded. En effet, même si *1* et *2* ont été les plus utilisés avec respectivement quatre et trois participants, l'écart est faible avec d'autres types de prise en main comme *3* et *4* utilisés chacun deux fois.

Synthèse

Il ressort donc de cette première étude que quelle que soit la forme de Disco, les prises en main *2* et *1* sont souvent privilégiées : nous les avons appelées « Lay » et « Squeeze » respectivement. « Lay » est caractérisée par le placement de la paume de la main sur Disco ; « Squeeze » correspond au placement des doigts sur le contour de Disco tout en ayant la paume relevée. Une troisième prise en main « Touch » a été conservée également. Elle est caractérisée par la présence de trois doigts sur le dessus de Disco tandis que deux autres sont positionnés de chaque coté de Disco, potentiellement au contact avec la table et/ou maintenant Disco (cf. Figure 1).. Cette prise en main correspond à des situations observées à de nombreuses reprises dans lesquels plusieurs doigts étaient posés sur Disco mais pas la main complète.

ETUDE 2: MANIPULABILITE DU DISPOSITIF

Le but de cette seconde étude est de cerner les capacités, limites et conditions d'utilisation de Disco. Concrètement l'objectif est d'identifier les amplitudes moyennes, minimales et maximales des différentes manipulations ainsi que les conditions dans lesquelles ces manipulations peuvent être utilisées distinctement, i.e. indépendamment les unes des autres. Ces résultats constitueront des enseignements clairs pour guider l'implémentation de techniques d'interaction utilisant Disco.

Tâches et instructions

Nous utilisons les trois prises en main choisies dans l'étude précédente (Figure 1). Le participant doit réaliser pour chaque prise en main des translations dans huit directions (nord, nord-est, est…), des inclinaisons dans les huit mêmes directions et les deux rotations (gauche, droite). Les directions sont inscrites sur la table d'expérimentation (Figure 4). Pour les translations, deux distances sont testées, représentés par deux cercles sur la table (Figure 4). Pour chaque translation, il est demandé à l'utilisateur de se déplacer, à partir du centre, dans une direction donnée jusqu'à dépasser le cercle indiqué puis de revenir au centre. L'instruction pour les inclinaisons et les rotations est de faire la manipulation de plus grande amplitude possible tout en demeurant confortable. Tout comme dans l'étude 1, il était rappelé de laisser Disco en permanence au contact de la table et la manipulation de Disco n'avait aucun effet sur une application interactive. Aucun feedback informatique n'était donc fourni aux participants : les tâches à réaliser étaient uniquement des manipulations physiques de Disco précisément énoncées par l'expérimentateur.

Matériel

Nous avons utilisé les deux formes de Disco préférées par les participants dans la première étude : Disco Rounded et Disco Spherical. Pour localiser la position, orientation et inclinaison du Disco nous avons utilisé un système de vision OptiTrack avec 12 caméras infrarouges (précis à 0.01° et 1mm près). Nous avons rajouté sur Disco des billes réfléchissantes (placées de façon à ne pas gêner la prise en main du Disco ni son mouvement) afin de permettre aux caméras de détecter le dispositif (Figure 4).

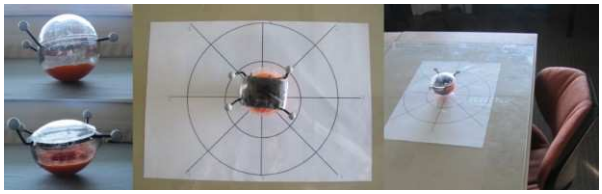


Figure 4. Apparatus utilisé dans l'étude. A gauche, les deux variantes de Disco avec les marqueurs infrarouges. A droite, le guide des directions de manipulation.

Participants

Nous avons recruté 12 participants (1 femme) âgés de 25,7 ans en moyenne (SD=3,8) et tous droitiers. 1 d'entre eux avait de l'expérience dans l'utilisation de dispositifs possédant 4 degrés de libertés ou plus. 10 d'entre eux avaient réalisé l'étude précédente.

Procédure

L'étude suit un plan 2x3x3 avec Forme (Rounded, Spherical), Prise en main (Squeeze, Lay et Doigt) et Manipulation (Translation, Rotation, Inclinaison) comme facteurs. Nous contrebalançons Forme et Prise en main pour former les 6 blocs de l'étude. Un bloc se compose de 8 translations courtes, 8 translations longues, 8 inclinaisons et 2 rotations dans un ordre aléatoire. Après chaque essai, Disco est remis en position initiale. Avant de commencer l'étude, l'utilisateur dispose d'une phase d'entraînement et de familiarisation où il réalise une fois chaque geste. Une longue familiarisation n'était pas nécessaire car les sujets impliqués dans cette étude ont tous été impliqués dans l'étude 1 ou des pré-tests. L'étude à duré 45 minutes en moyenne.

Mesures / données collectées

Nous avons enregistré les données complètes de 2 Formes x 3 Prises en main x (16 Translations + 8 Inclinaisons + 2 Rotations) x 12 sujets = 1872 gestes. A l'issue de chaque bloc, la fatigue physique associée au couple Forme/Prise en main était évaluée.

Résultats

Nous présentons d'abord les données collectées par manipulation (rotation, inclinaison et translation) puis la mesure de la fatigue. Les données obtenues n'ayant pas une distribution paramétrée, nous avons utilisé deux tests statistiques non paramétriques afin d'obtenir les résultats que nous vous présentons : le test de Wilcoxon et le test de Friedman.

Rotation

Un test de Wilcoxon a été utilisé pour déterminer si les différentes variantes de Disco ont un effet sur l'amplitude de la rotation à gauche ou à droite. Les résultats montrent

qu'il n'y a pas d'effet significatif entre les deux versions (Rotations droites ; p=0.1866 ; Rotations gauche : p=0.3303). Nous reportons donc les valeurs moyennes des deux variantes confondues.

La rotation moyenne observée, toutes directions confondues, est de 53,16°. La rotation moyenne vers la gauche est de 57,54° alors que celle vers la droite est de 47,95°. Afin de déterminer si la direction de la rotation (gauche ou droite) à un effet sur l'amplitude de celle-ci, un test de Wilcoxon a été utilisé. Le résultat obtenu permet d'affirmer que les rotations vers la droite ont une amplitude plus faible que celles vers la gauche (Figure 5; p=0,0017).

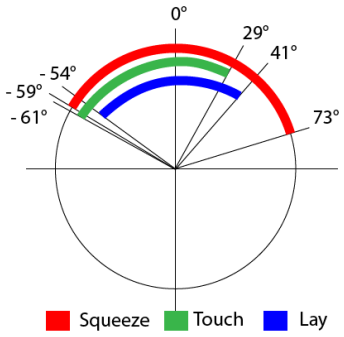


Figure 5. Amplitude des rotations par prise en main.

D'après les résultats de la première étude, la prise en main la plus souvent choisie pour les rotations est la position Squeeze. Les résultats obtenus via un test de Friedman viennent confirmer le fait que cette prise en main permet une plus grande amplitude de rotation que les deux autres (66.4° contre 45.15° et 47.97° ; p=0,0017). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les deux autres prises en main.

Inclinaison : amplitude

Pour déterminer si les variantes de Disco ont un effet sur l'amplitude maximale d'inclinaison, un test de Wilcoxon a été utilisé. Le résultat montre que Disco Spherical permet de plus grandes inclinaisons que Disco Rounded ($p << 0.001$).

En ce qui concerne Disco Spherical, la moyenne des inclinaisons maximales toutes prises en main confondues est de 40° pour toutes les directions sauf pour le Sud où elle est de 35°. Pour Disco Rounded, les directions: Nord-Est, Est et Sud-Est offrent 40° d'amplitude maximale moyenne toutes prises en main confondues alors que les directions: Nord, Sud et Nord-Ouest offrent 35°.

Pour les deux variantes de Disco évaluées, un test de Friedman a été effectué afin de déterminer si certaines prises en main avaient une amplitude d'inclinaison plus élevée (Figure 6).

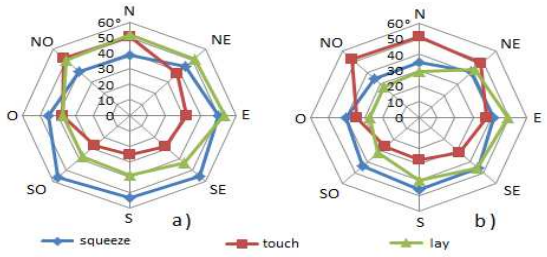


Figure 6. Amplitude des inclinaisons par direction pour a) Disco Spherical et b) Disco Rounded

Pour Disco Spherical (Figure 6-a), la prise en main Touch permet, en moyenne, des amplitudes d'inclinaison plus faibles que les deux autres prises en main (p=0,0001). Il est important de noter que pour le Disco Spherical, les amplitudes d'inclinaisons permises par la prise en main Touch sont quasiment toutes plus faibles que celles de la prise en main Lay. Cette dernière peut donc être utilisée à la place de Touch. En ce qui concerne le Disco Rounded, ces deux prises en main sont complémentaires. La distribution des inclinaisons par prise en main est similaire à celle du Disco Spherical, sauf pour la prise en main Lay. Dans ce cas précis, des inclinaisons d'amplitude 40° peuvent être réalisées dans les directions Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est et Nord-Ouest et des inclinaisons d'amplitude 35° dans les trois dernières directions (Figure 6-a).

Pour Disco Rounded (Figure 6-b), les trois prises en main ne sont pas significativement différentes globalement. Pour la prise en main Touch, des inclinaisons d'amplitude 40° peuvent être réalisées dans les directions : Nord, Nord-Ouest et Nord-Est et des inclinaisons d'amplitude 35° dans la direction de l'Est. Pour la prise en main Lay, des inclinaisons d'amplitude 40° peuvent être réalisées dans les directions : Nord-Est, Est et Sud-Est et des inclinaisons d'amplitude 35° dans la direction du Sud. Pour la prise en main Squeeze, des inclinaisons d'amplitude 35° peuvent être réalisées dans les directions Nord et Nord-Ouest. Pour toutes les autres directions, cette prise en main permet des inclinaisons maximales de 40° (Figure 6-b).

Inclinaison : écart

Les résultats obtenus montrent un écart entre la direction d'inclinaison demandée et la direction d'inclinaison effectuée. Cet écart peut être plus grand d'un côté de la direction demandée que de l'autre. Ainsi, pour les directions Nord, Nord-Est, Est, Sud et Nord-Ouest, l'écart est plus important dans le sens des aiguilles d'une montre (de 10.19° à 16.63°). Pour les autres directions, c'est dans le sens inverse que l'écart est le plus important (de 7.60° à 11.29°). Il n'y a pas d'écart significatif entre les versions de Disco.

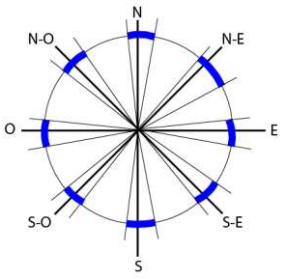


Figure 7. Ecarts entre la direction d'inclinaison demandée et la direction effectuée.

Translation

Nous avons enregistré les données d'inclinaison et rotation involontaires de Disco au cours des translations.

L'amplitude maximale moyenne des inclinaisons involontaires est de 12.46°. Nous utilisons un test de Wilcoxon afin de déterminer si les versions de Disco ont un effet sur ces inclinaisons : Disco Spherical induit des inclinaisons involontaires significativement plus grandes que Disco Rounded Figure 8-a ; $p < 0.001$). Un test de Friedman montre que la prise en main n'a pas d'influence significative sur ces inclinaisons involontaires (Figure 8-b).

Deux translations étaient effectuées par les participants au cours de l'étude : courtes (14cm) et longues (28cm). Un test de Wilcoxon a permis de déterminer que les inclinaisons involontaires sont plus élevées lors d'une translation plus grande (Figure 8-c; $p < 0.001$). Cet effet est significatif pour chaque forme de Disco (translations courtes : p=0,2264 ; translations longues : p=0,0717).

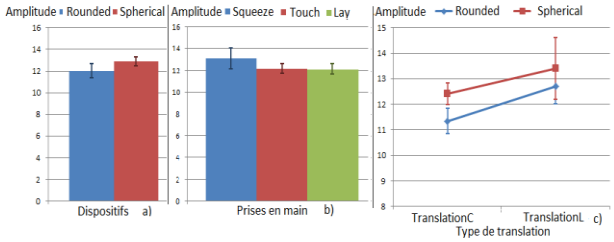


Figure 8. Amplitude des inclinaisons involontaires a) par Disco, b) par prise en main et c) par type de translation

L'amplitude moyenne des rotations gauche ou droite involontaires est de 14.93°. En utilisant la même démarche que pour les inclinaisons, un test de Wilcoxon détermine un effet des versions de Disco sur les rotations involontaires: Disco Spherical provoque des rotations involontaires avec une amplitude plus élevée que Disco Rounded (Figure 9-a ; p=0,0099). Un test de Friedman montre que la prise en main n'a pas d'influence significative sur les rotations involontaires (Figure 9-b).

Un test de Wilcoxon montre que les rotations involontaires sont plus élevées lors de la translation longue toutes prises en main et versions de Disco confondues ($p=6,107x10^{-12}$). Cet effet reste vrai pour chaque variante de Disco (Figure 9-c ; p=0,0408).

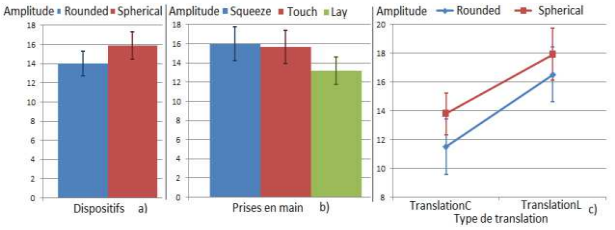


Figure 9. Amplitude des rotations involontaires a) par Disco, b) par prise en main et c) par type de translation

Fatigue

La fatigue a été calculée en utilisant une échelle de Borg [8]. La valeur moyenne est de 11.72. Un test de Wilcoxon montre que les variantes de Disco utilisées n'ont pas d'effet sur la fatigue physique ressentie (p=0.9909). Concernant les prises en main, un test de Friedman prouve que la prise en main Squeeze est plus fatigante que la prise en main Lay (p=0.0144).

Synthèse

Cette étude nous a permis d'obtenir les limites et les domaines de valeurs des trois degrés de manipulation des deux versions de Disco : rotation, inclinaison et translation.

L'amplitude de rotation est plus importante à gauche qu'à droite. De plus, la prise en main Squeeze permet une amplitude plus élevée.

La variante de Disco que l'on utilise a un effet significatif sur l'amplitude d'inclinaison. Les prises en main ont aussi un effet sur ces amplitudes : la prise en main Touch sur Disco Spherical est plus limitée que les autres prises en main. Les écarts observés entre la direction d'inclinaison demandée et celle effectuée varient selon les directions étudiées.

La longueur des translations a un effet sur les amplitudes d'inclinaison et de rotation : les translations longues induisent plus de mouvements involontaires. La variante de Disco utilisée a un effet sur les mouvements involontaires : Disco Spherical induit plus d'erreurs.

Finalement, la fatigue physique ressentie n'est pas dépendante de la variante de Disco utilisée. En revanche, la prise en main Squeeze est plus fatigante que Lay.

SCENARII D'UTILISATION

Du fait de ses caractéristiques principales, les usages possibles de Disco sont multiples. Nous illustrons ces possibilités en particulier dans le contexte de la navigation dans des menus et cartes, du dessin, d'exploration d'espaces 3D et de jeux en montrant comment les résultats de nos études influencent les techniques d'interaction couplées à DISCO.

Marking menu

Parmi les composantes de base d'une application interactive figurent les menus. De nombreuses formes de menus ont été proposées [3]. Utiliser Disco dans ce contexte fournit une option originale pour permettre la manipulation physique de ces différentes formes de

menus comme par exemple les marking menus [18]. En considérant un marking menu proposant huit items de premier niveau, chacun est activé par une inclinaison de Disco dans la direction correspondante. Compte tenu des résultats de l'étude, quelque soit la forme et la prise en main de Disco, il apparait que ce mapping est parfaitement possible puisque les plages d'inclinaison mesurées autour de chaque direction n'excède pas 22,5 degrés de chaque coté de la direction visée. Par conséquent, huit items adjacents de 45 degrés chacun sont manipulables par Disco avec des inclinaisons.

Disco-Flower menu

Considérons maintenant les flower menus [4]. Dans chacune des huit directions d'un flower menu, sept courbes différentes peuvent être produites après la translation : avec une souris, ces deux mouvements (translation, courbe) doivent être produits de manière séquentielle. Disco-Flower menu est une variation des Flower menu qui offre la possibilité de produire les deux mouvements simultanément : les huit directions initiales sont réalisées par des translations de Disco et les sept profils de courbes sont contrôlés par le degré d'inclinaison de Disco pendant la translation. Les valeurs des inclinaisons pour chaque courbure doivent être fixées au-delà du seuil identifié dans la seconde étude, correspondant aux angles maximums atteints par des inclinaisons involontaires au cours des translations.

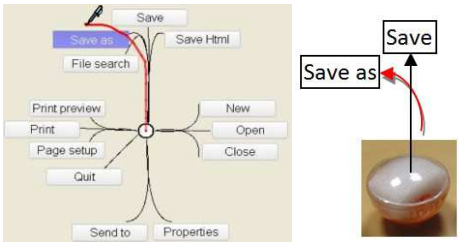


Figure 10. A gauche, Flower menu (tiré de [Bailly 08]). A droite, translation et inclinaison pour réaliser en un seul geste la commande "Save as" avec Disco-Flower menu.

Carte Google Earth

La navigation avec Disco peut aussi être étendue à la manipulation de données géographiques. Les rotations de Disco ajustent le niveau de zoom dans une carte, les inclinaisons permettent de déplacer librement le point de vue de la carte vers le Nord, l'Est, le Sud, Sud-Ouest, etc. et les translations permettent alors la sélection de points ou de zones dans la partie affichée [20, 13]. Pour conserver un contrôle isotonique sur le zoom comme dans Tilty Table [20], une prise en main maximisant les rotations (Squeeze) est utilisée. Concernant les inclinaisons, c'est également avec cette prise en main que les amplitudes maximales sont atteintes dans toutes les directions. Enfin la forme Spherical de Disco maximise significativement les inclinaisons. La prise en main Squeeze du Disco Spherical est donc à privilégier pour optimiser la navigation dans Google Earth.

Outil de dessin

Disco permet de manipuler les paramètres d'un outil de dessin au cours de son utilisation. Pour réduire les allers-retours entre le dessin et les outils, des lentilles et palettes d'outils ont été proposées [7], parfois dans des contextes bimanuels et tangibles [25]. Disco permet de lier chacune de ses manipulations à l'un des outils fréquemment utilisés. Les translations sont utilisées pour dessiner les tracés de crayon. Des inclinaisons selon les différentes directions permettent d'accéder rapidement à des fonctions de traitement du dessin en cours (remplissage, suppression, mode sélection/dessin…). Les rotations portent alors deux attributs offrant plusieurs valeurs possibles : les couleurs et le type de traits. Compte tenu du caractère asymétrique de l'amplitude des rotations accessibles, nous disposons les couleurs, plus nombreuses, à gauche où l'amplitude moyenne constatée est d'environ 60 degrés. Coté droit, les principaux types de traits sont accessibles directement (mode position) et les modes moins fréquemment utilisés sont accessibles en mode vitesse à partir d'un angle de rotation de 30°. Des contrôles de la position puis de la vitesse sont donc combinés comme suggéré dans [26].

Jeu de simulation

Enfin, considérons un simulateur, dans lequel, en fonction de l'élément sélectionné, des options de configuration sont offertes. C'est notamment le cas dans des systèmes de monitoring, mais aussi dans des jeux de simulation de vie. Prenons par exemple la configuration de son avatar dans le jeu Sims : coiffure, haut, pantalon et chaussures peuvent être modifiés pour changer le look de son personnage (Figure 11).

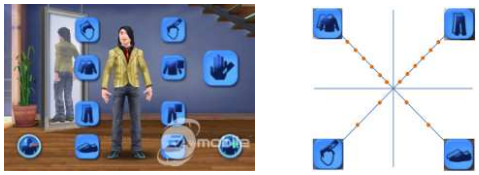


Figure 11. A gauche, menu par défaut dans le jeu Sims. A droite, menu en étoile optimisé pour Disco.

Pour chacun d'eux, Disco associe une direction d'inclinaison: le degré d'inclinaison permet de parcourir les possibilités. Considérant que le nombre de coiffures et de chaussures disponibles est nettement inférieur au nombre de hauts et de pantalons, l'étude menée suggère de placer les hauts et les pantalons sur les axes N, N-E, O ou N-O d'un Disco Spherical car ce sont les axes permettant les plus fortes amplitudes. A l'inverse les options plus limitées en nombre et concernant les chaussures et la coiffure pourront être placées sur les axes E, S-E ou S. Un design exploitant ces recommandations peut alors en plus prôner une symétrie des axes utilisés ainsi qu'une répartition homogène entre attributs du haut du corps et attributs du bas du corps comme illustré dans la Figure 11.

DISCUSSION

Contrôle du mouvement : position et vitesse

Il est possible d'utiliser un contrôle de la position ou de la vitesse pour gérer les translations et les rotations. Pour les inclinaisons, s'agissant d'un dispositif isotonique, un contrôle de la vitesse est privilégié [31] mais compte tenu de l'amplitude des inclinaisons possibles, et contrairement à une souris 3D par exemple, une utilisation pour un contrôle des positions est possible. Disco peut donc être manipulé en translation, inclinaison et rotation pour contrôler des positions (position control) ou des vitesses (rate control).

Disco sur la main dominante : étendre la souris

Notre étude porte sur la prise en main de Disco avec la main dominante pour augmenter la souris. Afin de réaliser les fonctions de la souris, Disco doit permettre la translation et la validation (boutons sur la souris).

Translation

Disco permettant différentes manipulations, trois questions se posent sur l'utilisation des translations pour contrôler un pointeur de souris : 1) est-ce que la translation de Disco déclenche des rotations ou inclinaisons accidentelles et 2) est-ce que une rotation ou 3) une inclinaison de Disco à l'arrêt déclenche une translation accidentelle. Cela revient donc à déterminer les conditions de séparabilité des trois manipulations.

Nous avons étudié la translation et établi les valeurs des inclinaisons et rotations accidentelles. Cela nous permet de définir des seuils afin de réaliser la translation sans déclencher des activations d'autres fonctions, liées à la rotation ou à l'inclinaison, par inadvertance.

Concernant les translations fortuites lors d'une rotation de Disco, l'étude ne nous a pas permis de les mettre en évidence. Par contre, l'inclinaison de Disco provoque, par construction, une translation du centre de masse du dispositif sur le plan de la table. Pour compenser les translations induites par les inclinaisons, une solution consiste donc à soustraire de la translation mesurée, la longueur de l'arc entre le point de contact initial de Disco avec la surface et le point final.

Validation

La validation est essentielle pour reproduire la fonction de la souris: l'ajout d'une surface tactile de petite taille de type touchpad, ou encore d'un bouton sur le volume hémisphérique est donc requis. Dans ce dernier cas une façon de conserver la symétrie de Disco consiste à ajouter un bouton circulaire sur la partie supérieure, similaire à la surface interactive ronde des iPod première génération (Figure 12). Une autre solution est de placer un bouton autour du diamètre de Disco, similaire au bracelet interactif WatchIt [21] (Figure 12). On pourrait utiliser une surface capacitive accompagnée de ressorts physiques situés sous la surface de Disco. Il serait ainsi possible d'obtenir un retour haptique des actions effectuées sur la surface de Disco tout en ajoutant des boutons de type « Apple Magic Mouse ».

Implémentation de Disco

Nous avons implémenté une première version fonctionnelle de Disco en utilisant un capteur magnétique sans fil (Polhemus – Patriot) (Figure 12). Ce capteur, placé à l'intérieur de notre prototype, permet de récupérer la position et l'orientation 3D du dispositif. Nous avons utilisé ce prototype pour implémenter une application de dessin et la sélection de menus linéaires.



Figure 12. Illustration de l'emplacement possible de boutons circulaires (droite) et prototype fonctionnel intégrant un capteur magnétique 3D et un bouton simple.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous présentons dans cet article la conception d'un nouveau dispositif en entrée basé sur le principe du culbuto et nommé Disco. Il offre trois manipulations (translation, rotation et inclinaison) à multiples degrés de liberté. Nous avons tout d'abord observé les différentes prises en main possibles pour trois variantes du dispositif. Pour chacune des prises en main nous avons ensuite étudié les capacités limites en amplitude et séparabilité sur deux versions de Disco. Les résultats montrent que Disco permet des rotations asymétriques avec d'avantage d'amplitude sur la gauche ; Disco permet des inclinaisons variables selon les axes d'inclinaison et les prises en main, de 30° jusqu'à 57° en moyenne ; enfin la translation de Disco implique des inclinaisons et rotations accidentelles que nous mesurons afin de proposer un seuil pour éviter les faux positifs. Nous avons enfin réinvesti ces résultats pour définir l'utilisation de Disco dans différents cas d'usage : la sélection de commande, la navigation dans une carte, le dessin et un environnement de simulation.

Ce travail représente une première étape dans la conception de techniques d'interaction utilisant Disco. Nous allons d'abord nous focaliser sur la construction d'un prototype fonctionnel sans fil avec un bouton circulaire pour la validation/sélection. Nous comparerons ensuite Disco à différents dispositifs (SpaceMouse, Souris, etc.) afin d'évaluer ses performances dans des contextes d'utilisation précis tels que le pointage 2D et la manipulation d'objets 3D. Nous allons par la suite valider expérimentalement l'usage des techniques proposées notamment dans le contexte des scénarii d'utilisation évoqués. Enfin, nous allons travailler sur des extensions de Disco, par exemple l'intégration d'un feedback visuel (un mini-écran sur la partie supérieure).

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du contrat de collaboration de recherche IRIT-Berger Levrault (N° CNRS 099856). Les auteurs remercient Gilles Bailly, Laura Jourdain, Christina Fernandez et les membres de l'équipe ELIPSE pour leurs suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

1. Almeida, R. 2008. Palettes satellitaires: faciliter les changements d'outils avec la rotation de la souris. In Proc. of IHM '08. ACM, 173-176.
2. Almeida, R. and Cubaud, P. 2006. Supporting 3D window manipulation with a yawing mouse. In Proc. of NordiCHI '06. ACM, 477-480.
3. Bailly, G., Lecolinet, E. and Nigay, L. 2009. MenUA: A Design Space of Menu Techniques. www.gillesbailly.fr/menua/
4. Bailly, G., Lecolinet, E. and Nigay, L. 2008. Flower menus: a new type of marking menu with large menu breadth, within groups and efficient expert mode memorization. In *Proc. of* AVI '08. ACM, 15-22.
5. Balakrishnan, R., Baudel, T., Kurtenbach, G., and Fitzmaurice, G. 1997. The Rockin'Mouse: integral 3D manipulation on a plane. In Proc. of CHI '97. ACM, 311-318.
6. Benko, H., Izadi, S., Wilson, A., Cao, X., Rosenfeld, D., and Hinckley, K. 2010. Design and evaluation of interaction models for multi-touch mice. In Proc. of GI '10. CIPS, 253-260.
7. Bier, E.A., Stone, M.C., Pier, K., Buxton, W. and DeRose, T.D. 1993. Toolglass and magic lenses: the see-through interface. In *Proc. of* SIGGRAPH '93. ACM, 73-80.
8. Borg, G. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Human Kinetics (1998), viii 104pp.
9. Buxton, W. Lexical and pragmatic considerations of input structures. Comput. Graph., 17(1) :31-37, 1983.
10. Card, S., Mackinlay, J., and Robertson, G.. 1990. The design space of input devices. In Proc. of CHI '90. ACM, 117-124.
11. Casiez, G. (2004). Contribution à l'étude des interfaces haptiques. Le DigiHaptic: un périphérique haptique de bureau à degrés de libertés séparés. Ph.D. Thesis, Université Lille 1, October 2004.
12. Foley, J., Wallace, V., and Chan, P. The human factors of computer graphics interaction techniques. IEEE Comput. Graph. Appl., 4(11) :13{48, 1984.
13. Harrison, S., Minneman, S., Back, M., Balsamo, A., Chow, M., Gold, R., Gorbet, M., Mac Donald, D. 2001. Design: the what of XFR: eXperiments in the future of reading.*interactions* 8, 3 (May 2001), 21-30.
14. Hinckley, K., Sinclair, M., Hanson, E., Szeliski, R., and Conway, M. 1999. The VideoMouse: a camera-based multi-degree-of-freedom input device. In Proc. of UIST '99. ACM, 103-112.
15. Hurter, C., Conversy, S., Vinot, J-L., and Jestin, Y. 2009. Représentations écologiques de données temporelles: exemples et apports. In Proc. of IHM '09. ACM, 33-42.
16. Jacob, R., Sibert, L., McFarlane, D. and Preston Mullen, M. Integrality and separability of input devices. ACM TOCHI, 1, 1 (1994), 3-26.
17. Kruger, R., Carpendale, S., Scott, S., and Tang, A. 2005. Fluid integration of rotation and translation. In Proc. of CHI '05. ACM, 601-610.
18. Kurtenbach, G. and Buxton, W. 1993. The limits of expert performance using hierarchic marking menus. In Proc. of CHI '93 ACM, 482-487.
19. Marteniuk, R. G., MacKenzie, C., Jeannerod, M., Athenes, S., and Dugas, C. Constraints on human arm movement trajectories. Canadian Journal of Psychology 41, 3 (1987), 365--378.
20. Minneman 2001 Last accessed on YouTube: May 2014, http://www.onomy.com/blue/tilty.html, 2001
21. Perrault, S., Lecolinet, E., Eagan, J., and Guiard, Y. 2013. Watchit: simple gestures and eyes-free interaction for wristwatches and bracelets. In Proc. of CHI '13. ACM, 1451-1460.
22. Perin, C., Christie, M., Vernier, F., and Lino, C. 2013. CollaStar: Interaction collaborative avec des données multidimensionnelles et temporelles. In Proc. of IHM '13. ACM, 115-125.
23. Rahman, M., Gustafson, S., Irani, P., and Subramanian, S. 2009. Tilt techniques: investigating the dexterity of wrist-based input. In Proc. of CHI '09. ACM, 1943-1952.
24. Roudaut, A., Pohl, H., and Baudisch, P. 2011. Touch input on curved surfaces. In Proc. of CHI '11. ACM, 1011-1020.
25. Spindler, M., and Dachselt, R. 2009. PaperLens: advanced magic lens interaction above the tabletop. In *Proc. of* ITS '09. ACM, Article 7 , 1 pages.
26. Tsandilas, T., Dubois, E., Raynal, M. 2013. Modeless Pointing with Low-Precision Wrist Movements. In Proc. of INTERACT 2013. Springer, p. 494-511.
27. Varesano, F. and Vernero, F. 2012. Introducing PALLA, a novel input device for leisure activities: a case study on a tangible video game for seniors. In Proc. of FnG '12. ACM, 35-44.
28. Wang, Y., MacKenzie, C., Summers, V. and Booth, K. 1998. The structure of object transportation and orientation in human-computer interaction. In Proc. of CHI '98 . ACM, 312-319.
29. Yang, X-D., Mak, E., McCallum, D., Irani, P., Cao, X., and Izadi, S. 2010. LensMouse: augmenting the mouse with an interactive touch display. In Proc. of CHI '10. ACM, 2431-2440.
30. Zhai, S. 1998. User performance in relation to 3D input device design. SIGGRAPH Comput. Graph. 32, 4, 50-54.
31. Zhai, S., Human Performance in Six Degree of Freedom Input Control, 1995, University of Toronto