

# Un espace de conception centré sur les fonctions corporelles pour la génération et l'évaluation de nouvelles techniques d'interaction

Julie Wagner

6 Décembre 2012

## Résumé

Cette thèse présente BodyScape, un espace de conception qui décrit la façon dont les utilisateurs coordonnent les mouvements de, et entre leurs membres lorsqu'ils interagissent avec divers dispositifs d'entrée et entre plusieurs surfaces d'affichage. BodySape introduit une notation graphique pour l'analyse des techniques d'interaction en termes : (1) d'assemblages de moteurs, qui accomplissent une tâche d'interaction atomique (assemblages de moteurs d'entrée), ou qui positionnent le corps pour percevoir les sorties du système (assemblages de moteurs de sortie) ; (2) de coordination des mouvements de ces assemblages de moteurs, relativement au corps de l'utilisateur ou à son environnement interactif.

Nous avons appliqué BodyScape à : 1) la caractérisation du rôle du support dans l'étude de nouvelles interactions bimanuelles pour dispositifs mobiles ; 2) l'analyse des effets de mouvements concurrents lors de l'interaction ; et 3) la comparaison de techniques d'interaction multi-échelle sur mur d'images afin d'évaluer le rôle du guidage et des interférences sur la performance.

## 1 Introduction

L'utilisation des outils informatique a changée, passant d'une machine unique (de bureau) à des ordinateurs embarqués dans l'environnement, qui ont aussi changé de taille et de forme (dispositifs mobiles, écrans géants, etc.). De fait, l'implication et la configuration du corps de l'utilisateur ont aussi changés, passant d'une position assise et fixe la plupart du temps, à une configuration qui change dynamiquement, impliquant plus de parties fonctionnelles du corps dans l'interaction. Je me suis intéressé à l'étude de l'interaction dans les environnements multi-surfaces (EMS), qui nécessitent justement des techniques d'interaction impliquant de multiples dispositifs et surfaces d'interaction pour supporter les différentes stratégies de travail des

utilisateurs. Mais la conception de techniques d'interaction dans de tels environnements se heurte à une explosion combinatoire des moyens d'entrée possibles, que ce soit sur ou avec un dispositif physique, sans dispositifs (avec les mains uniquement), ou même avec tout le corps. Je propose une analyse de l'interaction centrée sur les fonctions corporelles de l'utilisateur, basée sur les caractéristiques du contrôle moteur. Je soutiens l'idée qu'une taxonomie centrée sur ces fonctions corporelles permet de faire face à la complexité de la conception de techniques d'interaction pour les environnements multi-surfaces en qualifiant les techniques d'interactions par les mouvements qu'elles requièrent en entrée, indépendamment des choix technologiques de leur implantation.

Les environnements multi-surfaces impliquent des entrées et sorties multiples, impliquant parfois plusieurs utilisateurs, pour créer des environnements interactifs composés. Ils repoussent les limites des environnements de bureau classiques - utilisateur unique, entrées et sorties standard - par leur multiplexage physique.

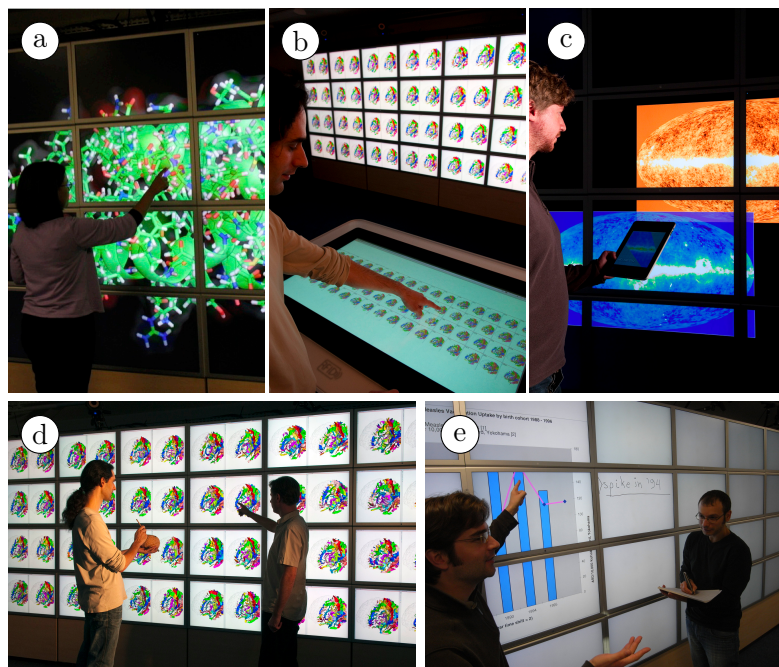


FIGURE 1 – Exemples d'interaction multi-surfaces : interaction tactile directe a) sur un grand écran, b) sur une table interactive, et c) sur un dispositif mobile ; interaction basée sur d) le pointage sur un artefact tangible (modèle de cerveau), et e) l'écriture sur du papier augmenté.

Les concepteurs d'interaction ont de nombreuses possibilités, parmi un large choix de techniques d'interaction individuelles basée sur le contact direct, des péri-

phériques d'entrée, des interactions tangible ou le corps de l'utilisateur (gestes) : (i) les utilisateurs peuvent directement toucher l'interface affichée sur un grand écran (voir figure 1a), une table interactive (voir figure 1b), ou manipuler un dispositif spécifique (voir figure 1c) (ii) ; ils peuvent utiliser des objets tangibles ou des dispositifs d'entrée comme médiateurs : par exemple, en pointant avec une baguette sur un modèle de cerveau, les utilisateurs peuvent naviguer dans les différentes couches du cerveau affichées sur un grand écran (voir figure 1d), ou écrire sur du papier interactif pour afficher et partager des notes lors d'une discussion devant un grand écran (voir figure 1e) ; et (iii) ils peuvent aussi utiliser des gestes ou mouvements du corps pour déclencher des commandes.

Dans la section suivante, je présente la plateforme WILD [Bea+12], environnement d'étude pour les recherches conduites au cours de cette thèse. Je présenterai aussi les résultats de sessions de travail que nous avons conduites avec des utilisateurs potentiels de cette plateforme.

## 1.1 WILD, une plateforme pour l'étude des environnements multi-surfaces

La plateforme WILD (Wall-sized Interaction with Large Datasets) est bâtie autour d'un mur d'image vertical de très haute résolution, composé de 32 écrans formant une grille de  $4 \times 8$  (voir figure 1e et d). Les 32 moniteurs sont connectés à 16 ordinateurs, eux-mêmes contrôlés par un ordinateur frontal dans la pièce principale. Un système de capture de mouvement VICON utilise dix caméras infra-rouge disposées autour de la salle, permettant le suivi de marqueurs réfléchissants qui peuvent être placés sur le corps de l'utilisateur, ou sur des objets rigides. Une table multi-tactile offre de plus une large surface interactive, et plusieurs dispositifs de type tablettes et téléphones peuvent également être utilisés.

Dans ce contexte, l'équipe INSITU a conduit plusieurs sessions de travail et ateliers avec des utilisateurs ayant besoin de visualiser grands ensembles de données et pouvant tirer parti d'une telle surface d'affichage : des chercheurs en astrophysique, chimie/biologie moléculaire et neurosciences.

Par exemple, les microbiologistes ont exprimé le besoin de manipuler des modèles de molécules complexes en 3D, mais aussi d'accéder simultanément à des bases de données en ligne, des sites web ou des articles de recherche.

Nous avons identifié quatre stratégies principales de travail pour ces groupes de chercheurs avec la plateforme WILD : navigation, comparaison, juxtaposition et communication. Les chercheurs en astrophysique, par exemple, ont besoin de visualiser de grands ensembles de données composés d'images de plusieurs gigapixels représentant des régions de l'espace lointain. Ils ont besoin de techniques d'interaction pour *naviguer*, par exemple par translation et zoom, dans ces images. D'autres chercheurs ont besoin de *comparer* un grand nombre d'images similaires, par exemple des

scanners de pathologies cérébrales. Enfin, tous ces chercheurs ont besoin de *juxtaposer* des données et de *communiquer* avec des collaborateurs distants ou co-localisés.

## 1.2 Challenges pour la conception de techniques d’interaction

Les stratégies de travail identifiées lors des ateliers avec les utilisateurs révèlent le besoin de techniques d’interaction indépendantes de la position des utilisateurs, qui leur permettent de se déplacer en face de l’écran mural. Ceci peut être réalisé en concevant des techniques d’interaction basées sur trois types d’entrée : (1) des périphériques tactiles portables ou souris 3D, (2) des gestes à main levée, ou (3) la combinaison de ces deux approches. Le problème principal est de déterminer comment choisir parmi toutes ces possibilités de techniques d’interaction si l’on considère la variété des solutions possibles.

Pour résoudre ce problème, je propose BodyScape, un espace de conception centré sur les fonctions corporelles des utilisateurs, permettant à la fois d’analyser les techniques d’interaction existantes et d’en concevoir de nouvelles. J’ai étudié la relation entre les utilisateurs et leur environnement interactif, et en particulier la façon dont l’utilisation de différentes parties du corps peut étendre ou restreindre les capacités de mouvement lors de l’utilisation de techniques d’interaction particulières. Tout d’abord, dans la section suivante, je présente les travaux connexes sur la description, classification et génération de techniques d’interaction.

## 2 État de l’art

La première approche “morphologique” pour la modélisation des dispositifs d’entrée a été proposée par Mackinlay *et al.* [MCR90], et ensuite étendue par Card *et al.* [CMR91]. Cette approche permet d’identifier des abstractions nécessaires à la construction d’un espace de conception. Elle permet aussi d’évaluer de manière systématique de nouvelles propositions et fournit un moyen d’étudier leur efficacité. Récemment, cette approche a également été appliquée avec succès pour la classification des techniques d’interaction gestuelles basées sur des accéléromètres [SBC11], ainsi que pour les systèmes de menus [NHB09].

Il a été démontré que les groupes de muscles utilisés pour agir sur un dispositif d’entrée sont un facteur critique de la performance [ZMB96]. Les concepteurs de dispositifs d’entrée doivent prendre en compte ces compromis : les petits groupes musculaires offrent une meilleure dextérité (les doigts) ; les groupes de muscles plus grands offrent de plus grandes capacités de mouvements (les bras). Mais l’interaction dans les environnements multi-surfaces implique des choix plus complexes où il est possible (1) d’assigner de multiples groupes musculaires à une technique d’interaction atomique et (2) de combiner plusieurs techniques d’interaction atomiques pour réaliser des tâches complexes. Par exemples, peuvent être considérés comme des

techniques d'interaction atomiques : le pointage sur un grand écran avec la main/le bras [VB05], un geste pour contrôler une valeur continue [Bai+12; HRH12], taper du pied pour répondre à une action [Ale+12] et utiliser l'orientation du corps pour contrôler la direction d'un zoom [DSK09].

Les travaux fondateurs de Shoemaker dans ce domaine [Sho+10] ont introduit des principes de conception de haut niveau pour l'interaction centrée sur les fonctions corporelles sur de grands écrans. L'approche morphologique que nous proposons va plus loin, permettant d'analyser la nature complexe et distribuée des entrées et sorties dans les environnements multi-surfaces, en termes des implications sur les configurations corporelles de l'utilisateur. Elle permet d'analyser quelle partie du corps est impliquée dans quelle tâche de contrôle, et de détecter les interférences potentielles entre les fonctions corporelles dédiées à l'entrée et la perception des retours du système.

### 3 BodyScape : un espace de conception centré sur les fonctions corporelles pour l'interaction multi-surfaces

Dans les environnements multi-surfaces, les entrées et les sorties sont physiquement distribués dans l'environnement : l'interface utilisateur et les mouvements nécessaires à l'entrée sont soit effectués de manière *fixe* sur des dispositifs stationnaires, ou de manière *relative* par rapport au corps (avec un dispositif mobile par exemple) ; l'entrée peut de plus être réalisée en utilisant un contact direct ou avec des gestes. Cette *relation spatiale entre le corps, l'entrée et la sortie visuelle* a des implications pour les *degrés de liberté* de la configuration du corps de l'utilisateur pour une technique d'interaction donnée, et a des implications pour l'attribution d'autres mouvements du corps réalisables en parallèle .

À un niveau de granularité plus fin, nous devons également examiner comment l'utilisateur coordonne ses mouvements. Lorsqu'il accomplit un mouvement complexe impliquant plusieurs articulations, par exemple tendre la main pour saisir un verre d'eau, il implique un groupe de membres du corps comme le bras, l'avant-bras, la paume de la main et les doigts, qui forment ensemble une *chaîne cinématique*. Chaque membre fait partie d'une chaîne : les membres des extrémités supérieures et inférieures sont soit proches (proximales) ou éloignée (distales) du torse par rapport à d'autres membres. Par exemple, l'avant-bras est plus proximal que la paume de la main qui est elle-même plus distale que la partie supérieure du bras. Selon la chaîne cinématique, chaque membre du corps contribue à la performance globale d'un mouvement parce qu'il est physiquement connecté à des membres du corps proche d'articulations : les mouvements produits par un membre éloigné, par exemple, l'avant-bras, sont accompagnés de mouvements de toutes les branches proximales par rapport à l'avant-bras, par exemple, la partie supérieure du bras. D'après la

terminologie de GUIARD [Gui87], je définis les parties du corps qui sont impliquées dans les mouvements nécessaires à la réalisation d'une technique d'interaction en tant que *moteurs*. Par exemple, si le bras dominant effectue un geste en l'air, il se compose d'un ensemble de moteurs au sein d'une chaîne cinématique : bras, avant-bras, paume, doigts et pouce.

### 3.1 Assemblages de moteurs d'entrée et de sortie

Chaque tâche de haut niveau que les utilisateurs doivent effectuer à l'aide d'une technique d'interaction, par exemple la juxtaposition de données à l'aide d'une technique de type *pick-and-drop* [Rek97], peut être décomposée en plusieurs sous-tâches, par exemple, la *sélection* des données à un endroit de l'écran et leur *reposition* à une autre position. Les sous-tâches peuvent être à leur tour décomposées en *tâches de contrôle*, par exemple, la *sélection* requiert que l'utilisateur *pointe* la donnée et applique une commande de *sélection*.

De fait, je définis un assemblage de moteurs d'*entrée* comme un groupe de moteurs qui gèrent une tâche de contrôle. Par exemple, lors de l'exécution d'une tâche de pointage gestuelle (de type pointeur laser) les moteurs du bras dominant forment un ensemble de moteurs d'entrée pour cette tâche de contrôle.

De manière similaire, un assemblage de moteurs de *sortie* est un groupe de moteurs qui permet à l'utilisateur de percevoir les retours visuels du système. Chaque technique d'interaction atomique peut inclure un ou plusieurs assemblages de moteurs d'entrée, mais seulement un assemblage de moteurs de sortie.

### 3.2 Relation spatiale entre le corps et l'environnement interactif

Les assemblages moteurs d'entrée et de sortie sont coordonnés par rapport à l'environnement physique, les dispositifs interactifs, et par rapport à l'environnement virtuel, les objets graphiques. Par exemple, lors de l'exécution de pointage gestuel, le bras qui pointe doit être maintenu dans une position stable vers un objet virtuel affiché sur un écran fixe, *fixé dans l'environnement*. En revanche, pointer sur un périphérique tactile mobile est *relatif au corps*.

#### 3.2.1 Assemblage de moteurs de sortie : relatif au corps vs. fixé dans l'environnement

Les environnements multi-surfaces sont inévitablement affectés par la séparation des sorties visuelles [SB05; TC03] qui sont réparties sur plusieurs périphériques. Cela oblige les utilisateurs à déplacer leur regard et de répartir leur attention sur les périphériques de sortie qui sont liés à la tâche en cours en *tournant la tête* et

– si cela ne suffit pas – *tournant le torse*, le *corps*, ou même se déplaçant. Le retour visuel *relatif au corps* est indépendant de l'emplacement de l'utilisateur dans l'environnement, par exemple sur l'écran d'un dispositif tenu à la main. Il ne limite pas la position de l'utilisateur ni sa posture (excepté pour le membre qui porte le périphérique affichant la sortie). A l'inverse, le retour visuel *fixé dans l'environnement* requiert que la tête de l'utilisateur soit orientée vers l'emplacement physique de cette sortie, par exemple sur un projecteur mural. Lorsque les sorties sont fixées dans le monde, les positions et postures des utilisateurs sont limitées à celles qui leur permettent de percevoir efficacement le retour visuel.

### 3.2.2 Assemblage de moteurs d'entrée : relatif au corps vs. fixé dans l'environnement

L'entrée *relative au corps* peut être effectuée à un emplacement arbitraire dans l'environnement, par exemple des gestes sur le corps, tandis que l'entrée *fixé dans l'environnement* requiert un emplacement spécifique, par exemple à côté d'une table interactive. Cela agit directement sur la configuration du corps, par exemple, l'utilisateur peut porter un dispositif mobile et interagir librement avec depuis n'importe quel endroit. Certaines technologies rendent même les dispositifs d'entrée inutiles : PUB [Lin+11] permet de l'interaction tactile à même le corps et PinStripe [Kar+11] détecte les gestes de pincement et d'enroulement sur les vêtements de l'utilisateur. Toutefois, lorsque la position d'un dispositif tenu à la main ou d'un membre sont suivis en 3D, par exemple lors de pointage gestuel, le bras doit être maintenu dans une position déterminée par rapport à une cible fixe (fixé dans l'environnement).

BodyScape différencie aussi les entrées *gestuelles (mid-air)* et *tactiles* basée car cela peut affecter les performances et les restrictions possibles du corps de l'utilisateur. En effet, les mouvements du corps et leur coordination dépendent du lien physique avec l'environnement [DL04]. Par exemple, des études antérieures ont démontré que des techniques de “pan and zoom” pour les grands écrans sont plus rapides par le toucher que par les gestes, en raison du degré de guidage supplémentaire sur les mouvements d'entrée [Nan+11]. Dans les environnements multi-surfaces, avoir à toucher à un dispositif interactif peut ajouter des contraintes supplémentaires, par exemple devoir se rapprocher d'une table interactive.

## 3.3 Classification de techniques d'interaction atomiques avec BodyScape

**Quadrant supérieur gauche : Entrée relative au corps – Sortie relative au corps** La combinaison la moins restrictive est évidemment lorsque l'entrée et la sortie sont relatives au corps de l'utilisateur, puisque l'utilisateur peut se déplacer librement dans l'environnement tout en étant capable d'interagir et ob-

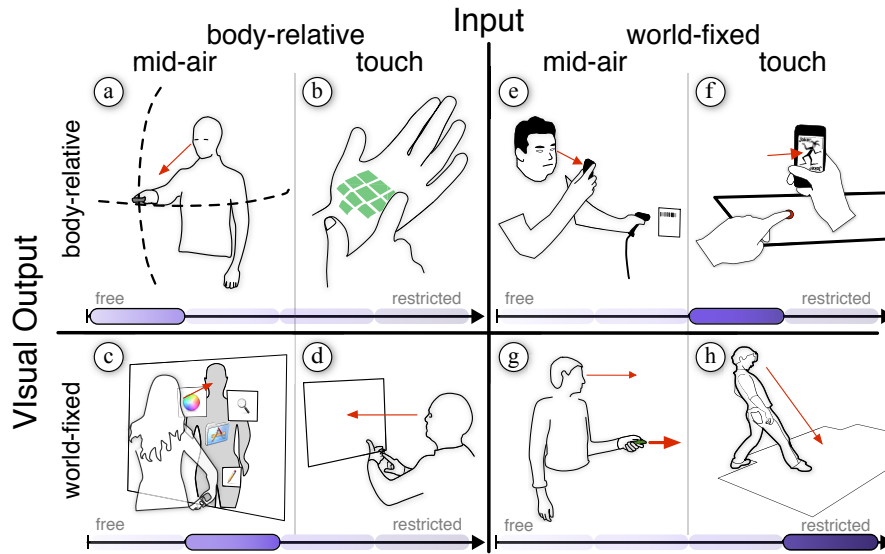


FIGURE 2 – Techniques d’interaction atomiques classifiées selon leurs caractéristiques en entrée et sortie selon les fonctions corporelles impliquées : a) Virtual Shelves [LDT09] ; b) Skinput [HTM10] ; c) Body-centric interaction techniques for large displays [Sho+10] ; d) PalmRC [Dez+12] ; e) Scanning an object with feedback on a mobile device ; f) Pick-and-Drop [Rek97] ; g) Mid-air pointing ; h) Multitoe [Aug+10].

tenir un retour visuel.

VirtualShelf [LDT09] permet de créer des raccourcis sur un téléphone mobile en orientant le dispositif dans un espace sphérique devant l’utilisateur (voir figure 2a). Les membres du bras dominant composent l’assemblage de moteurs d’entrée. *Armura* [HRH12] étend cette approche grâce à du matériel portable permettant la détection de gestes avec les deux bras et en projetant le retour visuel à même le corps de l’utilisateur. Skinput [HTM10] (voir figure 2b) permet des actions tactiles sur l’avant-bras et fournit un retour visuel relatif au corps avec un projecteur placé sur l’épaule de l’utilisateur. Le bras dominant, l’assemblage de moteurs d’entrée, pointe sur les cibles projetées sur le bras non dominant, qui compose donc l’assemblage de moteurs de sortie.

**Quadrant supérieur droit : Entrée relative au corps – Sortie fixée dans l’environnement** Fixer la sortie dans l’environnement contraint l’orientation de l’utilisateur et, si la distance par rapport à la surface d’affichage est conséquente, sa localisation. SHOEMAKER et al. a introduit des techniques d’interaction centrée sur le corps pour grands écrans [Sho+10], où l’utilisateur peut sélectionner des outils en pointant vers des parties du corps, par exemple, l’estomac, en appuyant sur un bouton d’un dispositif tenu à la main. Le bras qui pointe forme l’assemblage



de moteurs d'entrée. De plus, l'ombre de l'utilisateur est affiché sur l'écran mural, indiquant l'emplacement des outils sur le corps. De fait, cela impose que l'utilisateur se tienne à une position particulière et fixée en face de l'écran (voir figure 2c).

PalmRC [Dez+12] (Fig. 2d) permet des opération à main levée sur un téléviseur. Les utilisateurs peuvent appuyer sur des boutons imaginaires sur la paume de leur main [GHB11] et percevoir un retour visuel sur l'écran du téléviseur (fixe). Le bras qui pointe est l'assemblage de moteurs d'entrée. Toutefois, étant donné que le bras dominant pointe sur l'autre bras, cette technique d'interaction introduit la nécessité de faire la distinction entre les parties du corps qui sont *impliqués dans l'interaction*, l'assemblage de moteurs d'entrée, et les parties du corps qui sont *affectée par l'interaction*. Ce point sera discuté dans la section suivante.

**Quadrant inférieur gauche : Entrée fixée dans l'environnement – Sortie relative au corps** Une entrée fixée dans l'environnement est plus contraignante car elle nécessite de se tenir dans un périmètre défini qui limite les mouvements. Dans ce cas, le toucher est plus contraignant que les gestes “mid-air”. Par exemple, bien que limitée, la zone de détection d'un dispositif Kinect<sup>1</sup> est moins contraignante que d'avoir à se tenir sur le bord d'une table interactive.

Un exemple simple d'une entrée “mid-air” fixe avec une sortie relative est quand un utilisateur scanne un code barres tout en regardant le retour visuel sur un appareil mobile (voir figure 2e).

Avec les interactions tactiles, ces combinaisons d'entrées/sorties sont fréquentes lors du transfert d'un objet à partir d'une surface fixe vers un appareil mobile, comme dans la figure 2f (Pick and Drop [Rek97]). Ces deux exemples affectent le bras dominant à l'entrée et le bras non-dominant, qui porte l'appareil, à maintenir une relation stable entre le dispositif et les yeux pour le retour visuel.

**Quadrant inférieur droit : Entrée fixée dans l'environnement – Sortie fixée dans l'environnement** Dans ce cas, l'emplacement et l'attention visuelle de l'utilisateur sont limitées par l'entrée et la sortie. C'est la combinaison la plus contraignante, en particulier avec l'entrée *tactile*.

L'entrée “mid-air” fixe dans l'environnement et le retour visuel associé forment une combinaison commune pour pointer sur les murs d'images, utilisant la métaphore du “pointeur laser”. Même si l'interaction se fait à distance, elle est fixée dans l'environnement car il est nécessaire de se tenir à un endroit approprié afin d'être en mesure de pointer directement vers un objet sur la surface (voir figure 2g).

Les techniques d'interaction tactiles classiques, avec une table ou un grand écran, nécessitent d'être en face de la surface. Cela est encore plus restrictif avec une technique comme Multitoe [Aug+10], car basée sur un retour visuel et une interaction tactile sur le sol, avec les pieds (voir figure 2h).

---

1. <http://www.xbox.com/en-US/KINECT>

### 3.4 Combinaison d’assemblages de moteurs d’entrées en techniques d’interaction composées

La nature distribuée des environnements multi-surface oblige souvent les utilisateurs à combiner plusieurs techniques d’interaction atomiques pour effectuer une tâche complexe de niveau supérieur (i) en séquence, par exemple, en sélectionnant d’abord un objet sur une première surface de contact, puis sur une autre, (ii) ou en parallèle, par exemple, en touchant un objet sur une surface fixe, tout en touchant un autre sur un appareil portable. Dans le cadre de ma thèse, je me concentre sur la combinaison en parallèle des techniques d’interaction atomiques. Les assemblages de moteurs d’entrée (IMA) de ces techniques peuvent être composés de trois façons : *en série*, *séparés* ou *imbriqués*. La figure 3 illustre ces trois compositions d’assemblages de moteurs réalisant une simple tâche de type *point-and-select* sur un grand écran.

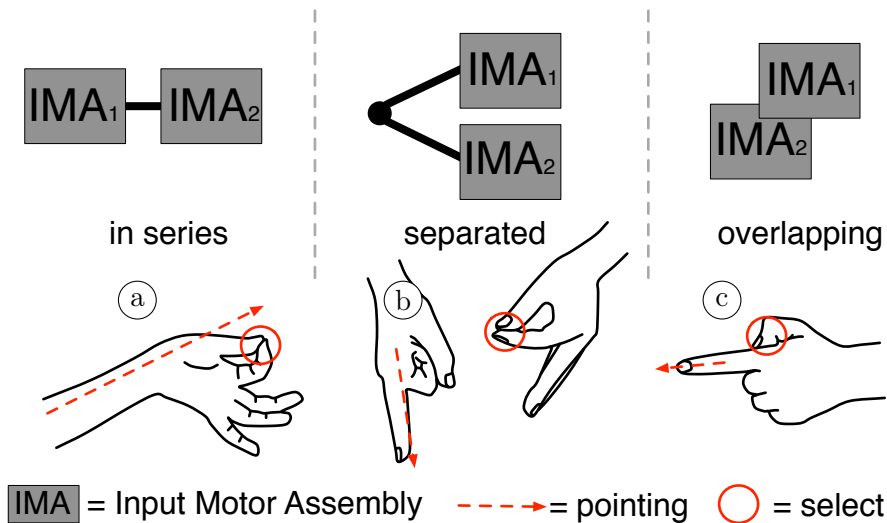


FIGURE 3 – Les assemblages de moteurs d’entrée peuvent être composés *en série*, *séparés* les uns des autres, ou *imbriqués*.

**Deux IMAs en Série** Dans la figure 3a, l’utilisateur combine deux assemblages de moteurs d’entrée en série. L’un effectue un geste de pointage “mid-air” et l’autre effectue une opération de *sélection*. Les assemblages de moteurs d’entrée correspondants sont l’avant-bras et le bras dominant pour la tâche de pointage ( $IMA_1$ ) et les doigts pour la tâche de sélection ( $IMA_2$ ) :  $IMA_1$  déplace le curseur à l’écran vers l’objet virtuel (noter que l’orientation de l’avant-bras est suivie par le système) et le pouce et l’index sont pressés l’un contre l’autre pour déclencher la sélection de l’objet (voir figure 3a). Ces assemblages de moteurs d’entrée sont indépendants, sans moteurs partagée (membres du corps).

**Deux IMAs séparés** Un exemple d’assignation de deux tâches de contrôle à deux moteurs d’entrée est de les affecter à deux mains séparées (deux IMAs séparés) : l’assemblage de moteurs pour le pointage comprend l’index dominant et, par rapport à la chaîne cinématique, l’ensemble du bras dominant ( $IMA_1$ ) pour définir la gamme complète des mouvements. L’assemblage des moteurs pour la sélection comprend l’index et le pouce ( $IMA_2$ ) de la main non-dominante (voir figure 3b). Les doigts doivent être pressés l’une contre l’autre pour déclencher la commande de *sélection*.

**Deux IMAs imbriqués** Deux assemblages de moteurs sont imbriqués quand ils *partagent* des parties du corps. Par exemple, le bras dominant et l’index ( $IMA_1$ ) sont responsables du pointage tandis que la sélection est effectuée avec le pouce de la main dominante appuyant sur l’index ( $IMA_2$ ) (voir figure 3c). L’index est donc partagé par les deux assemblages de moteurs d’entrée.

### 3.5 Assemblages de moteurs d’entrée et parties du corps affectées par l’interaction

Une technique d’interaction implique un assemblage de moteurs d’entrée dans l’interaction. Toutefois, dans certains cas, cet assemblage de moteurs d’entrée peut affecter d’autres parties du corps qui ne sont pas directement impliquées dans l’interaction. Par exemple, lorsque les utilisateurs touchent leur propre corps [Lin+11 ; HTM10] (voir figure 2b), un bras est impliqué dans une tâche de pointage vers une cible sur le corps. Les cibles touchés sur l’autre bras affectent en retour cette partie du corps. De même, lorsque les utilisateurs interagissent avec un sol interactif [Aug+10] ou répondent à un appel sur un téléphones mobiles en tapant avec le pied [Ale+12], ils déplacent leur équilibre sur leur autre jambe, ce qui l’affecte. Un autre exemple est lorsque l’utilisateur porte et interagit avec un dispositif à une seule main. Le pouce peut alors être à la fois affecté par le support et impliqués dans l’interaction. Cela peut conduire à des effets d’interférences lors de la combinaison de plusieurs assemblages de moteurs d’entrée pour une technique composée en parallèle.

### 3.6 Effets d’interaction lors de la composition de techniques d’interaction en parallèle

Dans la suite de ce résumé, je résume plusieurs études que nous avons conduites pour étudier les effets d’interaction de deux assemblages de moteurs d’entrée lorsqu’il sont combinés pour créer des techniques d’interaction que les utilisateurs effectuent en parallèle. Pour une description détaillée des expériences menées et les détails de leur mise en oeuvre, se référer à ma thèse et aux publications associées.

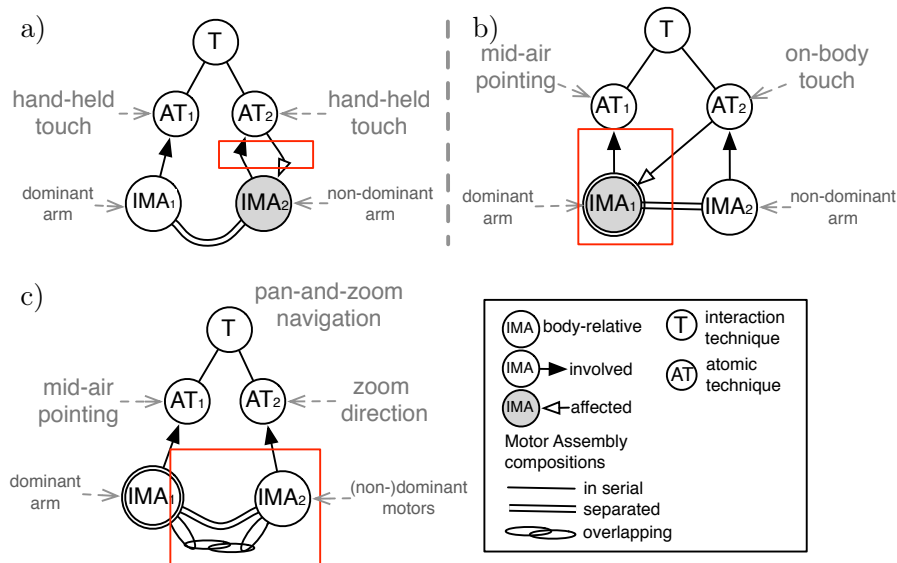


FIGURE 4 –

### 3.6.1 BiPad

J’ai étudié de nouvelles techniques d’interaction bi-manuelles pour tablettes tactiles portables. Nommées BiPad, ces techniques permettent de simultanément interagir avec la main qui supporte le dispositif. Grâce à l’espace de conception BodyScape, j’ai étudié en détails la manière dont le support de l’appareil affecte l’assemblage de moteurs d’entrée associé. Selon la notation de BodyScape, une technique d’interaction BiPad  $T$  combine deux techniques d’interaction *atomiques*  $AT_1$  et  $AT_2$  (voir figure 4a). Les deux techniques  $AT_1$  et  $AT_2$  sont des techniques conventionnelles d’interaction tactile, où  $AT_1$  implique le bras dominant comme moteur d’entrée ( $IMA_1$ ) et  $AT_2$  implique le bras non-dominant en tant que moteur d’entrée ( $IMA_2$ ). BodyScape permet de souligner que le bras non-dominant est également affecté par  $AT_2$ , car il supporte le dispositif.

Dans ce travail, nous avons identifié dix façons de porter la tablette, qui permettent aux doigts ou au pouce de la main portant le dispositif d’atteindre l’écran interactif. Nous avons constaté que cette relation à double sens entre  $IMA_2$  et  $AT_2$ , où  $IMA_2$  est à la fois impliqué et affecté, a un effet sur la performance : porter le dispositif limite les degrés de liberté de mouvements en entrée de l’assemblage de moteurs concerné ; plus la chaîne cinématique impliquée dans le support est petite, plus l’interaction est performante mais moins confortable elle est perçue par les utilisateurs. Pour certaines façon de porter le dispositif que nous avons identifiés, la tablette devient un prolongement du bras et agit comme un levier. Nous avons donc constaté que plus la distance entre le membre d’appui et le point d’équilibre

de la tablette est grande, plus la performance diminue car la tablette est perçue comme plus lourde. Ce travail a été publié comme article long à la conférence ACM CHI'12 [WHM12].

### 3.6.2 Combinaison d'interactions tactiles sur le corps et de gestes "mid-air"

Nous avons aussi étudié les effets d'interaction lors de la combinaison de deux techniques d'interaction atomiques, les touchés sur le corps et le pointage "mid-air". En suivant les principes de BodyScape, chaque technique d'interaction atomique  $AT_1$  et  $AT_2$  (voir la figure 4b) implique un assemblage de moteurs d'entrée : le pointage "mid-air" implique le bras dominant ( $IMA_1$ ), le pointage sur le corps consiste à appuyer avec le bras non dominant ( $IMA_2$ ) et affecte toutes les parties du corps où des cibles sont situées, et en particulier  $IMA_1$  qui effectue le pointage "mid-air".

Nous avons confirmé expérimentalement la prédiction de BodyScape : combiner le toucher sur le corps et le pointage mid-air crée une interférence entre deux assemblages de moteurs d'entrée apparemment indépendants. Ceci s'explique par deux types de compromis que les utilisateurs doivent faire pour coordonner leurs mouvements : le déplacement du point d'équilibre pour atteindre les cibles dans le bas du corps déstabilise le contrôle de la position de tous les membres du corps (et donc du bras qui pointe); et appliquer une force sur les moteurs formant un autre assemblage de moteurs d'entrée, effectuant une tâche d'entrée par rapport à une cible fixe dans l'environnement, nécessite de constamment re-stabiliser la position de ce moteur.

Ces résultats suggèrent de continuer à étudier les interactions tactiles sur le corps sur les parties stables, comme le torse, plutôt que le bras dominant. Toucher des parties du corps, même en tant que technique d'interaction atomique unique, est en effet plus performant sur le torse que sur le bras dominant. Ce qui est surprenant, étant donné que ce type d'interaction a été jusqu'à présent étudié exclusivement sur le bras dominant [HTM10; Lin+11].

### 3.6.3 Effet d'interaction entre deux assemblages de moteurs d'entrée

Nous avons développé douze techniques de navigation multi-échelle  $T$ , de type "pan-and-zoom", pour les grands écrans, basées sur l'imbrication ou la séparation d'assemblages de moteurs d'entrée (voir figure 4c). La technique du "pan" reste identique dans toutes les techniques. Le "zoom" se compose par contre de deux techniques d'interaction atomiques qui permettent de réaliser deux tâches de contrôle : (i)  $AT_1$  contrôle le centre du zoom et (ii)  $AT_2$  contrôle la direction du zoom. L'assemblage de moteurs d'entrée  $IMA_1$  contrôle le centre du zoom en utilisant une technique de pointage "mid-air" avec la main dominante. Le second assemblage de moteurs

d'entrée,  $IMA_2$ , contrôle la *direction* du zoom (in/out) à l'aide des mouvements coordonnés par rapport au corps. Selon les techniques,  $IMA_2$  varie dans sa *taille*, c'est à dire le nombre de moteurs impliqués, et le *type de composition d'assemblage de moteurs* établie entre  $IMA_1$  et  $IMA_2$  : soit une composition séparée ou imbriquée (cadre rouge sur la figure 4c).

Toutes les techniques uni-manuelles impliquent le bras dominant pour la tâche de pointage ( $IMA_1$ ) et soit une partie ou la totalité des moteurs du *bras dominant* pour la tâche de zoom ( $IMA_2$ ). Toutes les techniques bi-manuelles impliquent le bras dominant pour la tâche de pointage ( $IMA_1$ ) et une partie ou la totalité des moteurs du *bras non dominant* pour la tâche de zoom ( $IMA_2$ ).

Nous avons observé que la composition de deux assemblages de moteurs d'entrée séparés (interaction bi-manuelle) est plus performante que la composition de deux assemblages de moteurs d'entrée imbriqués (uni-manuelle). En effet, les assemblages de moteurs imbriqués entraînent des effets d'interaction négatifs dus à des mouvements concurrents.

Nous avons également constaté que les assemblages de moteurs d'entrée qui impliquent un plus petit nombre de moteurs ont des performances accrues. Pour les mouvements circulaires, nous avons constaté qu'une implication corporelle réduite dans l'interaction ne se traduit pas forcément par de meilleures performances. Cependant, le guidage des assemblages de moteurs d'entrée, par exemple en effectuant des gestes sur une surface interactive ou à l'aide d'une molette de souris, peut accroître considérablement les performances. Ce travail a été publié en tant qu'article long à la conférence ACM CHI'11 [Nan+11].

## 4 Conclusion et perspectives

Les concepteurs de techniques d'interaction doivent faire face à une explosion combinatoire des possibilités pour une tâche utilisateur de haut niveau donnée. Dans ma thèse, je propose une approche centrée sur les fonctions corporelles qui identifie pour une technique donnée, indépendamment de sa mise en oeuvre technique, la relation spatiale du corps avec l'environnement interactif : BodyScape introduit une notation qui peut *décrire* les techniques d'interaction en termes (1) d'assemblages de moteurs chargées de l'exécution d'une tâche de contrôle (assemblages de moteurs d'entrée) ou positionner le corps de manière à percevoir les retours visuels du système (assemblages de moteurs de sortie) et (2) de coordination des mouvements des assemblages de moteurs, relatifs au corps ou fixés dans l'environnement.

Au travers de trois exemples concrets, j'ai démontré que BodyScape peut être utilisé pour *décrire*, *générer* et *comparer* les techniques d'interaction : L'approche centrée sur les fonctions corporelles m'a permis de décrire les différences de performance et de confort perçu des techniques d'interaction de BiPad. BodyScape m'a permis de créer une nouvelle composition de techniques d'interaction existantes en

combinant deux techniques d'interaction atomiques. Enfin, en comparant les techniques d'interaction à l'aide de BodyScape, j'ai évalué douze techniques d'interaction de "pan-and-zoom" pour la navigation multi-échelle sur grands écrans.

Bien que les études que j'ai menées ont montré la pertinence des contributions de BodyScape, le cadre de conception ne permet pas encore une estimation a priori des performances d'une technique d'interaction. Cela fera l'objet des travaux futurs, et je pense que les expérimentations que j'ai présentées pour valider mon approche centrée sur les fonctions corporelles, basées sur des exemples concrets, peuvent servir de point de départ pour des études plus générales axées sur la prédiction des performances avec BodyScape.

## Références

- [Ale+12] Jason ALEXANDER, Teng HAN, William JUDD, Pourang IRANI et Sriram SUBRAMANIAN. "Putting your best foot forward : investigating real-world mappings for foot-based gestures". Dans : *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '12. Austin, Texas, USA : ACM, 2012, p. 1229–1238. (Cf. p. 5, 11).
- [Aug+10] Thomas AUGSTEN, Konstantin KAEFER, René MEUSEL, Caroline FETZER, Dorian KANITZ, Thomas STOFF, Torsten BECKER, Christian HOLZ et Patrick BAUDISCH. "Multitoe : high-precision interaction with back-projected floors based on high-resolution multi-touch input". Dans : *Proc. UIST*. 2010, p. 209–218. (Cf. p. 8, 9, 11).
- [Bai+12] Gilles BAILLY, Jörg MÜLLER, Michael ROHS, Daniel WIGDOR et Sven KRATZ. "ShoeSense : a new perspective on gestural interaction and wearable applications". Dans : *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '12. Austin, Texas, USA : ACM, 2012, p. 1239–1248. (Cf. p. 5).
- [Bea+12] Michel BEAUDOUIN-LAFON, Olivier CHAPUIS, James EAGAN, Tony GJERLUFSEN, Stéphane HUOT, Clemens KLOKMOSE, Wendy MACKAY, Mathieu NANCEL, Emmanuel PIETRIGA, Clément PILLIAS, Romain PRIMET et Julie WAGNER. "Multi-surface Interaction in the WILD Room". Dans : *Computer* 45.4 (2012). P. 48–56. [http:](http://)

[//hal.inria.fr/hal-00687825/PDF/WILD-IEEEComputer-authorversion.pdf](http://hal.inria.fr/hal-00687825/PDF/WILD-IEEEComputer-authorversion.pdf). (Cf. p. 3).

- [CMR91] Stuart K. CARD, Jock D. MACKINLAY et George G. ROBERTSON. “A morphological analysis of the design space of input devices”. Dans : *ACM Trans. Inf. Syst.* 9.2 (avr. 1991). P. 99–122. (Cf. p. 4).
- [Dez+12] Niloofar DEZFULI, Mohammadreza KHALILBEIGI, Jochen HUBER, Florian MÜLLER et Max MÜHLHÄUSER. “PalmRC : imaginary palm-based remote control for eyes-free television interaction”. Dans : *Proc. EuroiTV*. 2012, p. 27–34. (Cf. p. 8, 9).
- [DL04] R. DICKSTEIN et Y. LAUFER. “Light touch and center of mass stability during treadmill locomotion”. Dans : *Gait & Posture* 20.1 (2004). P. 41–47. (Cf. p. 7).
- [DSK09] Florian DAIBER, Johannes SCHÖNING et Antonio KRÜGER. “Whole Body Interaction with Geospatial Data”. Dans : *Proceedings of the 10th International Symposium on Smart Graphics*. SG '09. Salamanca, Spain : Springer-Verlag, 2009, p. 81–92. (Cf. p. 5).
- [GHB11] S. GUSTAFSON, C. HOLZ et P. BAUDISCH. “Imaginary Phone : learning imaginary interfaces by transferring spatial memory from a familiar dvice”. Dans : *Proc. UIST*. 2011, p. 283–292. (Cf. p. 9).
- [Gui87] Yves GUIARD. *Asymmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action : The Kinematic Chain as a Model*. 1987. (Cf. p. 6).
- [HRH12] C. HARRISON, S. RAMAMURTHY et S HUDSON. “On-body interaction : armed and dangerous”. Dans : *Proc. TEI*. 2012, p. 69–76. (Cf. p. 5, 8).
- [HTM10] C. HARRISON, D. TAN et D. MORRIS. “Skinput : Appropriating the Body as an Input Surface”. Dans : *Proc. CHI*. 2010, p. 453–462. (Cf. p. 8, 11, 13).
- [Kar+11] T. KARRER, M. WITTENHAGEN, L. LICHTSCHLAG, F. HELLER et J. BORCHERS. “Pinstripe : eyes-free continuous input on interactive clothing”. Dans : *Proc. CHI*. 2011, p. 1313–1322. (Cf. p. 7).



- [LDT09] F. LI, D. DEARMAN et K. TRUONG. “Virtual shelves : interactions with orientation aware devices”. Dans : *Proc. UIST*. 2009, p. 125–128. (Cf. p. 8).
- [Lin+11] S. LIN, Z. SU, K. CHENG, R. LIANG, T. KUO et B. CHEN. “PUB - Point Upon Body : exploring eyes-free interactions and methods on an arm”. Dans : *Proc. UIST*. 2011, p. 481–488. (Cf. p. 7, 11, 13).
- [MCR90] Jock MACKINLAY, Stuart K. CARD et George G. ROBERTSON. “A semantic analysis of the design space of input devices”. Dans : *Hum.-Comput. Interact.* 5.2 (juin 1990). P. 145–190. (Cf. p. 4).
- [Nan+11] Mathieu NANCEL, Julie WAGNER, Emmanuel PIETRIGA, Olivier CHAPUIS et Wendy MACKAY. “Mid-air pan-and-zoom on wall-sized displays”. Dans : *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems*. CHI '11. Vancouver, BC, Canada : ACM, 2011, p. 177–186. *Best Paper Award*. <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/59/12/94/PDF/CHI11-pzwild-avf.pdf>. (Cf. p. 7, 14).
- [NHB09] Mathieu NANCEL, Stéphane HUOT et Michel BEAUDOUIN-LAFON. “Un espace de conception fondé sur une analyse morphologique des techniques de menus”. Dans : *Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d’Interaction Homme-Machine*. IHM '09. Grenoble, France : ACM, 2009, p. 13–22. (Cf. p. 4).
- [Rek97] Jun REKIMOTO. “Pick-and-drop : a direct manipulation technique for multiple computer environments”. Dans : *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*. UIST '97. Banff, Alberta, Canada : ACM, 1997, p. 31–39. (Cf. p. 6, 8, 9).
- [SB05] Ramona E. SU et Brian P. BAILEY. “Put them where? towards guidelines for positioning large displays in interactive workspaces”. Dans : *Proceedings of the 2005 IFIP TC13 international conference on Human-Computer Interaction*. INTERACT'05. Rome, Italy : Springer-Verlag, 2005, p. 337–349. (Cf. p. 6).

- [SBC11] Adriano SCODITTI, Renaud BLANCH et Joëlle COUTAZ. “A novel taxonomy for gestural interaction techniques based on accelerometers”. Dans : *Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces*. IUI '11. Palo Alto, CA, USA : ACM, 2011, p. 63–72. (Cf. p. 4).
- [Sho+10] G. SHOEMAKER, T. TSUKITANI, Y. KITAMURA et K. S BOOTH. “Body-centric interaction techniques for very large wall displays”. Dans : *Proc. NordiCHI*. 2010, p. 463–472. (Cf. p. 5, 8).
- [TC03] Desney S. TAN et Mary CZERWINSKI. “Effects of Visual Separation and Physical Discontinuities when Distributing Information across Multiple Displays”. Dans : *In Proceedings of Interact 2003*. 2003, p. 252–255. (Cf. p. 6).
- [VB05] Daniel VOGEL et Ravin BALAKRISHNAN. “Distant freehand pointing and clicking on very large, high resolution displays”. Dans : *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*. UIST '05. Seattle, WA, USA : ACM, 2005, p. 33–42. (Cf. p. 5).
- [WHM12] Julie WAGNER, Stéphane HUOT et Wendy E. MACKAY. “BiTouch and BiPad : Designing Bimanual Interaction for Hand-held Tablets”. Dans : *Proceedings of the 30th international conference on Human factors in computing systems*. CHI '12. Austin, Texas, USA : ACM, 2012, p. 2317–2326. <http://hal.inria.fr/hal-00663972/PDF/bipadA.pdf>. (Cf. p. 13).
- [ZMB96] Shumin ZHAI, Paul MILGRAM et William BUXTON. “The influence of muscle groups on performance of multiple degree-of-freedom input”. Dans : *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems : common ground*. CHI '96. Vancouver, British Columbia, Canada : ACM, 1996, p. 308–315. (Cf. p. 4).