

2M : un Espace de Conception pour l'Interaction Bi-Manuelle

Gilles Bailly, Laurence Nigay

Lab. CLIPS-IMAG, Université de Grenoble 1
385, rue de la Bibliothèque, 38041 Grenoble Cedex 9
+33 4 76 51 44 40

gbailly@imag.fr, Laurence.Nigay@imag.fr

David Auber

Lab. LaBRI, Université de Bordeaux 1
351, cours de la Libération, 33405 Talence
+33 5 56 84 28 77

auber@labri.fr

RESUME

L'homme utilise naturellement au quotidien les deux mains pour effectuer des tâches dans le monde physique. Dans le contexte de l'informatique pervasive qui vise la fusion des mondes physique et numérique, l'interaction bi-manuelle semble donc une solution à explorer. Dans cet article, nous présentons un nouvel espace de conception pour l'interaction bi-manuelle, noté 2M. Cet espace organise dans un canevas unificateur des résultats issus d'études sur l'interaction multimodale et bi-manuelle. D'une part, nous enrichissons les travaux sur l'interaction multimodale pour prendre en compte le rôle des deux mains ; d'autre part nous étudions l'interaction à deux mains au regard de la multimodalité (une modalité par main) pour prendre en compte les aspects temporels et de dépendance de la multimodalité lors de la conception de techniques d'interaction bi-manuelle. Nous présentons notre espace 2M et analysons son pouvoir descriptif et comparatif. Nous étudions ensuite sa capacité à guider la conception de nouvelles formes d'interaction bi-manuelle dans le contexte du projet NavGraphe dédié à la manipulation de grandes structures biologiques comme l'ARN (acide ribonucléique).

Mots Clés

Interaction Bi-Manuelle, Multimodalité, Espace de Conception.

ABSTRACT

In the physical world, most human activities involve the use of two hands. As part of ubiquitous computing that aims at combining the physical and the digital worlds, understanding how to design two-handed interaction is therefore important. This article presents a new design space for two-handed interaction, called 2M. The 2M design space takes its foundations in two complementary research domains: multimodal interaction and two-handed interaction. On the one hand we enrich the multimodal design space to take into account the roles of the two hands. On the other hand, we extend the two-handed interaction design space to cover the temporal as well as fusion aspects of multimodal interaction. This article presents the resulting 2M design space and demonstrates its descriptive power. We finally study the generative capacity of 2M for designing new forms of

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. UBIMOB 05, May 31. - June 3, 2005, Grenoble, France. Copyright 2005 ACM X-XXXXX-XXX-X/XX/XXXX \$5.00.

two-handed interaction in the context of the NavGraphe project that focuses on the interactive manipulation of very large biological structures (e.g., RNA structures).

Keywords

Two-Handed Interaction, Bimanual, Multimodality, Design Space.

Categories and Subject Descriptors

H.5.2 [Information Interfaces and Presentation]: User Interfaces – *user-centered design, interaction styles, theory and methods*. I.6.3 [Computer and Graphics]: Methodology and Techniques – *interaction techniques*.

General Terms

Design; Human Factors.

1. INTRODUCTION

L'homme utilise naturellement au quotidien les deux mains pour effectuer des tâches dans le monde physique. Par exemple l'écriture nécessite les deux mains : une main pour tenir la feuille et la déplacer, l'autre pour écrire [13]. Dans le contexte de l'informatique pervasive qui vise la fusion des mondes physique et numérique, l'interaction bi-manuelle au sein d'un environnement mixte semble intuitivement une solution naturelle et efficace.

Notre domaine d'application, dans le cadre du projet NavGraphe, consiste en la visualisation interactive de structures biologiques de grande taille. Nous visons la conception et la mise en œuvre d'un environnement informationnel mixte pour des biologistes, qui collaborent à l'étude de graphes d'ARN (acide ribonucléique), comme le montre la Figure 1. Dans la version actuelle, un graphe d'ARN est projeté sur une table augmentée, grâce à la boîte à outils de visualisation de grands graphes, TULIP [2]. Le graphe est manipulable à l'aide de plusieurs modalités et en particulier une modalité bi-manuelle mono-digitale à l'aide de jetons, comme le montre la Figure 2. Les jetons sont localisés par vision par ordinateur [3] (boîte à outils TelVision) grâce à une caméra au-dessus de la table. Des techniques d'interaction bi-manuelle ont été conçues et développées pour manipuler le graphe projeté sur la table, comme celles de la Figure 2. Nous envisageons outre de nouvelles techniques d'interaction bi-manuelle sur le graphe projeté, d'exploiter d'autres surfaces d'interaction que la table. Ainsi nous considérons l'exploitation de petites surfaces tactiles comme celles d'un ordinateur de poche pour l'accès à des palettes par exemple. Pour cela, nous sommes en cours d'intégration de la technique que nous avons présentée dans [9] pour la manipulation

multi-surface (table + ordinateur de poche) de grands espaces de données temporelles. De plus nous envisageons l'utilisation de grandes surfaces comme des tableaux blancs pour visualiser d'autres graphes d'ARN, qui pourraient à leur tour être projetés sur la table.

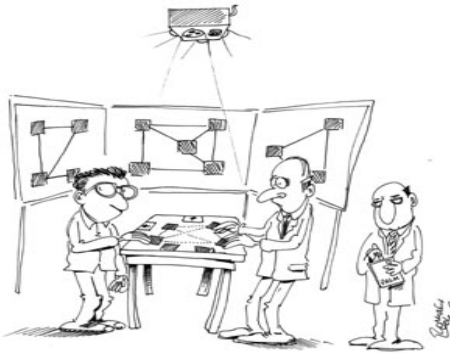


Figure 1 : Environnement mixte du projet NavGraphe. Un graphe d'ARN est projeté sur une table à l'aide d'un vidéo-projecteur. Les biologistes manipulent le graphe avec des jetons (interaction bi-manuelle). Les murs permettent d'afficher d'autres graphes d'ARN qui peuvent glisser sur la table.

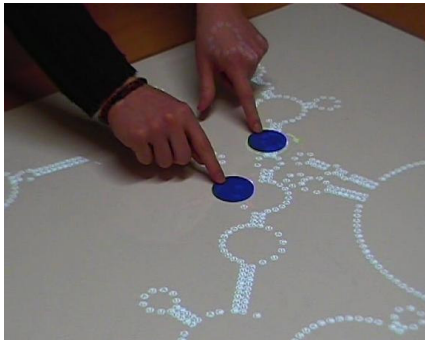


Figure 2 : Interaction bi-manuelle mono digitale (zoom dont le facteur dépend de la distance entre les deux jetons) sur une structure d'ARN projetée sur la table.

Dans cet article, nous focalisons sur l'interaction bi-manuelle dans le contexte d'un environnement informationnel mixte. L'originalité de notre approche consiste à considérer l'interaction bi-manuelle comme multimodale en entrée : une modalité d'entrée par main. La possibilité d'utiliser les deux mains enrichit considérablement l'espace des possibilités pour l'interaction en entrée et permet d'envisager des modalités et formes de multimodalité pour une vaste gamme d'applications.

Les avantages de l'interaction bi-manuelle semblent intuitivement évidents tant pour les novices pour le côté naturel, que pour les experts en augmentant le pouvoir d'expression et l'efficacité. Néanmoins, comme pour la multimodalité, l'interaction bi-manuelle peut s'avérer moins utilisable que l'interaction à une seule main. Par exemple dans [14], plusieurs techniques (uni-manuelles et bi-manuelles) sont étudiées expérimentalement pour

une tâche de dessin : choix de la couleur et coloriage de lignes. En synthèse, l'évaluation expérimentale permet de conclure que lorsque chaque main est assignée à des tâches indépendantes, les résultats sont moins bons par rapport à une technique à une main. Ce résultat est expliqué par un effort cognitif accru et une division de l'attention plus importante. Par contre, la réalisation de tâches dépendantes comme l'interaction bi-manuelle avec des Toolglasses [4] donne de bons résultats et souligne l'apport de l'interaction bi-manuelle. Dans ce contexte, il convient de caractériser finement l'interaction bi-manuelle afin de mieux comprendre et concevoir des techniques d'interaction bi-manuelle utilisables. Notre espace de conception, noté 2M, vise cet objectif en organisant les aspects de conception de l'interaction bi-manuelle au sein d'un canevas cohérent et unificateur. L'apport de notre espace de conception 2M est triple :

- Classification des techniques d'interaction bi-manuelle existantes.
- Conception de nouvelles formes d'interaction bi-manuelle.
- Evaluation de l'utilisabilité des techniques d'interaction bi-manuelle, en identifiant par exemple que certains points de notre espace correspondent à des techniques moins utilisables que d'autres.

Dans la première partie de cet article, nous décrivons les travaux qui sont à l'origine de notre espace de conception. Nous exposons ensuite l'espace de conception 2M, avant d'en étudier son pouvoir de classification de techniques d'interaction bi-manuelle existantes. Dans la dernière partie, nous examinons la capacité de notre espace à guider la conception de nouvelles techniques d'interaction bi-manuelle dans le cadre du projet NavGraphe. La synthèse de nos contributions et quelques perspectives concluent cet article.

2. FONDEMENTS

Cette partie décrit les travaux qui sont à l'origine de notre espace de conception 2M. Nous exposons d'abord des résultats de psychologie sur l'interaction bi-manuelle, qui soulignent en particulier l'asymétrie du rôle des deux mains. Nous exposons ensuite des cadres de conception de l'interaction multimodale que nous infléchissons au cas de l'interaction bi-manuelle. Nous exposons enfin un espace de conception de l'interaction bi-manuelle.

2.1 Main dominante/non dominante

Le rôle des deux mains n'est pas symétrique. Les psychologues se sont attardés à quantifier la supériorité de la main dominante sur la main non dominante. Dans [13], un point de vue original sur la division asymétrique du travail bi-manuel est exposé par l'application du modèle de la chaîne cinématique à l'interaction bi-manuelle. Quatre propriétés sont identifiées :

- La main non dominante fixe le contexte, tandis que la manipulation proprement dite est effectuée par la main dominante.
- La main non dominante est macro métrique (mouvement plus large, de fréquence faible) tandis que la main dominante est

micro métrique (mouvement plus fin et plus précis, de fréquence plus importante).

- La main non dominante intervient avant que la main dominante agisse.
- La main dominante est la main préférée car elle est plus forte et termine les actions.

Dans la suite de l'article, nous adopterons la terminologie suivante : MD pour la main dominante et MND pour la main non dominante.

2.2 Multimodalité

L'originalité de nos travaux est de considérer l'interaction bi-manuelle comme étant multimodale en entrée : une modalité par main. Il s'agit alors d'étudier dans quelle mesure l'interaction à deux mains peut se décrire dans les espaces de conception de la multimodalité.

2.2.1 Définition d'une modalité

Dans [18], une modalité est définie comme le couple $\langle D, I \rangle$ où : D représente un dispositif (par exemple : une souris, une caméra et un micro) et I un langage d'interaction (par exemple : le langage pseudo-naturel, la manipulation –zoom, rotation- de graphes). Cette définition caractérise les échanges entre le système et l'utilisateur car elle identifie et met en relation deux niveaux d'abstraction distincts que sont le niveau physique (dispositif) et le niveau logique (langage d'interaction). Les modalités sont utilisées pour réaliser une tâche qui constitue un troisième niveau d'abstraction.

Nous étendons cette définition qui identifie trois niveaux d'abstraction pour considérer le geste effectué. Pour cela, nous ajoutons un quatrième niveau d'abstraction que nous notons "canal gestuel" et présenté à la Figure 3. Le canal gestuel nous permet d'étudier quel dispositif (par exemple : trackball, souris) et quel langage (par exemple : macro, micro métrique) sont associés à la MD et à la MND.

Notre niveau "canal gestuel" est à rapprocher de la notion de "canal de communication" introduite dans la taxonomie présentée dans [11] : en effet le canal de communication inclut les sens humains : sens haptique, visuel et auditif. Néanmoins la distinction entre les gestes de la MD et de la MND n'est pas considérée.

De plus dans [7] la notion de canal gestuel est définie. Les gestes n'y sont pas réduits à ceux de l'une des deux mains, mais concernent aussi les mouvements des doigts, des lèvres, des pieds (pédale), et du corps tout entier. Trois types de gestes sont identifiés [7] :

- Geste Sémiotique : il sert à faire connaître, par le moyen de signes (geste accompagnant la parole).
- Geste Epistémique : c'est un moyen de connaître (combinaison de la perception cutanée avec le mouvement des mains et des doigts pour percevoir la forme ou la taille d'un objet).
- Geste Ergotique : il permet d'agir physiquement sur les objets pour les saisir, les déplacer, les modeler.

Dans le cadre de l'interaction bi-manuelle, le niveau "canal gestuel" de la Figure 3 ne concerne que les gestes ergotiques de la main dominante et de la main non dominante.

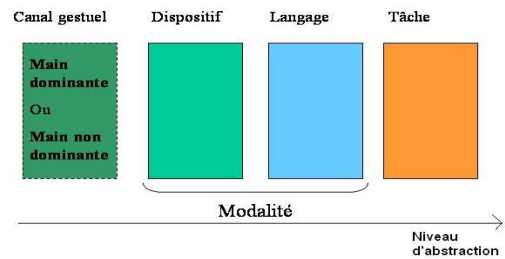


Figure 3 : Quatre niveaux d'abstraction pour étudier l'interaction bi-manuelle : schéma étendu de [18].

2.2.2 Combinaison des modalités

Après avoir défini une modalité d'interaction, il convient de s'intéresser à leur combinaison. Nous reprenons ici la typologie de la multimodalité présentée dans [19] : 4 types de multimodalité sont identifiés selon deux axes reproduits à la Figure 4 : axe temps et axe dépendance

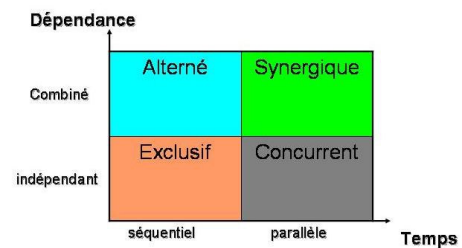


Figure 4 : Typologie de la multimodalité [19].

Cette typologie est affinée dans [21] en identifiant cinq schémas de composition issus des relations d'Allen [1] et déclinés selon cinq aspects de composition que sont le temps, l'espace, l'articulation des dispositifs, la syntaxe des langages d'interaction et la sémantique de l'information véhiculée par la modalité. La Figure 5 illustre cette mise en relation. Tirés des travaux d'Allen [1] sur les aspects temporels, les cinq schémas de composition illustrent la composition de modalités éloignées (1^{ère} colonne), la composition de modalités avec un point de contact (2^{ème} colonne), la composition de modalités avec une intersection non vide (3^{ème} colonne), la composition de modalités dont l'une est plus étendue et englobe l'autre (4^{ème} colonne) et la composition de modalités de même étendue (5^{ème} colonne).

		Schémas de composition				
Composition						
Aspects de composition	Temporelle	Anachronique	Séquentielle	Concomitante	Coïncidente	Parallèle / Simultanée
	Spatiale	Disjointe	Adjacente	Intersectée	Imbriquée	Recouvrance
	Articulatoire	Indépendance	Fissionnée	Fissionnée + Dupliquée	Partiellement Dupliquée	Dupliquée
	Syntaxique	Différente	Complétion	Divergence	Extension	Jumelage
	Sémantique	Concurrente	Complémentaire	Complémentaire + Redondante	Partiellement Redondante	Totalement Redondante

Figure 5 : Espace de composition des modalités [21].

Cet espace de composition des modalités permet d'identifier de nombreuses formes d'interaction bi-manuelle en considérant une

modalité par main. L'aspect temporel de la composition est exploité dans le cadre de conception suivant dédié à l'interaction bi-manuelle.

2.3 Interaction bi-manuelle

Dans [20], l'interaction bi-manuelle a été étudiée selon les deux axes : Langage d'action et relation temporelle entre tâches.

2.3.1 Langage d'action

Le langage d'action [20] permet de caractériser les différentes actions que peut effectuer la main selon trois types : actions discrètes, continues ou composées.

- **Actions discrètes** : les actions discrètes sont des actions qui impliquent le déclenchement discret des événements comme enfoncer une touche sur un clavier ou cliquer avec la souris.
- **Actions continues** : les actions continues sont des actions qui impliquent le contrôle continu de un ou plusieurs degrés de liberté comme le déplacement d'une icône avec la souris.
- **Actions composées** : les actions composées sont les actions qui entrelacent des actions continues et des actions discrètes comme le glisser/déposer (appuyer, déplacer, relâcher) avec la souris dans la plupart des interfaces graphiques.

Ce langage définit trois types d'action pour chaque main, soit 9 couples (MND, MD). Ces actions n'ont pas le même niveau de difficulté. L'action discrète est plus facile à réaliser que l'action continue qui est elle-même plus facile que l'action composée. En considérant la supériorité de la MD sur la MND, trois cas sur les neuf couples (MND, MD) sont éliminés : (MND-continue, MD-discrète) (MND-composée, MD-discrète), (MND-composée, MD-continue). Afin d'illustrer le pouvoir descriptif du langage d'action considérons deux exemples : (1) la sélection multiple avec la souris de la main dominante tout en maintenant une touche du clavier appuyée de la main non dominante se décrit par le couple (MND-discrète, MD-composée). (2) la sélection d'un mot dans un texte avec une souris de la main dominante tout en faisant défiler le texte avec une trackball de la main dominante se décrit par le couple (MND-continue, MD-composée).

2.3.2 Relation temporelle entre tâches

Le second axe d'étude considère les relations temporelles des sous-tâches affectées à chaque main [20]. Les sous-tâches sont effectuées de façon séquentielle ou parallèle. Dans le cas de sous-tâches séquentielles, un temps de transition est éventuellement présent. Celui-ci est uniquement dû à un coût cognitif [20] et ne concerne pas le temps de prise en main du dispositif comme dans le changement de dispositifs lors d'interaction mono-manuelle (opérateur "Homing" dans GOMS [8]). Ce temps de transition est d'autant plus petit que les dispositifs sont en adéquation avec les sous-tâches à réaliser ou que l'utilisateur est expert. Le cas de sous-tâches parallèles souligne l'apport de l'interaction bi-manuelle sur l'efficacité de l'interaction. Ainsi des sous-tâches qui étaient initialement prévues pour être effectuées séquentiellement, peuvent être réalisées de manière parallèle si l'utilisateur est un expert. Par exemple, dans [6], il est montré qu'il est possible de zoomer en même temps que de se déplacer.

Une extension similaire à celle présentée pour la multimodalité (Figure 4 et Figure 5) consiste à affiner les deux relations temporelles considérées (séquentiel et parallèle) avec les relations

d'Allen [1]. Cet affinement permet par exemple de distinguer le cas de la sélection multiple où la touche spéciale du clavier reste enfoncée le temps des sélections avec la souris, du cas du défilement d'un texte avec une trackball tout en sélectionnant un mot avec la souris. Avec uniquement les deux relations (séquentiel et parallèle), ces deux cas ne sont pas distingués et tous deux décrits comme des sous-tâches en parallèle.

En considérant les relations d'Allen, nous obtenons donc cinq cas. Pour chaque cas, nous reprenons la terminologie de la Figure 5 pour l'aspect temporel [21] et nous le schématisons en nous inspirant des schémas présentés dans [20].

Anachronique ou Séquentielle : Lorsque deux sous-tâches sont réalisées de manière séquentielle avec un temps de transition comme le montre la partie gauche de la Figure 6, elles sont réalisées de façon anachronique. Si le temps de transition donc le coût cognitif tend à diminuer vers 0, la réalisation des sous-tâches se rapproche du cas séquentiel comme le montre la partie droite de la Figure 6.

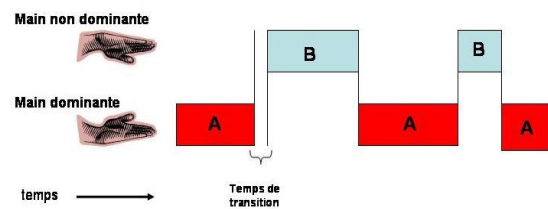


Figure 6 : Séquence de sous-tâches avec un temps de transition (partie gauche) et sans temps de transition (partie droite). Exemple : sous-tâche B = choix de la couleur dans une palette et sous-tâche A = coloriage de la couleur courante.

Concomitante : Les deux sous-tâches sont réalisées séquentiellement avec un recouvrement (chevauchement des sous-tâches) comme le schématise la Figure 7. Avant d'avoir terminé une sous-tâche, l'utilisateur expert commence déjà l'autre sous-tâche.

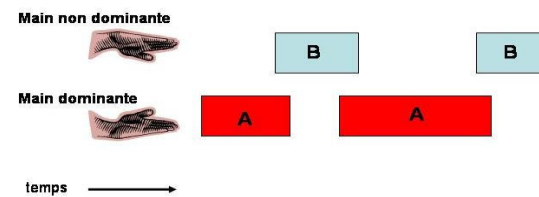


Figure 7 : Concomitance des sous-tâches A et B. Exemple : sous-tâche B = défilement et sous-tâche A = sélectionner pour un utilisateur expert.

Coïncidente : Une sous-tâche est incluse dans l'autre. La Figure 8 présente le cas où la sous-tâche affectée à la MND est incluse dans celle de la MD. Cela correspond par exemple à l'utilisation de touches spéciales d'un clavier dans MND qui est incluse dans le déplacement continue de la souris.

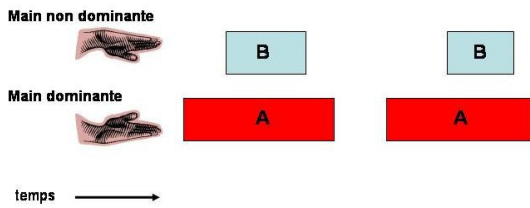


Figure 8 : Coïncidence des sous-tâches A et B. Exemple : sous-tâche B = enfoncement d'une touche spéciale au clavier et sous-tâche A = sélection multiple avec la souris.

Parallèle : Les sous-tâches sont exécutées en même temps durant toute la durée, comme le schématise la Figure 9.

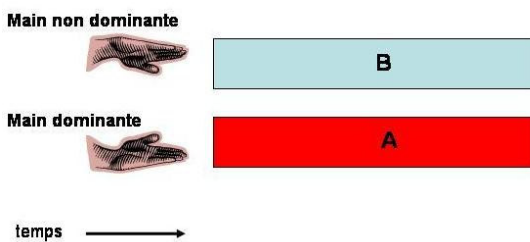


Figure 9 : Parallélisme des sous-tâches A et B. Exemple : faire avancer en ligne droite un bulldozer dans un jeu de réalité virtuelle, sous-tâche B = appui de l'accélérateur pour le contrôle de la vitesse d'une chenille d'un bulldozer et sous-tâche A = appui de l'accélérateur pour le contrôle de la vitesse de l'autre chenille d'un bulldozer.

2.3.3 Synthèse

D'une part, nous avons enrichi les travaux sur l'interaction multimodale pour prendre en compte le rôle des deux mains identifié par des travaux en psychologie. Ainsi le langage d'interaction, une partie constituante d'une modalité, peut se caractériser par les aspects macro/micro métriques des mouvements captés [13]. D'autre part nous avons étudié l'interaction bi-manuelle au regard de la multimodalité (une modalité par main) et nous avons affiné l'espace de conception de l'interaction bi-manuelle [20] pour prendre en compte plus finement les aspects temporels de la multimodalité.

Nous constatons que l'espace de conception de l'interaction multimodale et celui de l'interaction bi-manuelle partagent la dimension temporelle. Les deux autres dimensions, respectivement dépendance pour la multimodalité et nature de l'action pour l'interaction bi-manuelle sont distinctes. Nous obtenons donc trois dimensions qui définissent notre espace 2M.

3. NOTRE ESPACE DE CONCEPTION 2M

Nous présentons d'abord les trois dimensions de notre espace de conception. Nous étudions ensuite la capacité de classification de l'espace en considérant des exemples de systèmes existants, avant d'illustrer son apport lors de la conception dans le cadre du projet NavGraphe.

3.1 Présentation

Notre espace de conception, présenté à la Figure 10, s'organise selon trois dimensions :

La temporalité : elle traduit les relations temporelles entre les sous-tâches affectées à chaque main. Nous utilisons les quatre relations d'Allen définies ci-dessus : séquentielle, concomitante, coïncidente et parallèle.

La nature des actions : c'est un couple (MND, MD) qui reprend les différents actions définies dans [20].

La dépendance : elle traduit si les sous-tâches sont dépendantes ou non.

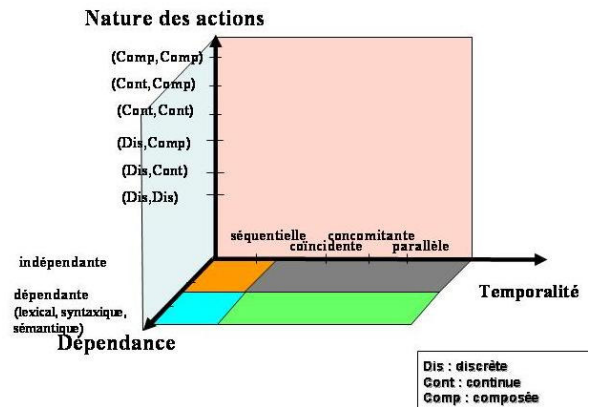


Figure 10 : Espace de conception 2M pour l'interaction bi-manuelle.

Tandis que les deux premières dimensions ont été étudiées dans le cadre de l'interaction bi-manuelle dans la partie précédente, la troisième dimension dépendance est à définir pour l'interaction bi-manuelle. Cette dimension considère la dépendance des sous-tâches effectuées par les deux mains. Comme la plupart des tâches sont composées et peuvent donc se décomposer en sous-tâches, il est difficile de déclarer la dépendance de sous-tâches sans fixer la granularité des tâches considérées. Aussi pour cette dimension, nous reprenons notre définition introduite dans le cadre de la multimodalité : la dépendance de deux sous-tâches implique la fusion, tandis que l'indépendance l'absence de fusion. Nous définissons alors trois niveaux de fusion [19]: lexicale, syntaxique et sémantique. La fusion lexicale, fusion des dispositifs [15], traduit une synchronisation entre des informations de bas niveau. Elle correspond à l'aspect articuloire de l'espace de la Figure 5. Par exemple, l'enfoncement conjoint de la touche "shift" et d'un clic souris est fusionné par le système en un seul événement. La fusion syntaxique consiste à combiner des informations pour obtenir une commande complète (aspect syntaxique de la Figure 5), comme par exemple la commande "mets ça là" [5]. La fusion sémantique combine des commandes pour aboutir à une nouvelle fonction (aspect sémantique de la Figure 5). Par exemple, dans VoicePaint [12], un éditeur de dessin qui permet de dessiner à la souris tout en modifiant à la voix les caractéristiques du pinceau (peinture, épaisseur, luminosité), deux commandes (dessiner une droite et changer de

couleur) sont combinées en une seule pour obtenir une droite à deux couleurs.

3.2 Capacité de classification

Pour illustrer l'apport taxinomique de notre espace, nous considérons plusieurs techniques d'interaction bi-manuelle que nous situons dans notre espace 2M.

3.2.1 Tâche de sélection d'une citation dans un document.

Pour la sélection d'une citation (ou lien hypertexte) dans un document, deux sous-tâches ont été très souvent étudiées dans le cadre de l'interaction bi-manuelle : le défilement du document et la sélection (pointer-cliquer). Par exemple, dans [23], il a été montré qu'il n'y a pas d'avantage significatif pour l'interaction bi-manuelle qui comprenait une souris dans la MD pour pointer-cliquer et un joystick (position isotonique) dans la MND pour défiler les pages. La comparaison avec l'interaction à une main était réalisée avec trois dispositifs : une souris, une souris à mollette, la souris d'IBM avec un joystick. Dans [17] l'exploitation d'un ordinateur de poche (PDA) comme deuxième dispositif d'interaction est étudiée, en partant du constat que ce dernier est souvent placé à côté de l'ordinateur et lui est connecté. Le PDA était manipulé par la MND pour le défilement, tandis que la souris dans la MD pour la sélection. Plusieurs techniques de défilement ont été conçues sur le PDA : des boutons, une barre de défilement absolu et une technique se comportant comme un joystick à trois vitesses. Pour cette dernière technique, l'utilisateur en glissant le doigt fait partir le défilement dans la direction indiquée, l'amplitude du mouvement indiquant la vitesse. Les résultats sont très proches voire meilleurs que ceux rapportés dans [23]. Plus récemment dans [16] le clavier est augmenté de touches spéciales sur le côté gauche pour favoriser l'interaction bi-manuelle. L'une d'entre elles est une roue pour le défilement.

L'articulation des deux sous-tâches défilement par la MND et sélectionner par la MD respecte la propriété énoncée dans [20] : la main non dominante fixe le contexte, tandis que la manipulation proprement dite est effectuée par la main dominante. Au sein de notre espace, cette interaction bi-manuelle se caractérise par :

- Temporalité : les sous-tâches sont effectuées de façon séquentielle, et parfois concomitante pour un utilisateur expert.
- Nature des actions : (MND-continue sauf pour les boutons sur le PDA [17] où l'action était discrète MND-dicrète, MD-composée).
- Dépendance : les sous-tâches correspondent à des commandes distinctes qui n'impliquent pas de fusion. Les sous-tâches sont donc indépendantes bien qu'elles concourent à une tâche commune.

3.2.2 Editeur de dessin [22]

Dans [22], une surface bi-manuelle est créée en superposant un écran tactile au-dessus d'une tablette-PC. Deux tâches de dessin sont considérées pour l'interaction bi-manuelle.

Une première tâche de dessin est décomposée en deux sous-tâches, l'une de déplacement de la feuille de dessin par la MND, l'autre de dessin d'un trait par la MD. Cette tâche se rapproche de celle considérée précédemment, la MND fixant le contexte dans lequel la manipulation est faite par la MD [20]. Cette interaction

bi-manuelle a donc la même position dans notre espace 2M que le cas précédent.

Une autre tâche de dessin est décomposée en deux sous-tâches, l'une de sélection de la couleur dans la palette par la MND, l'autre de dessin d'un trait par la MD. Cette interaction bi-manuelle permet d'obtenir un trait multicolore. Au sein de notre espace, elle est caractérisée par :

- Temporalité : les sous-tâches sont effectuées de façon séquentielle mais aussi coïncidente, la sous-tâche de changements de couleurs par la MND étant effectuée pendant la réalisation de la sous-tâche de dessin du trait.
- Nature des actions : (MND-discrète, MD-composée).
- Dépendance : les sous-tâches correspondent à des commandes distinctes qui sont fusionnées au niveau sémantique pour obtenir un trait multicolore. Les deux sous-tâches sont donc dépendantes et leur fusion est effectuée au niveau sémantique. Ce cas correspond à l'interaction dans VoicePaint [12] où la couleur du trait était changée par la voix.

3.2.3 Toolglass

Une toolglass [4] est une surface transparente, sur laquelle sont disposés des outils (interacteurs) semi-transparents. La fenêtre de la toolglass est manipulée de la MND : elle est "attachée" à une trackball (ou tout autre périphérique échantillonnant des trajectoires planes) qui permet de déplacer la toolglass dans les deux dimensions du plan, afin de pouvoir superposer les outils qu'elle offre avec des objets de l'application situés en dessous. Ce système définit trois couches: le pointeur, manipulé avec la MD, la toolglass, portant les outils et contrôlée avec la MND et les objets de l'application en dessous. Pour utiliser un des interacteurs de la toolglass, l'utilisateur superpose l'outil à utiliser, l'objet à modifier et le pointeur.

Cette interaction bi-manuelle revient au premier cas étudié : la main non dominante fixe le contexte, tandis que la manipulation proprement dite est effectuée par la main dominante [20]. Cependant au niveau de notre espace 2M nous distinguons les deux cas au niveau de la dimension Dépendance :

- Temporalité : les sous-tâches sont effectuées de façon séquentielle, et parfois concomitante pour un utilisateur expert.
- Nature des actions : (MND-continue, MD-composée).
- Dépendance : les sous-tâches sont dépendantes et impliquent une fusion syntaxique. En effet tandis que le déplacement de la toolglass spécifie les paramètres de la commande (par exemple couleur et objet), celle-ci est déclenchée par la MD. Ce cas s'apparente à celui de l'interaction multimodale où l'utilisateur désigne une icône et énonce la commande vocale "détruire".

Il convient de noter que l'interaction bi-manuelle avec la toolglass et celle de l'éditeur de dessin du paragraphe précédent pour effectuer une même tâche comme le coloriage sont différentes car les sous-tâches affectées aux deux mains ne sont pas les mêmes. Dans le cas de l'éditeur de dessin [22], la MND sélectionne la couleur tandis que la MD désigne l'objet à colorier. Dans le cas de la toolglass, la MND déplace la palette de couleurs et spécifie ainsi la couleur et l'objet tandis que la MD déclenche la tâche.

3.2.4 Utilisation de touches spéciales

Dans les interfaces graphiques classiques, les utilisateurs experts ont naturellement évolué vers l'interaction bi-manuelle en

utilisant en même temps que la souris dans la MD, les raccourcis clavier (par exemple, Ctrl-C, Ctrl-X, Ctrl-V) dans la MND. Dans [16], le clavier comprend des touches dédiées pour un ensemble de raccourcis. De même dans [17], le PDA est utilisé pour afficher des boutons de raccourcis, sélectionnés par la MND.

La MND effectue une action discrète. En ne faisant aucune hypothèse sur le type d'action effectuée par la MD (discrète, continue ou composée), au sein de l'espace 2M, la caractérisation diffère selon les dimensions Dépendance et Temporalité en considérant deux rôles de la touche. (1) Si la touche a un rôle de modificateur comme Shift dans la sélection multiple, les deux sous-tâches sont dépendantes et leur fusion est du niveau lexical. De plus les sous-tâches sont effectuées de façon coïncidente. (2) Si la touche a un rôle de raccourci d'une sous-tâche fréquente, les valeurs selon les dimensions Dépendance et Temporalité dépendent de la tâche considérée. Par exemple selon la dimension Dépendance, les sous-tâches peuvent être (indépendantes, dépendantes avec fusion syntaxique, dépendantes avec fusion sémantique).

3.2.5 Interfaces palpables (Graspables)

Au sein des interfaces palpables (Graspable) [10] des objets physiques saisissables servent de dispositif d'entrée. La position et l'orientation de ces objets sont à tout instant connues du système. Comme la manipulation d'objets est plus directe et plus maniable, les interfaces palpables encouragent l'interaction bi-manuelle, la simultanéité des tâches et la collaboration. Le prototype Briques par exemple, utilise des briques « lego » de jouets d'enfant pour dessiner des formes géométriques simples. L'interaction bi-manuelle est exploitée lors de la création, la déformation et le placement de formes géométriques.

Au sein de l'espace 2M, ces interactions bi-manuelles se caractérisent par :

- Temporalité : les sous-tâches sont souvent effectuées de façon parallèle.
- Nature des actions : (MND-continue, MD-continue).
- Dépendance : les sous-tâches correspondent à des commandes distinctes qui n'impliquent pas de fusion. Les sous-tâches sont donc indépendantes bien qu'elles portent sur un objet commun.

En considérant plusieurs techniques d'interaction bi-manuelles existantes, outre l'illustration de l'espace 2M, nous avons démontré sa capacité de classification. Nous considérons maintenant l'apport de l'espace lors de la conception de techniques d'interaction.

3.3 Apport en conception

L'espace 2M par l'identification de traits caractéristiques permet une exploration systématique de l'espace des possibilités pour l'interaction bi-manuelle. Nous sommes en cours d'application des dimensions de l'espace pour la conception de techniques d'interaction bi-manuelles pour la manipulation de structures biologiques dans le cadre du projet NavGraphe. Comme nous exploitons la manipulation de jetons suivis par une caméra, les actions effectuées sont continues. Seul le fait de faire disparaître ou apparaître un jeton constitue une action discrète.

L'interaction bi-manuelle comme dans les interfaces palpables présentées dans [10], est déjà exploitée dans la version actuelle du système. Ainsi par la manipulation des deux jetons, le graphe d'ARN peut être zoomé, déplacé, ou tourné.

Nous envisageons le même type d'interaction bi-manuelle pour spécifier une zone de sélection du graphe comme le montre la Figure 11. Une zone contenant une partie d'un graphe pourrait alors être manipulée à deux mains comme un calque pour comparer des parties de graphes d'ARN. De plus la sélection d'une partie du graphe permettrait d'effectuer des tâches de regroupement (cluster). Par exemple en considérant deux sous-tâches, l'une de déplacement d'une zone de sélection avec la MND et l'autre de déclenchement du regroupement de la partie du graphe ainsi désignée, nous concevons une interaction bi-manuelle MND-continue, MD-continue. Pour cela, nous considérons le déplacement d'un jeton par la MD dans la zone de sélection déplacée par la MND. Ce type d'interaction correspond alors des sous-tâches dépendantes impliquant une fusion syntaxique. Une autre solution consiste à considérer une action composée sur la MD. Ainsi l'utilisateur exploite les deux jetons pour spécifier la zone de regroupement, et la MD cache un jeton (action discrète) pour déclencher le regroupement.

De nombreux cas identifiés par l'espace 2M restent encore à explorer dans le cadre de la conception du démonstrateur NavGraphe.

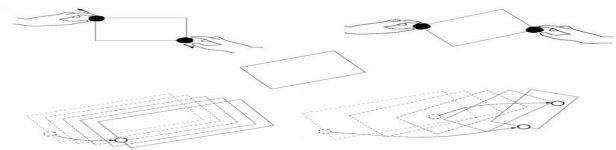


Figure 11 : Manipulation d'une zone de sélection avec les opérateurs translation, rotation et homothétie.

4. CONCLUSION

Nous sommes partis de l'observation que l'homme utilise efficacement au quotidien ses deux mains. Dans un contexte d'environnement informationnel mixte, nous avons cherché à intégrer les avantages du monde réel dans un monde. Dans ce but, nous avons présenté notre espace de conception 2M pour l'interaction bi-manuelle qui est issu de la capitalisation de plusieurs résultats en interaction multimodale et bi-manuelle. En considérant plusieurs systèmes existants, nous avons illustré la précision de la caractérisation d'une interaction bi-manuelle induite par l'espace 2M, mais aussi démontré sa capacité de classification. Nous sommes en cours d'exploitation de l'espace 2M pour la conception de techniques d'interaction pour la manipulation de graphes d'ARN projetés sur une table, les interactions bi-manuelles reposant sur le déplacement de jetons suivis par une caméra. L'espace 2M en conception nous incite à considérer de nombreux cas. Une perspective importante à nos travaux serait d'analyser la capacité d'évaluation prédictive de l'espace 2M : ainsi l'espace 2M outre l'identification d'éléments utiles à considérer en phase de conception permettrait de guider la conception de techniques d'interaction bi-manuelle dans un environnement informationnel mixte.

5. REMERCIEMENTS

Les travaux présentés dans cet article s'inscrivent dans le cadre de l'ACI Masse de Données NavGraphe. Les auteurs remercient Romain Boussard pour ses dessins et Nicolas Gandin auteur de la première version du démonstrateur NavGraphe.

6. REFERENCES

- [1] ALLEN J.. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals. *communication of the ACM*, 26(11), pp. 832-843, Novembre 1983
- [2] Auber D.. Tulip, a Visualization software for huge graphs. *GD'2001*, 2001.
- [3] BERARD F.. Vision par ordinateur pour l'interaction fortement couplée. *Thèse soutenue à Grenoble*, 1999.
- [4] BIER E., STONE M., FISHKIN K., BUXTON W., BAUDEL T.. A Taxonomy of See-Through Tools. *Readings in Human-computer interaction*, Morgan-Kaufman, pp. 358-364, 1994.
- [5] BOLT R.. Put That There: Voice and gesture Recognition at the graphics interface. *Computers Graphics*, , pp. 262-270, 1980.
- [6] BOURGEOIS F., GUIARD Y., BEAUDOUIN-LAFON M.. Pan-Zoom coordination in Multi-Scale Pointing. *Proceedings of CHI'2001*, pp. 157-158, 2001.
- [7] CADOZ C.. Le geste, canal de communication Homme-Machine. La communication instrumentale. *Technique et sciences de l'information (TSI)*, Hermès ed., vol 13, no.1, p. 31-61, 1994.
- [8] CARD, MORAN T., NEWELL A.. The psychology of Human-Computer Interaction. Lawrence Erlbaum Associates, 1983
- [9] DAASSI C., NIGAY L., FAUVET M.. Visualization Process of Temporal Data. *Dexa 2004*, pp. 914-924, 2004.
- [10] FITZMAURICE G., ISHII H., BUXTON W.. Bricks:Laying the Foundations for Graspable User Interfaces. *Proceedings of CHI'95*. P. 4, 1995.
- [11] FROHLICH D.. The Design Space of Interfaces, Multimedia Systems. *Interaction and Applications, 1st Eurographics Workshop*, Stockholm, Suède, Springer Verlag, pp. 53-69, 1991.
- [12] GOURDOL A., NIGAY L., SALBER D., COUTAZ J.. Two Case Studies of Software Architecture for Multimodal Interactive Systems: VoicePaint and a Voice-enabled Graphical Notebook. *Engineering for Human-Computer Interaction 92*, pp. 271-284, 1992.
- [13] Guiard Y.. Asymmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action: The Kinematic Chain as a Model. *Journal of Motor Behavior*, 19, pp. 486-517, 1987.
- [14] Kabbash P., Buxton W., Sellen A.. Two-Handed Input in a Compound Task. *Proceedings of CHI'94*, pp. 417-423, 1994.
- [15] MACKINLAY J., CARD S., ROBERTSON G.. A Semantic Analysis of the Design Space of Input Devices. *Human Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum, Vol. 5, No 2 & 3, pp. 145-190, 1990.
- [16] MCLOONE H., HINKLEY K., CUTRELL E.. Bimanual Interaction on the Microsoft Office Keyboard. *Interact 2003*, 2003.
- [17] MYERS B., KIN POU L., BO-CHIEF Y.. Two Handed Input Using a PDA And a Mouse. *Proceedings of CHI'00*, pp. 41-48, 2000.
- [18] NIGAY L.. Conception et modélisation logicielles des systèmes interactifs. *Thèse de l'université Joseph Fourier*, 1994.
- [19] NIGAY L., Coutaz J.. Espaces conceptuels pour l'interaction multimédia et multimodale. *Journal TSI, spécial Multimédia et Collecticiel*, AFCET & Hermès Publ. 15(9),96 pp., 1996.
- [20] SELLEN A., GUIARD Y., BUXTON W.. Two-Handed Input. *Human Input to Computer Systems: Theories, Techniques and Technology (unfinished book)*, chap 11.
- [21] VERNIER F.. La multimodalité en sortie et son application à la visualisation de grandes quantités d'information. Thèse de l'université Joseph Fourier, 2001.
- [22] YEE K.. Two-handed interaction on a Tablet Display. Conference on Human Factors in computing Systems. Vienna, Australia, pp. 1493-1496, 2004.
- [23] ZHAI S., SMITH S., SELKER T.. Improving Browsing Performance: A study of Four Input Devices for Scrolling and Pointing. *Proceedings of CHI'97*, pp. 286-292,