

Mémorisation de Commandes: Positions Spatiales versus Gestes Directionnels

Command Memorisation: Spatial Positions versus Directional Gestures

Bruno Fruchard
LTCl, Télécom ParisTech,
Université Paris-Saclay
Paris, France

Eric Lecolinet
LTCl, Télécom ParisTech,
Université Paris-Saclay
Paris, France

Olivier Chapuis
LRI, Univ. Paris-Sud, CNRS, Inria,
Université Paris-Saclay
Orsay, France

ABSTRACT

To execute a command, a user can make a selection in a menu using pointing actions, or, for example, use shortcuts such as gestures. To go faster, she can learn the positions to point or gestures to perform. In this paper, we present a study comparing learning of positions or directions to select commands. The results obtained reveal similar recall rates, with a slight advantage for positions. The qualitative results suggest an advantage of positions over directions for physical and mental demands. Finally, the study of memorization strategies developed by the subjects provides mnemonic methods that can be useful for designers and users.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **Gestural input**;

KEYWORDS

Memorization; spatial memory; pointing; gestures; command selection; user study.

RÉSUMÉ

Pour exécuter une commande, l'utilisateur peut effectuer une sélection dans un menu à l'aide d'actions de pointage, ou bien, par exemple, utiliser des raccourcis tels que des gestes. Pour aller plus vite, il peut apprendre les positions à pointer ou les gestes à exécuter. Nous présentons dans cet article une étude comparant l'apprentissage de positions et de directions pour sélectionner des commandes. Les résultats obtenus révèlent des taux de rappel similaires, avec un léger avantage pour les positions. Les résultats qualitatifs suggèrent un avantage des positions sur les gestes en ce qui concerne l'effort physique et cognitif. Finalement, l'étude des stratégies de mémorisation élaborées par les sujets fournit des méthodes mnémoriques pouvant être utiles aux designers et aux utilisateurs.

MOTS-CLEFS

Mémorisation ; mémoire spatiale ; pointage ; gestes ; sélection de commandes ; étude utilisateur.

1 INTRODUCTION

Pour utiliser les commandes proposées par une application, un utilisateur novice doit parcourir son interface en utilisant un mécanisme de *reconnaissance* visuelle. La position d'une commande dans un menu est donc d'une importance capitale pour pouvoir la mémoriser. Il a également été montré qu'une disposition hiérarchique des commandes facilitait leur mémorisation [7]. Une autre approche consiste à afficher toutes les commandes d'une application en même temps afin de faciliter l'exploitation de la mémoire *spatiale* [28, 29]. Cette stratégie semble permettre à un utilisateur de mémoriser les positions des commandes sur le long terme [25]. Des repères spatiaux peuvent aussi être ajoutés afin de faciliter l'apprentissage et d'obtenir de meilleures performances [32].

L'interaction gestuelle est une autre voie pour permettre aux utilisateurs d'activer rapidement des commandes. Mais ceci suppose que les utilisateurs soient capables de mémoriser facilement et durablement les associations entre les gestes et les commandes. La conception de gestes est un sujet qui a été vastement étudié dans la littérature [1, 4, 5, 19, 22, 35] mais la question de l'apprentissage a longtemps été un peu négligée, la plupart des études mettant plutôt l'accent sur la performance. Cette question a cependant connu un regain d'intérêt depuis quelques années [1, 3, 22, 24, 26–28].

Introduite par les Marking menus [19], une méthode efficace consiste à permettre un apprentissage implicite des gestes par la répétition. Un mode *mode novice* fournit à l'utilisateur un guide visuel qui montre les gestes à effectuer [5, 19]. Les gestes étant similaires en modes novice et *mode expert* (c.à.d. sans guide visuel), l'utilisateur apprend ce dernier par répétition du mode novice [2, 12, 19]. Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a précisément étudié si l'apprentissage de *positions spatiales* présenterait les mêmes caractéristiques que celui de *gestes directionnels* et donc, si l'une de ces techniques présenterait un avantage sur l'autre. Nous présentons dans cet article une étude qui effectue justement cette comparaison.

L'apprentissage de positions spatiales repose, par définition, sur la *mémoire spatiale*, dont maintes études ont montré l'efficacité [8, 11, 16, 20, 28]. Le placement des commandes (et leurs positions relative) est donc particulièrement important dans ce cas de figure [10]. Il est à ce jour incertain si l'apprentissage de *directions* repose autant sur la mémoire *spatiale*, ou si d'autres composantes de la mémoire entrent en jeu. De plus, dans les deux cas, les mouvements induits par les actions de sélection sont également susceptibles d'exploiter la *mémoire musculaire* (ou procédurale) [30] ainsi que la *mémoire sémantique* [31]. Les gestes peuvent en effet être associés à des concepts (par exemple, plus/moins ou bien/mal à haut/bas)

ou des actions de la vie courante (tourner une page vers la gauche vs. vers la droite).

L'étude utilisateur présentée dans cet article s'est déroulée sur trois sessions sur une période d'une à deux semaines. Les participants avaient à mémoriser un ensemble de 16 commandes (sur un total de 32 commandes possibles), placées de manière hiérarchique dans des menus contenant 8 éléments, et ce pour chacune des deux modalités (*positions* ou *directions*).

Les résultats indiquent des performances élevées dans les deux cas avec 81.7% (directions) vs. 84.2% (positions) de sélections correctes à l'issue de la seconde session (24 heures après la première), et 53.6% (directions) vs. 57.1% (positions) à l'issue de la troisième session (une à deux semaines après la première). Les résultats obtenus sont donc similaires en ce qui concerne la mémorisation, avec un possible avantage (non significatif) des *positions*. Nous avons de plus constaté un certain nombre de différences intéressantes, détaillées dans la suite de l'article, et en particulier des résultats indiquant que les *positions* semblent demander moins d'attention aux participants et leur permettre d'apprendre les commandes plus rapidement. Les avis subjectifs des utilisateurs, recueillis dans un questionnaire, vont également dans le même sens. Notre étude montre enfin que les participants adoptent des stratégies similaires, comme rapporté récemment dans la littérature [15].

Nous présentons dans un premier temps un état de l'art qui se concentre sur l'apprentissage de commandes. Nous continuons avec la présentation des techniques d'interaction utilisées lors de notre étude utilisateur, puis la description de celle-ci. Nous discutons, pour finir, des résultats obtenus, et proposons des améliorations à apporter aux interfaces graphiques afin de favoriser l'utilisation de moyens mnémotechniques par les utilisateurs.

2 ETAT DE L'ART

Pointage. A l'aide du *pointage* (c'est-à-dire des gestes positionnels, ou déictiques), l'utilisateur peut sélectionner une commande en naviguant dans un menu linéaire. Pour favoriser sa mémoire *spatiale* et l'aider à retrouver la commande ultérieurement, plusieurs études [16, 28, 29] ont proposé d'utiliser des interfaces spatiales constantes dans le temps. Cette stratégie accélère le processus de sélection de commandes [28] et améliore la mémorisation sur le long terme [25]. Le placement de commandes sous forme de grille permet aussi l'utilisation d'un mode expert [17] permettant de déclencher des commandes plus rapidement sans avoir besoin de les afficher.

L'utilisation de *repères spatiaux* peut également améliorer l'apprentissage de positions spatiales, particulièrement si leur nombre est important [32]. Dans un environnement 3D, les repères spatiaux peuvent aussi servir à placer les commandes, ce qui s'avère particulièrement intéressant dans des contextes comme celui de la maison intelligente [24]. Ce type de technique peut offrir des performances élevées (mémorisation de 48 commandes en une seule session [24]). Ceci peut s'expliquer par l'aide apportée par les repères spatiaux combinée à d'autres formes de mémorisation relevant des moyens mnémotechniques (la méthode des loci [34]). La technique de *pointage* utilisée dans notre étude utilisateur s'appuie de ce fait sur des repères spatiaux pour aider l'utilisateur à mémoriser des commandes.

Gestes. Une fois que l'utilisateur a appris un ensemble de gestes, il peut les effectuer rapidement sans être guidé. Plusieurs études ont

montré un intérêt à mémoriser des gestes directionnels [3, 26], ainsi que leurs avantages par rapport aux raccourcis claviers [1]. Leur personnalisation par l'utilisateur peut aussi apporter un bénéfice [22]. Par ailleurs, l'effort demandé pour effectuer un geste peut contribuer à sa mémorisation [9], mais aussi gêner l'utilisateur s'il est difficile à reproduire.

Un avantage notable des *Marking menus* [19] est qu'ils reposent sur des mouvements directionnels simples. La technique d'interaction gestuelle évaluée dans cet article s'inspire fortement des *Simple menus* [35], une variante des *Marking menus* qui utilise des sélections successives pour naviguer dans une hiérarchie de menus circulaires.

Malgré les avantages certains du *pointage* et des *gestes directionnels* pour la mémorisation de commandes, peu d'études se sont intéressées à les comparer jusqu'à présent à part dans [24]. Cette étude a montré des performances supérieures avec une technique utilisant le *pointage* mais dans un contexte spécifique : dans un environnement 3D et en utilisant des moyens mnémotechniques (méthode des loci [34]) dans le cas du *pointage*, ce qui ne permettait pas d'évaluer l'effet spécifique à chaque facteur. Dans cet article nous comparons ces modalités sans donner d'autres aides aux utilisateurs, contrairement à [24] ou encore [15]. Nous souhaitons ainsi évaluer si la mémoire *spatiale* favorisée par l'apprentissage de *positions* amène réellement à de meilleures performances que l'apprentissage de *directions*.

3 TECHNIQUES D'INTERACTION ET CONTEXTE

Pointage. Habituellement, l'utilisateur peut sélectionner des commandes à l'aide du *pointage* en cliquant sur des icônes dans des barres d'outils ou en parcourant des menus linéaires. Pour mieux mettre à profit la mémoire spatiale, nous proposons une technique d'interaction inspirée de [17, 28] qui associe à chaque commande une position unique dans l'espace. Un menu est représenté par une zone rectangulaire (Figure 1-a) dans laquelle sont contenues les commandes. Pour aider l'utilisateur à mémoriser, les commandes sont placées à côté de repères spatiaux [32] (c.à-d. les coins et les bords, Figure 1-b). Pour sélectionner une commande, l'utilisateur

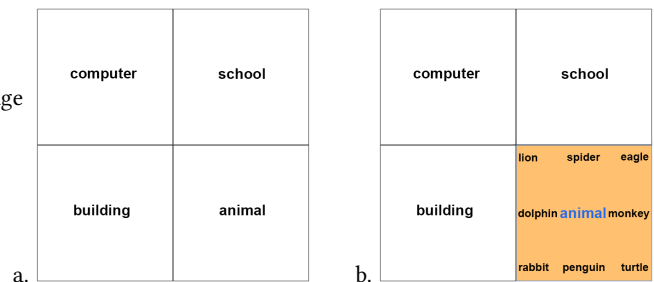


Figure 1: Représentation des menus et des commandes dans le cadre de sélections par du pointage en mode novice (le texte est grossi sur les illustrations pour être lisible). Chacun des quatre menus est représenté par une zone d'interaction (a). Quand un menu est sélectionné (ici le menu "animal"), les huit commandes qu'il contient sont affichées (b).

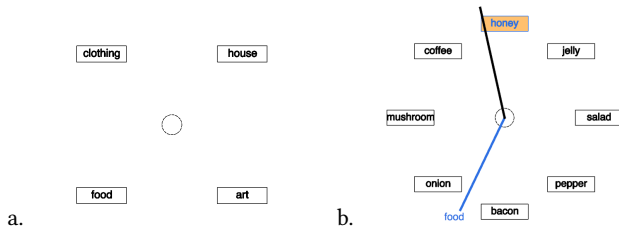


Figure 2: Représentation des menus et des commandes dans le cadre de sélections par des gestes directionnels en mode novice. Le geste est représenté par un trait noir, et un trait bleu représente la sélection valide d'un menu (b).

doit sélectionner un menu en pointant à l'intérieur de sa zone d'interaction, puis pointer sur la commande ciblée.

Pour visualiser les commandes d'un menu, l'utilisateur doit avoir recourt au mode *novice*. Lorsque celui-ci est activé, les noms des menus apparaissent constamment au centre de leurs zones d'interaction (Figure 1-a). Quand un menu est sélectionné, la zone est peinte en orange et les commandes qu'il contient sont affichées le long des bords de sa zone (Figure 1-b). Une fois les positions des commandes connues, l'utilisateur n'a plus besoin de les voir affichées et peut utiliser le mode *expert*. Il peut alors sélectionner un menu de la même façon qu'en mode *novice*, et pointer à une position particulière de ce menu pour sélectionner une commande (la commande la plus proche est sélectionnée pour éviter les erreurs de pointage). Le mode *novice* se déclenche en restant appuyé pendant un délai d'une seconde sur un menu. Pour annuler la sélection d'un menu, l'utilisateur peut cliquer en dehors de sa zone d'interaction.

Gestes directionnels. Pour effectuer des gestes directionnels, nous avons développé une technique d'interaction fortement inspirée des *Simple menus* [36]. Cette variante des *Marking menus hiérarchiques* [19] a comme avantage de minimiser les erreurs de sélections [36]. De plus elle utilise un mécanisme de sélection en deux temps, la première pour le menu et la deuxième pour la commande, qui semble mieux adapté que les *Marking menus* pour la comparaison avec la technique de pointage décrite ci-dessus.

Le mode *novice* se déclenche en restant appuyé une seconde avant de commencer un geste, ce qui révèle les menus (Figure 2-a). L'utilisateur peut alors effectuer un geste (représenté par un trait noir, Figure 2-b) dans la direction d'un menu pour le sélectionner. Quand un menu est sélectionné, un trait bleu indique le geste utilisé pour le sélectionner (Figure 2-b). Effectuer un deuxième geste directionnel sélectionne une commande dans ce menu (Figure 2-b). En mode *expert* (c.à-d., les commandes sont invisibles), seuls les traits indiquant les gestes de l'utilisateur sont affichés. Pour annuler la sélection d'un menu, l'utilisateur doit effectuer un geste dont la longueur ne dépasse pas la limite indiquée par le cercle central sur la Figure 2.

Contexte. Nous avons développé ces techniques sur interface mobile pour forcer une interaction directe (c.à-d., pas d'utilisation de dispositif de pointage relatif comme une souris). Ce contexte permet de différencier plus nettement les mouvements utilisés pour sélectionner des positions et ceux pour sélectionner des directions, qui sont assez similaires quand ils sont effectués à l'aide d'une souris ou d'un pavé tactile.

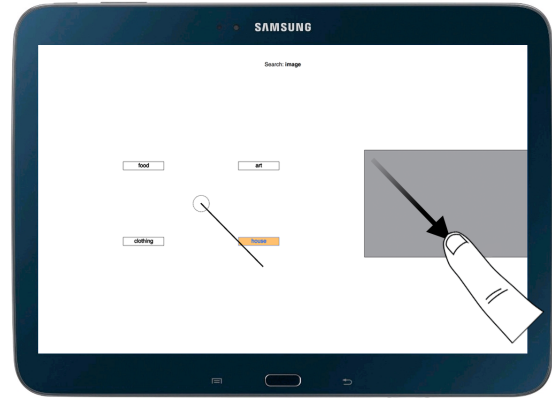


Figure 3: Exemple d'un geste effectué par l'utilisateur sur la zone d'interaction dédiée pour éviter l'occultation des commandes.

Ce type de contexte est sujet à l'occultation de l'information quand la main de l'utilisateur est au dessus de l'écran. Ce problème est particulièrement important dans le cas des gestes directionnels car l'utilisateur interagit en continu et il y a donc davantage de risque qu'il occulte les informations affichées sur l'écran. Pour éviter ce problème, l'utilisateur effectue les gestes directionnels dans une zone dédiée sur le côté du dispositif (Figure 3).

4 ETUDE UTILISATEURS

Nous présentons dans cette section une étude comparant la mémorisation d'ensembles de commandes par le biais des deux techniques d'interaction décrites précédemment (*Positions* et *Directions*, facteur TECH). Notre hypothèse principale de travail est que comme les *Positions* sont susceptibles de tirer davantage profit de la *mémoire spatiale*, elles devraient permettre d'obtenir de meilleurs résultats que les *Directions*.

Sujets. Nous avons analysé le comportement de 16 sujets (dont 6 femmes) âgés de 23 à 40 ans (moyenne = 28 ans) au cours de l'étude.

Appareil. L'expérience s'est déroulée sur une tablette Samsung Galaxy Tab Pro 10.1 avec un écran mesurant 13.6 × 21.8cm.

Sessions d'évaluation. L'expérience est découpée en trois sessions étalées sur une à deux semaines (moyenne = 9.33 ± 2.79 jours). Chaque session est composée de phases d'apprentissage et de phases de rappel (Figure 4). La première session est composée de 3 paires de phases d'apprentissage et de rappel pour évaluer la mémoire à *moyen terme* (A1-R1, A2-R2, A3-R3). La deuxième session, un jour

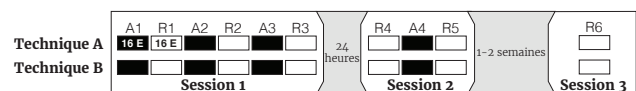


Figure 4: Protocole expérimental de l'étude : les trois sessions se déroulent sur une à deux semaines avec des phases d'apprentissage (A) et de rappel (R) composées de 16 essais chacune.

ANIMALS	rabbit, eagle, lion, monkey penguin, dolphin, spider, turtle	ART	color, image, design, model painting, brightness, sculpture, realism
BUILDING	station, castle, hotel, prison mansion, garage, temple, villa	COMPUTER	command, format, data, network hardware, login, browser, keyboard
CLOTHING	costume, fasion, pocket, jersey garment, turban, sweater, hangbag	HOUSE	table, garden, mirror, bedroom sofa, pillow, carpet, laundry
FOOD	coffee, honey, pepper, bacon jelly, salad, onion, mushroom	SCHOOL	answer, lesson, teacher, student textbook, blackboard, exam, homework

Figure 5: Les deux ensembles de catégories de commandes utilisés au cours de l'étude. Les commandes en gras devaient être mémorisées par les sujets.

après, commence par une phase de rappel (R4) pour évaluer la rétention d'information des utilisateurs, suivie par une paire (A4-R5) pour renforcer leurs connaissances. Enfin, une troisième session composée d'une seule phase de rappel (R6), une à deux semaines plus tard permet l'évaluation de la mémoire à long terme (seul un sujet n'a pas pu faire cette dernière session).

Pendant les phases d'*apprentissage*, les sujets doivent mémoriser la façon dont ils sélectionnent les commandes. Ces phases commencent en *mode expert* (les commandes n'apparaissent pas) en laissant la possibilité aux utilisateurs de déclencher le *mode novice*. Ainsi les sujets se rappelant de la sélection à effectuer n'ont pas besoin d'afficher les commandes, ce qui nous permet d'évaluer la fréquence d'utilisation du *mode novice*. Utiliser un long délai (une seconde) pour déclencher le *mode novice* assure que les participants l'ont délibérément déclenché, et qu'ainsi ils ne pouvaient pas se souvenir de la position de la commande ou qu'ils avaient besoin de vérifier. Pendant les phases de *rappel* cependant, seulement le *mode expert* est disponible, forçant les sujets à se rappeler des sélections précédemment mémorisées.

Le sujet doit appuyer sur un bouton au centre de l'écran pour commencer un essai. Le nom de la commande à sélectionner est alors affiché en haut de l'écran (Figure 3). Il est demandé aux sujets de mémoriser le maximum de commandes possible. Pendant les essais en phases d'*apprentissage*, un retour sonore est joué après la sélection d'une commande pour indiquer la validité de celle-ci. Dans le cas d'une mauvaise sélection, le *mode novice* est déclenché automatiquement et le sujet est forcé de sélectionner la bonne commande. Pendant les phases de *rappel*, le sujet ne peut sélectionner qu'une seule commande et aucun son n'est joué à la sélection. A la fin de chaque phase de rappel, les taux de rappels obtenus précédemment sont révélés aux sujets pour les informer de leurs performances.

Protocole expérimental. Nous utilisons un protocole intra-sujets pour comparer les deux techniques d'interaction. Toutes les phases d'une session sont effectuées les unes à la suite des autres en utilisant une technique d'interaction, puis la suivante (Figure 4). Avant de commencer les phases de la première session avec une technique, une phase de familiarisation composée de 8 essais utilisant un vocabulaire différent est effectuée par les participants afin qu'ils soient suffisamment accoutumés à la technique. Pour éviter un effet d'ordre entre les techniques, l'ordre de celles-ci est contrebalancé d'un sujet à l'autre.

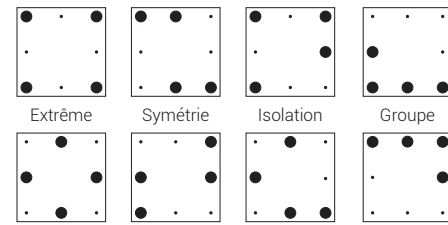


Figure 6: Positions des commandes à mémoriser dans les catégories. Chaque ligne était associée à l'une ou l'autre technique pour un sujet donné.

Catégories. Deux ensembles de quatre catégories de commandes ont été créés pour l'étude (Figure 5). Chaque ensemble est contrebalancé entre les techniques pour éviter un biais sur les performances des techniques qui soit lié à un des ensembles. Ces catégories étaient composées de 8 commandes chacune. Pour créer les catégories, nous avons choisis des mots fréquents de l'anglais¹, ne partageant pas les mêmes initiales. Pour chaque phase, la moitié des mots les plus fréquents de chaque catégorie doit être mémorisée. La position des catégories pour chaque technique est contrebalancée entre les sujets.

Positions des commandes. Comme les sujets n'ont à mémoriser que la moitié de chaque catégorie, nous utilisons des schémas particuliers pour positionner les commandes à mémoriser. Comme montré sur la Figure 6, les schémas utilisés sont complémentaires deux à deux. L'intérêt de ces schémas est de faire varier la proximité des commandes ciblées pour empêcher un effet non contrôlé de leurs positions sur les taux de rappel et d'évaluer l'avantage de cette proximité. Le reste des positions est utilisé pour afficher des commandes représentant des *distracteurs*. Chaque ligne de la Figure 6 représente un groupe de schémas associé à une des deux techniques pour un sujet donné.

Temps d'apprentissage. Le temps d'apprentissage ayant un effet important sur la mémorisation, nous avons décidé de le limiter pour tous les participants afin d'éviter des différences trop importantes. Pour ce faire, après le déclenchement du *mode novice* dans les phases d'apprentissage (ce mode ne peut pas être désactivé dans notre expérience), les commandes disparaissent petit à petit pendant un délai de 10 secondes jusqu'à devenir invisibles. Les sujets doivent donc mémoriser les commandes pendant ce laps de temps, après quoi le *mode expert* est le seul mode disponible. Un fois ce délai atteint, l'essai se termine quelle que soit la commande sélectionnée.

4.1 Résultats

En comparant les résultats obtenus par tous les sujets, il s'est avéré que les résultats du sujet 11 étaient anormalement différents (plus de 1.5 fois l'écart interquartile) sur les phases R1, R4, et R5, ainsi que très différents du reste des sujets sur la phase R6. Nous ne considérons donc pas les résultats obtenus par ce sujet dans les analyses présentées ci-dessous. Pour comparer deux ensembles de données nous utilisons dans ce qui suit des tests de rang signés de Wilcoxon [33]. Les intervalles de confiance sur les graphes représentent un taux de 95%.

¹liste de mots anglais fréquents https://en.wiktionary.org/wiki/Wiktionary:Frequency_lists#English

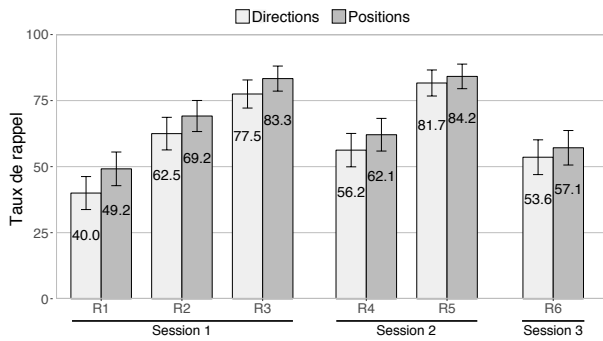


Figure 7: Taux de rappel par TECH au cours des trois sessions.

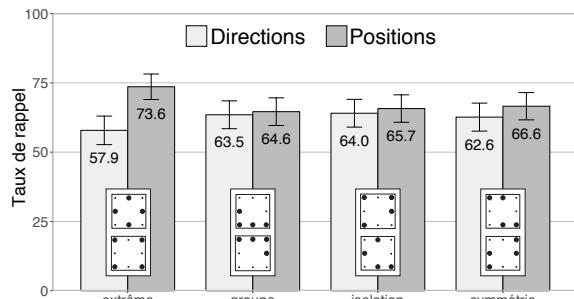


Figure 8: Taux de rappel obtenus en moyenne sur toutes les phases pour chaque schéma de positions de commandes par rapport à la TECH utilisée.

Taux de rappel. Les taux de rappels obtenus à l'aide des TECH sont représentés sur la Figure 7. Les performances sont assez élevées à la fin de la première session (R3) avec des taux de 77,5% pour les Directions et de 83,3% pour les Positions. Ils diminuent sensiblement après 24 heures (R4: 56,2% vs. 62,1%) mais restent ensuite assez stables (R6: 53,6% vs. 57,1%) après une période d'une à deux semaines. Ces résultats semblent indiquer un avantage des Positions, avec par exemple une amélioration de 10,5% et 6,5% en phases de rétention R4 et R6, mais les différences ne sont pas significatives ($p's > 0.1$ pour toutes les phases sauf R1 $p = 0.06$) du fait de la variabilité inter-participants.

Concernant les schémas utilisés pour positionner les commandes (Figure 8), dans le cas des Positions, les positions extrêmes (c.à.d., coins et bords) permettent d'obtenir des performances nettement supérieures (amélioration de 27,1%, $p < 0.001$), ce qui suggère d'utiliser des repères spatiaux éloignés et réguliers.

Temps d'apprentissage et d'exécution. Le temps est un facteur important pour l'apprentissage et la rétention d'information [2]. En comparant les temps d'affichage moyens des commandes lors des phases d'apprentissage pour chaque TECH, les Positions demandent un apprentissage plus court avec une différence variant entre 1.7s et 1.25s ($p's < 0.001$, Figure 9). Ce résultat semble indiquer que l'apprentissage des commandes se fait plus rapidement en encodant les positions spatiales en mémoire. Si on regarde maintenant les temps de réaction et d'exécution des deux TECH pendant les phases de rappel (Figure 10), les participants réagissent aussi vite pour les deux TECH ($\approx 2.4s$), mais les Positions permettent des sélections

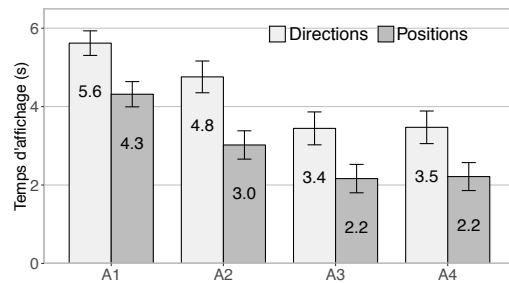


Figure 9: Temps d'affichage moyens des commandes lors des phases d'apprentissage pour chaque TECH.

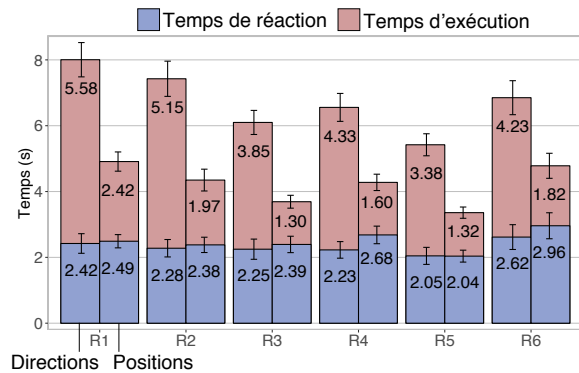


Figure 10: Temps de réaction et d'exécution moyens (différence entre le premier toucher et la fin de la tâche) lors des phases de rappel pour chaque TECH.

beaucoup plus rapides (différence entre 3.06s et 2.05s, $p's < 0.001$). Cette différence peut être interprétée de deux manières : les gestes de pointage sont plus rapides et/ou les participants accèdent plus rapidement à la position des commandes en mémoire.

Mode expert. Le choix était laissé aux sujets d'utiliser ou non le mode novice pendant les phases d'apprentissage. Une comparaison du taux de déclenchement du mode novice pour chaque TECH montre que les sujets y avaient moins recourt en utilisant les Positions que les Directions (72,5% d'activation contre 83,8% pour A2, 53,3% vs. 64,2% pour A3, et 55,8% vs. 66,7% pour A4 ; $p's < 0.01$). Ceci suggère que l'utilisation des Positions nécessite moins de répétitions pour encoder l'information en mémoire que les Directions.

Questionnaire. A la fin de la première session, les sujets devaient remplir un formulaire qui repose sur le modèle du NASA TLX [18]. Les échelles de Likert contenues dans ce questionnaire étaient paramétrées de 1 (très négatif) à 7 (très positif). Leurs résultats sont représentés sur la Figure 11. En plus de ces échelles, les sujets devaient indiquer s'ils avaient une préférence pour une des deux TECH et expliciter les stratégies élaborées au cours de l'expérience pour mémoriser. Les préférences étaient mitigées mais en faveur des Positions, avec 9 sujets préférant les utiliser et 5 pour les Directions (un sujet ne préférant aucune des deux techniques). L'analyse des résultats obtenus à l'aide des échelles de Likert suggère un avantage des Positions au niveau des charges cognitive ($p = 0.014$) et physique ($p = 0.014$), ainsi qu'une tendance pour leur confiance en leurs capacités de mémorisation ($p = 0.085$). Cette meilleure

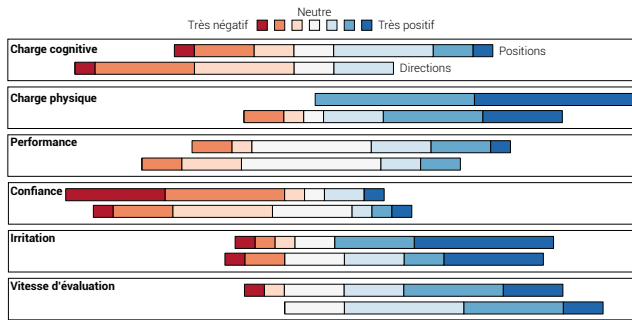


Figure 11: Réponses au questionnaire soumis aux sujets.

appréciation des *Positions* en matière d'efforts engendrés suggère que cette modalité est plus simple à manipuler que les *Directions*. Ce résultat explique en partie pourquoi les *Directions* amènent à des temps de complétion plus importants.

Stratégies. Nous avons catégorisé les stratégies décrites par les participants au cours du questionnaire et avons trouvé des similitudes. Tout d'abord, deux tiers des sujets (66.6%) ont décidé de grouper plusieurs commandes par rapport à leurs positions, ou leurs significations (p.ex. "the teacher is asking a student for an answer" P15). Cette première observation indique l'importance du positionnement des commandes dans une interfaces ainsi que leurs positions relatives [8]. Les positions des commandes sont d'autant plus importantes que 26.6% des sujets ont rapporté mémoriser les schémas formés par ces positions, sans avoir été informé de leur existence. Enfin, plus de la moitié des sujets (60%) ont rapporté mémoriser les commandes en utilisant leurs significations (p.ex., "l'aigle est en haut parce qu'il vole" P1 ou "bacon descend dans le ventre, donc en bas" P8).

5 DISCUSSION

Taux de rappel. Tout d'abord, les performances en terme de mémorisation sont assez élevées : 77,5% pour les *Directions* et 83,3% pour les *Positions* en fin de première session et plus de la moitié des commandes étaient retenues lors des phases de rétention R4 (24h après) et R6 (1 à 2 semaines après) avec des taux de 56.2% et 53.6% pour les *directions* et de 62.1% et 57.1% pour les *positions*. Il est intéressant de constater que dans les deux cas les performances restent assez stables entre les deux phases de rétention.

Du fait des variabilités individuelles ces différences ne sont pas significatives ($p's > 0.1$). On peut donc pour l'instant seulement conclure qu'aucune différence n'est observable entre les performances des deux conditions en terme de mémorisation. L'écart de performance entre les deux conditions, systématique pour toutes les phases de rappel, porte à penser qu'il existe un petit avantage pour les *Positions* mais ceci reste à confirmer. D'autres résultats détaillés ci-après vont également en ce sens.

Il est intéressant de souligner que les stratégies utilisées pour mémoriser étaient souvent similaires dans les deux cas (33.3% des sujets l'ont explicité), ce qui contribue vraisemblablement à la similarité des performances. Les avantages attribués à la mémoire spatiale semblent avoir également été mis à profit pour les *directions* si l'on en juge par ces stratégies (groupement de commandes, mémorisation des schémas des positions).

Repères spatiaux. En utilisant plusieurs schémas de positions de commandes (Figure 6), nous avons observé que les commandes placées dans les coins et sur les côtés obtenaient de meilleurs taux de rappel (amélioration de 27.1%, $p < 0.001$) pour les *positions* (voir le schéma "extrême"). Nous avons vérifié que ce résultat n'était pas dû à l'apprentissage d'une catégorie mieux qu'une autre. Il indique donc qu'un schéma régulier utilisant des repères spatiaux distincts peut aider l'utilisateur dans sa tâche de mémorisation, comme semble d'ailleurs l'indiquer d'autres études [8, 24, 32]. Ainsi, les moins bons taux de rappel obtenus avec les *directions* peuvent peut-être s'expliquer par le manque de repères spatiaux explicites inhérents à ce type de technique.

Avantages des positions. En comparant pour chaque condition les temps d'apprentissage et d'exécution, nous avons observé qu'utiliser des *positions* est plus rapide que des *directions* sur ces deux aspects (respectivement $\approx 1.5s$ et $\approx 2.6s$). Ce résultat est important car il suggère que l'encodage en mémoire des *positions spatiales* et que la récupération de cette information se font plus rapidement. Vient s'ajouter à ce résultat l'utilisation du mode *novice* qui était plus importante dans toutes les phases d'apprentissage en utilisant des *directions*. Les participants avaient donc besoin de voir les commandes moins souvent en mémorisant des *positions* que des *directions*. Enfin, les résultats du questionnaire suggèrent que les participants avaient besoin de fournir moins d'efforts pour mémoriser des *positions*. L'ensemble de ces observations suggère un bénéfice en faveur de l'apprentissage de *positions* relativement aux *directions*.

5.1 Pistes de Recherche et Suggestions

Groupement de Commandes. Nous avons observé que 66.6% des sujets formaient des groupes de commandes pour faciliter leur mémorisation. Cette méthode est connue [21] et a été observée dans d'autres études [6, 15, 24]. Il est intéressant de remarquer que les participants ont pour la plupart utilisé cette méthode, et ce sans qu'on ne donne d'indications suggérant de le faire. Pour permettre à tous les participants d'en profiter, les interfaces graphiques devraient mettre en évidence de petits groupes de commandes plutôt que de grandes catégories comme des listes composant des menus déroulants. Elles pourraient ainsi être représentées par paires, ou par groupe de 4 comme suggéré pour des tâches de mémorisation de chiffres [2, 21].

Sémantique. Les commandes utilisées au cours de notre étude faisaient référence, dans l'ensemble, à des concepts concrets (p.ex. des animaux, des végétaux). Ces concepts ont favorisé l'utilisation de la mémoire sémantique [31], comme l'ont rapporté 60% des participants. Cependant, quelques participants ont dit avoir eu plus de mal à mémoriser des concepts plus abstraits comme les catégories *computer* et *art* (ce qui n'est pas soutenu par nos résultats). Comme les commandes d'applications font en général référence à des concepts abstraits, une solution serait de faire apprendre ces commandes à des utilisateurs à l'aide de concepts plus concrets en utilisant par exemple des *mots d'amorce* [23]. Une autre solution serait d'aider les utilisateurs avec des images (p.ex. des icônes), mais leur aspect concret est difficile à juger, et cette approche s'est révélée plusieurs fois inefficace [15, 32].

6 CONCLUSION

Nous avons comparé dans cet article deux types d'interactions pour la mémorisation de commandes respectivement basés sur l'utilisation de gestes *positionnels* (pointage) ou *directionnels*. Le but de cette étude était d'évaluer si ces deux types de gestes très courants, dont l'apprentissage ne fait pas nécessairement appel aux mêmes composantes de la mémoire, présenteraient un avantage, ou des différences remarquables, l'un par rapport à l'autre.

Une étude effectuée en trois sessions sur un intervalle de une à deux semaines a montré, pour le *pointage*, un avantage en ce qui concerne la rapidité d'*apprentissage*, la rapidité de *rappel* et l'*effort* physique et cognitif induit. Les performances de mémorisation sont comparables mais l'étude suggère un possible avantage en faveur du *pointage* qui reste à confirmer. Cet avantage pourrait être exacerbé en utilisant plus de commandes (p.ex. par menu ou plus de menus), ce qui nécessite des études supplémentaires.

L'analyse du questionnaire rempli par les participants a permis de mettre en évidence l'utilisation spontanée de plusieurs stratégies comme le *groupement* de commandes ou l'utilisation de la *sémantique* pour faciliter la mémorisation. Ces stratégies semblent indiquer une utilisation efficace de la mémoire spatiale pour les deux types d'interaction.

Nous avons également proposé quelques pistes pour améliorer l'apprentissage d'interfaces graphiques par des utilisateurs novices, comme le groupement de commandes pour guider les utilisateurs à utiliser des stratégies de mémorisation efficaces, et l'association de commandes à des concepts concrets plus faciles à mémoriser. Le design de ce nouveau type d'interfaces utilisateur reste un problème complexe que nous aimerions investiguer dans des travaux futurs. De plus, notre étude suggère qu'utiliser des positions ou des directions est efficace pour mémoriser des commandes. La combinaison de ces modalités, bien que proposée dans la littérature [13, 35], mériterait d'être évaluée en matière d'apprentissage.

7 REMERCIEMENTS

Cette recherche a été partiellement financée par le Labex Digi-Cosme (ANR-11-LABEX-0045-DIGICOSME), géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du programme "Investissement d'Avenir" Idex Paris-Saclay (ANR-11-IDEX-0003-02).

Une version anglaise de cet article est à paraître dans [14].

REFERENCES

- [1] Caroline Appert and Shumin Zhai. 2009. Using Strokes As Command Shortcuts: Cognitive Benefits and Toolkit Support. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*. ACM, 2289–2298. [10.1145/1518701.1519052](https://doi.org/10.1145/1518701.1519052)
- [2] A.D. Baddeley. 2013. *Essentials of Human Memory (Classic Edition)*. Psychology Press, East Sussex, UK.
- [3] Gilles Bailly, Eric Lecolinet, and Laurence Nigay. 2008. Flower Menus: A New Type of Marking Menu with Large Menu Breadth, Within Groups and Efficient Expert Mode Memorization. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '08)*. ACM, 15–22. [10.1145/1385569.1385575](https://doi.org/10.1145/1385569.1385575)
- [4] Gilles Bailly, Eric Lecolinet, and Laurence Nigay. 2016. Visual Menu Techniques. *ACM Comput. Surv.* 49, 4, Article 60 (Dec. 2016), 41 pages. [10.1145/3002171](https://doi.org/10.1145/3002171)
- [5] Olivier Bau and Wendy E. Mackay. 2008. OctoPocus: A Dynamic Guide for Learning Gesture-based Command Sets. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '08)*. ACM, 37–46. [10.1145/1449715.1449724](https://doi.org/10.1145/1449715.1449724)
- [6] Joanna Bergstrom-Lehtovirta, Sebastian Boring, and Kasper Hornbæk. 2017. Placing and Recalling Virtual Items on the Skin. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, 1497–1507. [10.1145/3025453.3026030](https://doi.org/10.1145/3025453.3026030)
- [7] Gordon H. Bower, Michal C. Clark, Alan M. Lesgold, and David Winzenz. 1969. Hierarchical retrieval schemes in recall of categorized word lists. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 8, 3 (1969), 323–343. [10.1016/S0022-5371\(69\)80124-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(69)80124-6)
- [8] Marvin M Chun and Yuhong Jiang. 1998. Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive psychology* 36, 1 (1998), 28–71.
- [9] Andy Cockburn, Per Ola Kristensson, Jason Alexander, and Shumin Zhai. 2007. Hard Lessons: Effort-inducing Interfaces Benefit Spatial Learning. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)*. ACM, 1571–1580. [10.1145/1240624.1240863](https://doi.org/10.1145/1240624.1240863)
- [10] Christian F. Doeller and Neil Burgess. 2008. Distinct error-correcting and incidental learning of location relative to landmarks and boundaries. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 15 (2008), 5909–5914. [10.1073/pnas.0711433105](https://doi.org/10.1073/pnas.0711433105) arXiv:<http://www.pnas.org/content/105/15/5909.full.pdf>
- [11] Brian D. Ehret. 2002. Learning Where to Look: Location Learning in Graphical User Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '02)*. ACM, 211–218. [10.1145/503376.503414](https://doi.org/10.1145/503376.503414)
- [12] Peter A. Frensch and Dennis Rüniger. 2003. Implicit Learning. *Current Directions in Psychological Science* 12, 1 (2003), 13–18. [10.1111/1467-8721.01213](https://doi.org/10.1111/1467-8721.01213)
- [13] Bruno Fruchard, Eric Lecolinet, and Olivier Chapuis. 2017. MarkPad: Augmenting Touchpads for Command Selection. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, 5630–5642. [10.1145/3025453.3025486](https://doi.org/10.1145/3025453.3025486)
- [14] Bruno Fruchard, Eric Lecolinet, and Olivier Chapuis. 2018. How Memorizing Positions or Directions Affects Gesture Learning?. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '18)*. ACM, 8 pages. [10.1145/3279778.3279787](https://doi.org/10.1145/3279778.3279787) (to appear).
- [15] Bruno Fruchard, Eric Lecolinet, and Olivier Chapuis. 2018. Impact of Semantic Aids on Command Memorization for On-Body Interaction and Directional Gestures. In *Proceedings of the 2018 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '18)*. ACM, 14:1–14:9. [10.1145/3206505.3206524](https://doi.org/10.1145/3206505.3206524)
- [16] Carl Gutwin and Andy Cockburn. 2006. Improving List Revisitation with ListMaps. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '06)*. ACM, 396–403. [10.1145/1133265.1133347](https://doi.org/10.1145/1133265.1133347)
- [17] Carl Gutwin, Andy Cockburn, Joey Scarr, Sylvain Malacria, and Scott C. Olson. 2014. Faster Command Selection on Tablets with FastTap. In *Proceedings of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*. ACM, 2617–2626. [10.1145/2556288.2557136](https://doi.org/10.1145/2556288.2557136)
- [18] Sandra G. Hart and Lowell E. Staveland. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In *Human Mental Workload*, Peter A. Hancock and Najmedin Meshkati (Eds.). Advances in Psychology, Vol. 52. North-Holland, 139 – 183. [10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- [19] Gordon Kurtenbach and William Buxton. 1993. The Limits of Expert Performance Using Hierarchic Marking Menus. In *Proceedings of the INTERCHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems (INTERCHI '93)*. IOS Press, 482–487. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=164632.164977>
- [20] Jean M Mandler, Dale Seegmiller, and Jeanne Day. 1977. On the coding of spatial information. *Memory & Cognition* 5, 1 (1977), 10–16.
- [21] George A. Miller. 1956. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review* 63, 2 (1956), 81. [10.1037/h0043158](https://doi.org/10.1037/h0043158)
- [22] Miguel A. Nacenta, Yemliha Kamber, Yizhou Qiang, and Per Ola Kristensson. 2013. Memorability of Pre-designed and User-defined Gesture Sets. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, 1099–1108. [10.1145/2470654.2466142](https://doi.org/10.1145/2470654.2466142)
- [23] Allan Paivio. 1965. Abstractness, imagery, and meaningfulness in paired-associate learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 4, 1 (1965), 32 – 38. [10.1016/S0022-5371\(65\)80064-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(65)80064-0)
- [24] Simon T. Perrault, Eric Lecolinet, Yoann Pascal Bourse, Shengdong Zhao, and Yves Guiard. 2015. Physical Loci: Leveraging Spatial, Object and Semantic Memory for Command Selection. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*. ACM, 299–308. [10.1145/2702123.2702126](https://doi.org/10.1145/2702123.2702126)
- [25] George Robertson, Mary Czerwinski, Kevin Larson, Daniel C. Robbins, David Thiel, and Maarten van Dantzich. 1998. Data Mountain: Using Spatial Memory for Document Management. In *Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '98)*. ACM, 153–162. [10.1145/288392.288596](https://doi.org/10.1145/288392.288596)
- [26] Anne Roudaut, Gilles Bailly, Eric Lecolinet, and Laurence Nigay. 2009. Leaf Menus: Linear Menus with Stroke Shortcuts for Small Handheld Devices. In *Proceedings of the 12th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction: Part I (INTERACT '09)*. Springer-Verlag, 616–619. [10.1007/978-3-642-03655-2_69](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03655-2_69)
- [27] Vit Rusnak, Caroline Appert, Olivier Chapuis, and Emmanuel Pietriga. 2018. Designing Coherent Gesture Sets for Multi-scale Navigation on Tabletops. In *Proceedings of the 36th international conference on Human factors in computing systems (CHI '18)*. ACM, 142:1–142:12. [10.1145/3173574.3173716](https://doi.org/10.1145/3173574.3173716)

- [28] Joey Scarr, Andy Cockburn, Carl Gutwin, and Andrea Bunt. 2012. Improving Command Selection with CommandMaps. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*. ACM, 257–266. [10.1145/2207676.2207713](#)
- [29] Joey Scarr, Andy Cockburn, Carl Gutwin, and Sylvain Malacria. 2013. Testing the Robustness and Performance of Spatially Consistent Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, 3139–3148. [10.1145/2470654.2466430](#)
- [30] Richard A. Schmidt, Timothy Donald Lee, and others. 2005. *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Vol. 4. Human kinetics, Champaign, IL, USA.
- [31] Endel Tulving and others. 1972. Episodic and semantic memory. *Organization of memory* 1 (1972), 381–403.
- [32] Md. Sami Uddin, Carl Gutwin, and Andy Cockburn. 2017. The Effects of Artificial Landmarks on Learning and Performance in Spatial-Memory Interfaces. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, 3843–3855. [10.1145/3025453.3025497](#)
- [33] Frank Wilcoxon. 1945. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin* 1, 6 (1945), 80–83.
- [34] Frances Yates. 1992. *The Art of Memory*. Random House UK, London.
- [35] Shengdong Zhao, Maneesh Agrawala, and Ken Hinckley. 2006. Zone and Polygon Menus: Using Relative Position to Increase the Breadth of Multi-stroke Marking Menus. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*. ACM, 1077–1086. [10.1145/1124772.1124933](#)
- [36] Shengdong Zhao and Ravin Balakrishnan. 2004. Simple vs. Compound Mark Hierarchical Marking Menus. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '04)*. ACM, 33–42. [10.1145/1029632.1029639](#)