

Préférences et variabilité dans les tracés de formes simples

Claudie FAURE

UMR CNRS 5141 - GET ENST
46 rue Barrault, 75634 Paris cédex 13

cfaure@enst.fr

Résumé : *L'utilisation des commandes gestuelles en interaction homme-machine a motivé cette étude du geste graphique. Une base de formes simples tracées au stylo électronique a été enregistrée. Son analyse a pour but de repérer les gestes les plus faciles à produire et de prévoir la précision des tracés. Dans cette première analyse de la base, on s'est prioritairement intéressé à l'influence de la forme sur le geste et sur la qualité du geste en mesurant les directions de traçage. Les préférences observées sur les directions de départ des tracés diffèrent suivant le type de forme et l'on constate un effet des instructions données aux sujets sur les directions préférées dominantes. La précision des directions des segments des formes copiées diffère selon que les segments sont isolés ou en contexte et que la forme est fermée ou ouverte. On interprète ces résultats par une supériorité de la structure de la forme dans la planification du tracé de ses composantes.*

Mots-clés : Geste graphique - Copies - Formes - Variabilité - Directions préférées - Ductus.

1 Introduction

La reconnaissance des formes et l'interaction homme-machine se rencontrent sur le terrain des commandes gestuelles. Ces commandes peuvent être produites à l'aide d'un sylet avec lequel l'utilisateur trace une forme qui sera interprétée comme une commande. Elles se substituent à des menus fixes (barres d'icônes ou menus déroulants par exemple). Le fort intérêt pour ce style d'interaction est dû à sa pertinence pour répondre aux besoins créés par l'interaction avec les petits dispositifs sans clavier (type PDA) et les tableaux augmentés.

L'importance accordée à la spécificité de chaque utilisateur, conduit à rendre les systèmes interactifs adaptables ou adaptatifs, mais il faut garder à l'esprit que que si tous les êtres humains sont différents, ils se ressemblent aussi. Le geste graphique, de même que la perception, présente des propriétés partagées par les êtres humains. L'apprentissage sur de grandes bases de données a prouvé son efficacité en reconnaissance des formes pour faire émerger ce qui est caractéristique des productions humaines (parole, écrit) pour le plus grand nombre d'individus. Une autre voie pour acquérir des connaissances sur les productions humaines est la démarche expérimentale qui permet de vérifier des hypothèses de régularité sur des données produites par des sujets.

Dans les systèmes interactifs, le choix des commandes gestuelles est généralement fait par les concepteurs. Ce choix pose problème ainsi que leur reconnaissance automatisée. L'étude présentée est une analyse du geste graphique produit par des sujets recevant l'instruction de créer des commandes gestuelles puis de les copier. L'objectif était d'apporter des connaissances sur le choix et le tracé de formes simples dans le but d'aider la définition des commandes gestuelles et leur reconnaissance. Dans cette première analyse des données enregistrées, on s'est prioritairement intéressé à l'influence de la forme sur le geste et sur la qualité du geste. Les mesures portent sur les préférences directionnelles au départ des tracés et la variabilité des tracés qui est évaluée par la précision des directions des segments copiés.

La section 2 décrit les conditions dans lesquelles la base de données a été construite. La section 3 précise la manière dont les mesures de direction ont été faites. La section 4 porte sur l'analyse des directions de départ et la section 5 sur le changement de ductus entre différentes productions de la même forme. La section 6 concerne la variabilité des tracés des composantes de la forme en fonction du type de forme.

2 Acquisition des données

Les données ont été acquises avec comme matériel un ordinateur portable équipé d'un stylo électronique *Wacom* et d'une petite tablette *Graphire*. Le logiciel d'acquisition a été réalisé en JAVA et comprend plusieurs écrans spécialisés. Les divers écrans permettent l'affichage des instructions, l'entraînement des sujets, l'acquisition des données et la visualisation des tracés que le sujet produit au cours de l'expérience pour répondre aux instructions. Les interfaces d'entraînement et d'acquisition ont été réalisées en deux versions : pour droitiers et pour gauchers.

Les sujets reçoivent comme instruction de produire des formes simples qui pourraient être des commandes gestuelles, ils reçoivent une explication qui définit les commandes gestuelles (même s'ils savent de quoi il s'agit) mais aucun exemple visuel ne leur est fourni. On insiste sur le fait que ces formes simples doivent être faciles à tracer, à mémoriser et à reproduire. Les sujets s'entraînent d'abord à manipuler le stylo électronique sur la tablette. Ils doivent atteindre et cliquer sur les boutons de l'interface et produire des tracés libres qui sont

visualisés dans une zone de saisie, blanche, qui occupe une surface carrée de l'écran de 7,2 cm de côté. Quand ils estiment avoir maîtrisé le dispositif, ils peuvent commencer la phase 1 de la tâche qui consiste à produire quinze formes simples, toutes différentes, dans une zone de saisie identique à celle visualisée lors de l'entraînement. Ces formes ne peuvent être dessinées qu'en un seul tracé (pas de lever de stylo). Les instructions spécifient cette contrainte et elle est aussi imposée par le logiciel : un second poser de stylo dans une zone de saisie efface le tracé précédent. La phase 2 consiste à copier les formes créées en phase 1. Deux zones, de la taille de la zone de saisie précédente, sont visualisées côte à côte. Dans la première, une forme réalisée pendant la phase 1 est affichée, c'est le modèle que le sujet doit reproduire dans la seconde zone. L'effacement d'un premier tracé par un second poser de stylo n'est pas programmé, de sorte qu'il est possible de produire une copie en plusieurs tracés (mais les sujets n'en sont pas informés). Les formes à copier sont affichées de manière aléatoire. Chaque forme est présentée deux fois, soit trente copies enregistrées par sujet.

Les sujets sont au nombre de 47, tous droitiers, soit en tout 47 (sujets) x 15 (formes) x 3 (réalisations) = 2115 formes enregistrées. Le nombre de gauchers est actuellement trop faible pour des études statistiques.

3 Mesures

L'analyse des données recueillies repose essentiellement sur les mesures des directions des tracés. Ces mesures ont été faites avec l'aide d'un logiciel interactif développé en JAVA pour cette étude.

La direction d'un segment est une valeur entre 0° et 360° , c'est l'angle entre l'axe horizontal Ox et le segment, mesuré dans le sens trigonométrique. Les extrémités des segments sont les entrées du module de calcul des directions. Leur localisation peut poser des problèmes. Les conventions suivantes sont adoptées :

- un segment est entre deux points extrême, un point extrême est une extrémité libre ou un point anguleux. De sorte que la mesure de la direction du segment ne tient pas compte d'une éventuelle courbure ou de fluctuations locales (voir des exemples sur la figure 1a et c),
- si l'angle est réalisé par une courbe, le point anguleux est le point de courbure maximale, voir la figure 1c,
- lorsque des segments se croisent, l'extrémité du segment est au croisement des segments, voir figure 1a,
- les "crochets" qui peuvent exister en début ou fin de tracé sont éliminés du segment, voir figure 1b.

Les conventions décrites ci-dessus ne s'appliquent pas aux formes composées de courbes (pour ces formes seules les directions de départ seront mesurées). La direction de départ d'une courbe est celle du segment qui joint les extrémités d'un petit arc de courbe qui commence au premier point du tracé. L'absence de règle stricte pour définir la fin de l'arc de courbe nous a conduit à faire plusieurs jeux de mesures. Nous avons ainsi vérifié que les variations entre ces jeux de mesures ne changeaient pas les résultats obtenus.

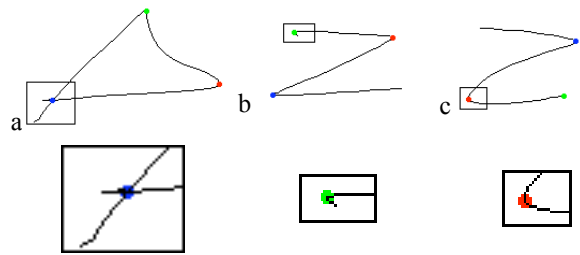


FIG. 1 - Application des conventions de mesures pour positionner les extrémités des segments

4 Directions de départ

Les directions de départ ont été largement étudiées par les psychologues spécialistes du geste graphique. L'ouvrage de Van Sommers [VSO 84] est une des références principales dans le domaine. Les résultats les plus marquants pour notre étude portent à la fois sur les directions préférentielles dans les tracés et le point de départ dans la production d'une forme. Certaines directions sont préférées à d'autres qui permettraient néanmoins d'obtenir le même résultat visuel. Une verticale, par exemple, est préférentiellement tracée de haut en bas et non de bas en haut. Les arguments donnés en graphomotricité pour expliquer ces phénomènes reposent sur les propriétés bio-mécaniques des effecteurs (muscles, articulations) qui entrent en jeu dans le geste de traçage. Tous les gestes ne sont pas aussi faciles à réaliser et les sujets choisissent ceux qui leur demandent le moins d'effort.

4.1 L'économie d'effort

Un premier objectif de cette étude était de vérifier si les tracés recueillis indiquaient des préférences pour les directions de départ et si les directions préférées dépendaient des formes tracées.

Les directions de départ sont mesurées sur les formes enregistrées durant la phase de création et de copie (à l'exclusion de celles qui se présentent comme des gribouillis denses), soit 2106 formes. La figure 2 représente l'histogramme obtenu en considérant les directions de départ de toutes les formes acquises. Il est visualisé de manière analogique, la valeur de l'histogramme pour une direction donnée est indiquée par la longueur d'un segment orienté dans cette direction. La valeur zéro de l'histogramme correspond au cercle le plus interne. Les cercles suivants correspondent à 10% de la valeur maximale de l'histogramme, puis 50%, puis 100%. L'histogramme comprend 36 classes, une direction d mesurée entre 0° et 360° est affectée à la classe n , $n \in [0, 35]$, si d est dans l'intervalle $[10n - 5, 10n + 4]$ pour $n \neq 0$ et à la classe $n = 0$ si : $355^\circ \leq d < 4^\circ$.

On constate que les directions de départ ne sont pas réparties uniformément. Deux secteurs angulaires correspondent à des valeurs inférieures à 10% de la valeur maximale de l'histogramme. Le secteur le plus important est situé au NW, il couvre l'intervalle $[95^\circ, 144^\circ]$. La graphomotricité explique le faible taux de réalisation de certains gestes et la préférence pour d'autres par la tendance du sujet à minimiser son effort.

On parlera donc de "secteur d'effort", par opposition aux secteurs de préférence, lorsque le nombre de réalisations qui y est observé est faible.

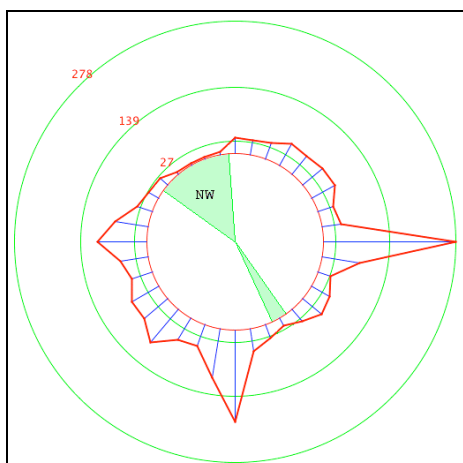


FIG. 2 - Histogramme des directions de départ mesurées sur toutes les formes

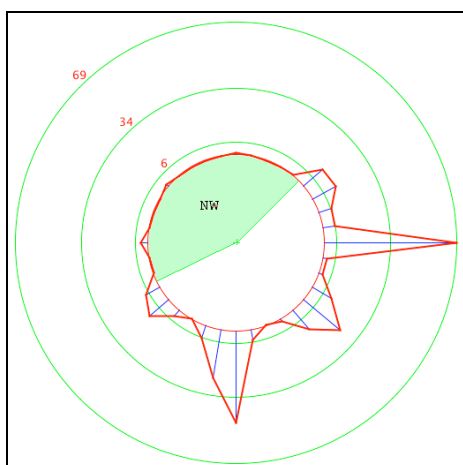


FIG. 3 - Histogramme des directions de départ mesurées sur les segments isolés

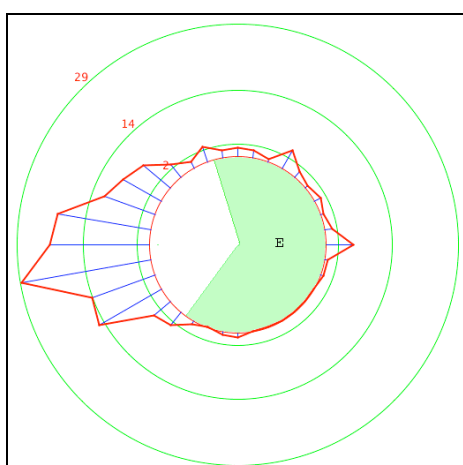


FIG. 4 - Histogramme des directions de départ des cercles, ellipses et spirales

En comparant l'histogramme de la figure 1 avec celui obtenu en ne considérant que les formes composées d'un segment isolé (figure 3), on constate que le secteur d'effort au NW est confirmé et s'est élargi, il couvre

l'intervalle $[45^\circ, 204^\circ]$. Par contre, les mesures des directions de départ sur des formes de type "cercloïdes" (cercle, ellipse et spirale) conduisent à un résultat contraire, le secteur d'effort NW a presque entièrement disparu (figure 4) pour laisser place à un secteur de forte préférence. On peut situer le secteur d'effort à l'Est entre 235° et 104° .

L'analyse des données enregistrées confirme des résultats établis en graphomotricité sur le tracé des segments de droite :

- la répartition des directions de traçage des segments n'est pas uniforme,
- le secteur NW est le secteur d'effort qui a la plus grande étendue angulaire,
- les tracés vers le bas et la droite sont préférés aux tracés vers le haut et la gauche,
- les "verticales" sont tracées de haut en bas (beaucoup plus de réalisations pour 270° que pour 90°).
- les "horizontales" sont préférentiellement tracées de gauche à droite (beaucoup plus de réalisations pour 0° que pour 180°).

Les études sur le tracé des cercles fait apparaître une forte préférence pour le sens anti-horaire qui se combine avec une préférence pour le point de départ du tracé. Van Sommers [VSO 84] met en évidence que les sujets commencent le tracé "entre 11h et 12 heures", suivant la taille du cercle. Le secteur d'effort des "cercloïdes" (figure 4) confirme l'effet combiné des préférences sur le point de départ et la direction de traçage.

Les secteurs d'effort correspondant aux directions de départ des tracés dépendent du type de forme tracée (segment de droite ou forme circulaire).

4.2 Les références mentales

En dehors du secteur d'effort, les directions préférentielles qui peuvent s'expliquer par un effort minimal ne font pas l'objet d'un consensus, voir [MEU 91] et [VIN 98] pour une discussion sur différents modèles proposés. La difficulté de cette question provient du fait que le système anatomique n'est pas le seul à intervenir dans la tâche réalisée par les sujets. Les psychologues multiplient les expériences en faisant varier les conditions expérimentales pour cerner les effets des différentes contributions (les retours visuels, la planification des gestes, les biais introduits par la perception ...) sur les réalisations.

Dans notre expérience, la tâche demandée aux sujets leur impose un effort important pour élaborer la forme à tracer. Ils doivent la choisir parmi de nombreuses possibilités en fonction des critères qui sont décrits dans les instructions. Cette liberté de choix est rare en graphomotricité où les sujets doivent surtout copier des formes prédéfinies par l'expérimentateur. Dans l'expérience menée par [VSO 82, p. 6], que nous appellerons EVS, ainsi que dans une des expériences de [MEU 91], les gestes produits ne sont pas des copies de formes visualisées. Nous avons pris ces deux expériences pour comparer les résultats observés dans notre expérience sur les directions préférentielles

dominantes dans le tracé de segments isolés (par la suite, HVDG fera référence à nos résultats).

Dans EVS, la tâche des sujets consiste à tracer des segments de droite dans toutes les directions possibles. Dans [MEU 91], les sujets doivent produire des mouvements d'aller-retour dans des directions de leur choix entre des points diamétralement opposés qu'ils positionnent sur un cercle qui est visualisé.

La comparaison des répartitions des directions des tracés obtenues dans EVS et HVDG (figure 3) montre un accord sur la position et l'étendue du secteur d'effort NW. Le tableau 1 indique les secteurs angulaires qui correspondent aux directions préférées dominantes (les pics des histogrammes). Un désaccord apparaît sur le nombre et la position de ces directions préférées.

Sur la figure 3, on constate cinq directions préférées dominantes (cinq pics dans l'histogramme). Les maxima de ces secteurs correspondent aux valeurs angulaires précisées dans le tableau 1. Les pics de directions préférées de EVS sont au nombre de trois. Les secteurs angulaires correspondants ne sont pas indiqués précisément dans l'ouvrage de référence, ils ont été mesurés sur la figure qui illustre la répartition des directions des tracés dans cet ouvrage.

HVDG	EVS	Huit directions cardinales
355°- 4°		0° : E (horizontale)
25° - 44°	20° - 45°	45° : NE (diagonale droite)
		90° : N (verticale)
		135° : NW (diagonale gauche)
		180° : W (horizontale)
215°-224°	220°-235°	225° : SW (diagonale droite)
265°-274°		270° : S (verticale)
315°-324°	280°-320°	315° : SE (diagonale gauche)

TAB. 1 - Les directions préférées pour le tracé des segments isolés comparées aux directions cardinales

La mise en correspondance des secteurs de forte préférence de HVDG et de EVS montre que l'accord le plus important a lieu au NE. On constate un chevauchement des secteurs pour les directions SW et SE. Le désaccord s'accroît quand on considère les directions E et S qui correspondent aux deux plus grands pics pour HVDG et à des vallées pour EVS.

Les pics de HVDG peuvent être mis en correspondance avec le sous ensemble des huit directions cardinales qui ne sont pas situées dans le secteur d'effort N-NW-W. Ces directions correspondent aux tracés :

- des verticales de haut en bas (S),
- des horizontales de gauche à droite (E),
- des diagonales droites (NE et SW)
- des diagonales gauches (SE).

On remarque que la correspondance n'est pas parfaite pour les diagonales NE et SW, les directions tracées sont inclinées vers l'horizontale. Cette tendance est contradictoire avec les mesures de précision faites par [BUI 03] où un rapprochement avec la verticale est observé. Les résultats de [MEU 91] incitent plutôt à rechercher une explication à l'inclinaison vers l'horizontale comme étant une conséquence de la

position de la tablette, sur la droite de l'ordinateur, qui oblige le sujet à ouvrir l'angle que fait son bras avec le bord gauche-droite de la table. En fixant l'angle que fait le bras des sujets avec la table, [MEU 91] observe en effet une inclinaison des tracés obliques NE et SW vers l'horizontale quand l'angle du bras passe de 30° à 60°.

Les pics bien distincts observés pour HVDG (figure 3) sont aussi présents dans [MEU 91]. Les correspondances avec les directions cardinales indiquent que les sujets choisissent en priorité la verticale et l'horizontale et, moins souvent, les bissectrices des angles formés par la verticale et l'horizontale. La répartition des directions préférentielles est très différente dans EVS. La question est de savoir pourquoi les sujets de EVS ne manifestent pas de préférences systématiques pour les directions cardinales. Ils reçoivent l'instruction de tracer des segments de droite dans n'importe quelle direction, l'élaboration de la forme est donc réduite au choix de sa direction (et non de sa forme).

Dans notre expérience, la nécessité d'élaborer la forme "segment de droite" préalablement à son tracé est plus complexe que le simple choix d'une direction. Les huit directions cardinales correspondent à des singularités angulaires faciles à évaluer par la perception. Sur le plan cognitif, la structuration de l'espace est dominée par les axes vertical et horizontal. Les bissectrices des angles qu'ils forment sont des axes de structuration secondaires. Ces axes secondaires illustrent la classe des obliques en se singularisant par l'égalité des angles qu'ils forment avec les axes principaux. Ces directions singulières, constituent des références mentales qui sont préférentiellement choisies par les sujets. Les segments orientés suivant les directions cardinales sont de meilleurs candidats pour illustrer la notion de *forme* que des segments de direction quelconque qui illustrent mieux la notion de *direction aléatoire*. Dans [MEU 91], le cercle visualisé et la consigne d'effectuer des mouvements suivant ses diamètres introduisent une référence géométrique qui peut expliquer le choix des huit directions cardinales singulières par opposition aux choix aléatoires de EVS.

Les préférences directionnelles pour le tracer de segments résultent des propriétés bio-mécaniques des effecteurs physiques mais aussi des tâches mentales d'élaboration de la forme et de planification du tracé.

5 Changement de ductus

Pour compléter l'étude des préférences directionnelles, on a exploité la base des dessins pour en extraire les copies qui diffèrent des modèles par un changement de ductus. On dispose ainsi de 69 copies, un nombre assez faible quand on le compare au nombre total de copies (1410). L'hypothèse à vérifier était : les changements de ductus sont dus à la recherche d'un geste de départ plus facile à exécuter. Les critères d'évaluation des changements de ductus prennent en compte les secteurs d'effort et les valeurs des histogrammes des directions de départ. Pour l'ensemble des 69 échantillons, on considère l'histogramme de la figure 2, obtenu à partir de l'ensemble des formes tracées. L'histogramme des

directions de départ des formes composées d'un ou plusieurs segments et celui des "cercloïdes" (figure 4) sont aussi considérés. Les secteurs d'effort dominants pour chacun de ces histogrammes sont précisés dans le tableau 2 ainsi que le nombre de couples création-copie pour lesquels ils servent de référence pour évaluer l'hypothèse.

Types de formes	Secteur d'effort dominant	Nombre de couples création-copie concernés
Tous	95° - 144°	69
Segments	95° - 174°	47
Cercloïdes	235° - 104°	7 (cercles)

TAB. 2 - Zones d'effort suivant le type de forme

On définit deux cas (A et B) pour lesquels on considère que le changement de ductus a pour conséquence de faciliter le geste de traçage et les deux cas opposés (C et D) pour lesquels le changement de ductus ne facilite pas le geste.

Cas A (/ cas C) : la création (/ la copie) est produite avec une direction de départ qui se situe dans au moins un secteur d'effort alors que la direction de départ de la copie (/ la création) est hors de tout secteur d'effort.

Cas B (/cas D) : les directions de départ de la création et la copie sont hors de tout secteur d'effort, la direction de départ de la copie (/ de la création) appartient à une classe de l'histogramme contenant plus d'échantillons que celle de la création (/ la copie).

Le nombre de cas rencontrés est indiqué sur le tableau 3. Les cas X sont indéterminés, ils correspondent à des conflits entre les critères d'évaluation.

On note une tendance à rechercher un geste de départ plus facile pour les sujets lorsqu'ils changent de ductus entre la création et la copie (41 cas A et B contre 25 cas C et D). Cette conclusion, obtenue à partir de 69 couples création-copie, incite à faire de nouvelles expériences pour la consolider, d'autant plus que dans [MEU 93], les sujets qui copient des suites de segments choisissent une direction préférentielle pour le dernier segment. Ce résultat est en effet confirmé par les trois cas C qui sont des formes composées de segments (les deux autres cas C sont des cercles).

cas A	cas B	cas C	cas D	cas X
9	32	5	20	3
41		25		

TAB. 3 - Effets du changement de ductus

6 Précision des copies

Les sujets produisent des copies qui ne sont pas strictement identiques à leur modèle. Chaque sujet possède sa propre évaluation de la qualité requise pour considérer que la forme tracée est une copie acceptable du modèle. L'appréciation de la qualité d'une copie est très variable chez les sujets. Certains se satisfont de copies de qualité médiocre. Alors que d'autres rejettent des copies, qui semblent de meilleure qualité, en utilisant

la commande d'effacement (voir des exemples sur la figure 5).

Nous avons testé des hypothèses liant la variabilité des tracés et le type de forme en nous limitant aux formes composées de segments. La variabilité est mesurée par la différence entre la direction d'un segment dans une copie et la direction du segment correspondant dans le modèle copié. On ne tient pas compte du sens du tracé pour cette mesure, ce qui revient à ne considérer que les variations visuelles.

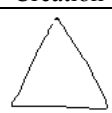
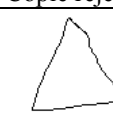
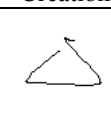



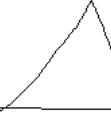




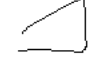
Création	Copie rejetée	Création	Copie acceptée
			
			
			

FIG. 5 - Des modèles créés et leurs copies rejetées ou acceptées par les sujets

6.1 Segments isolés et en contexte

Un segment isolé est une forme simple qui ne présente pas d'autres points particuliers que ses extrémités, il est entièrement déterminé par sa direction et sa longueur. Une forme comportant plusieurs segments est une organisation de composantes élémentaires (les segments). La question posée est de savoir s'il y a une différence de précision entre la copie d'un segment isolé et celle d'un segment qui compose une forme multi-segment. Par référence à la formule gestaltiste "une forme n'est pas la somme de ses parties", on peut supposer que le sujet ne copie pas "les segments qui composent la forme" mais "la forme composée de segments". Dans le cas des segments isolés, les deux tâches sont identiques.

On fait l'hypothèse que la variabilité observée sera plus grande pour les segments en contexte que pour les segments isolés dans la mesure où l'intention du sujet est de reproduire avec précision les caractéristiques structurelles de la forme au détriment d'une précision sur la copie de ses composantes. Dans le cas des segments isolés, les caractéristiques de la forme sont celles du seul segment qui la compose.

On compare donc la variabilité des directions des segments pour des formes comportant un seul segment avec celles qui en comportent plusieurs. On considère tous les segments isolés de la base de données pour mesurer les différences de direction, soit 198 couples création-copie. Les formes comportant plusieurs segments sont beaucoup plus nombreuses que les segments isolés. Pour équilibrer les populations des classes de formes comparées, le nombre de formes présentant plusieurs segments est limité à trois par sujet (le choix est fait en fonction de l'ordre dans lequel elles sont produites). On a finalement 268 couples création-

copie. Les mesures se font sur le premier segment tracé de la forme, ce qui impose que, pour chaque couple création-copie, le premier segment tracé dans la création et la copie soient les mêmes (pas de changement de ductus). Les écarts sont exprimés en degrés. Un écart positif (resp. négatif) correspond à une variation de direction du segment de la copie dans le sens anti-horaire (resp. horaire).

Les résultats sont résumés dans le tableau 4. Soit $V_i = 30,6$ la variance des écarts aux références des 198 copies de segments isolés et $V_c = 59,4$ celle des 268 copies de segments en contexte. Un test de Fisher ($\alpha = 0,001$) rejette l'égalité des variances. On accepte : $V_c > V_i$, la variabilité des directions est plus grande pour les segments en contexte que pour les segments isolés. L'hypothèse émise sur la précision des copies des segments est vérifiée.

Ecarts	Segments isolés (198 mesures)	Segments en contexte (268 mesures)
Moyenne	-1,27	-0,58
Variance	30,56	59,37

TAB. 4 - Ecarts des directions entre création et copie pour des segments isolés et en contexte

6.2 Formes ouvertes et fermées

Les formes composées de plusieurs segments peuvent être ouvertes ou fermées. La fermeture impose une contrainte sur le tracé qui doit se terminer dans le voisinage du point de départ. La question posée est de savoir si cette contrainte entraîne une différence de précision dans la copie des segments. On fait l'hypothèse que la variabilité des directions est plus grande pour les figures fermées que pour les figures ouvertes dans la mesure où le sujet peut avoir à modifier la direction des segments pour respecter la contrainte de fermeture, cet effet devrait être plus particulièrement observé pour le dernier tracé. On compare la précision des copies de segments entre figures ouvertes (59 formes) et figures fermées (58 formes).

Les mesures portent sur des différences de direction entre les trois premiers segments de la forme créée et les segments correspondants des copies. On a ainsi (59 formes x 3 segments x 2 copies =) 354 couples création-copie pour les formes ouvertes et (58 formes x 3 segments x 2 copies =) 348 couples création-copie pour les formes fermées. Le sens des tracés n'est pas pris en compte, seule la variabilité visuelle est considérée.

Ecarts	Fermées (348 mesures)			Ouvertes (354 mesures)		
	1	2	3	1	2	3
Moyenne	-0,18			0,99		
Variance	65,30	66,95	94,68	49,09	51,44	43,63
Variance globale	74,51			47,91		

TAB. 5: Ecarts des directions des segments entre création et copie pour les formes fermées et ouvertes

Les résultats sont résumés dans le tableau 5. Soit $V_f = 74,5$ la variance des écarts à la référence des directions

des segments pour les formes fermées et $V_o = 47,9$ celle des directions des segments pour les formes ouvertes. Un test de Fisher ($\alpha = 0,001$) permet de dire que $V_f > V_o$. La variabilité des directions est plus grande pour les formes fermées que pour les formes ouvertes. L'hypothèse émise est vérifiée. La différence entre les variances des écarts du segment 3 et celles des segments 1 et 2 n'est pas considérée comme significative (ce n'est qu'avec $\alpha > 0,1$ que l'hypothèse d'égalité des variances est rejetée par le test de Fisher).

7 Conclusion

Cette première analyse de la base de donnée enregistrée donne des indications sur le geste et la qualité du geste de traçage de formes simples. Les mesures de précisions des directions des segments, qui montrent l'influence de la forme sur la variabilité des tracés, peuvent être considérées comme des connaissances a priori pour la reconnaissance des commandes gestuelles.

Différentes exploitations de ces résultats peuvent être faites pour définir les commandes gestuelles. Par exemple, il faut éviter la zone d'effort pour la direction de départ si l'on veut faciliter le geste de l'utilisateur au démarrage du tracé. Mais si la direction de départ est utilisée comme une variable discriminante entre les commandes gestuelles et les données dessinées à main levée dans un éditeur graphique, on peut alors imposer que les commandes débutent par un geste produit dans le secteur d'effort. Les changements de ductus dans le tracé d'une commande peuvent être tolérés mais ils peuvent aussi correspondre à des commandes différentes, dans ce cas faciliter le tracé de la première ou de la dernière composante est conseillé. Il faut remarquer qu'un geste facile à réaliser en début de tracé est mieux adapté aux commandes incrémentales où le début du tracé est lui-même une commande, dans ce cas, le tracé le plus facile est toujours produit, quel que soit la suite du tracé.

8 Références

- [BUI 03] BUISSON M., SALLAGOITY I., ATHENES S., MERTZ C., De l'analyse du mouvement à la conception des interfaces : application à l'écriture et au geste. *Actes 15eme Conf. Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM)*, 2003.
- [MEU 91] MEULENBROEK R.G.J. and THOMASSEN A.J.W.M., Stroke-direction preferences in drawing and handwriting. *Human Movement Science 10*, 1991, pp. 247-270.
- [MEU 93] MEULENBROEK R.G.J. and THOMASSEN A.J.W.M., Exploitation of elasticity as a biomechanical property in the production of graphic stroke sequences. *Acta Psychologica 82*, North-Holland, 1993, pp. 313-327. North-Holland
- [VIN 98] VINTER A., GRAS P., Spatial features of angular drawing movements in Parkinsons disease patients. *Acta Psychologica 100*, 1998, pp. 17-193
- [VSO 84] VAN SOMMERS P., Drawing and cognition: Descriptive and experimental studies of graphic production processes. Cambridge: Cambridge University Press. 1984.