



**HAL**  
open science

## Espace et échelle : du mouvement dans les mondes électroniques

Yves Guiard

► **To cite this version:**

| Yves Guiard. Espace et échelle : du mouvement dans les mondes électroniques. 2005. hal-00003512

**HAL Id: hal-00003512**

**<https://hal.science/hal-00003512>**

Preprint submitted on 20 Jan 2005

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Espace et échelle : du mouvement dans les mondes électroniques

Responsable scientifique : Yves GUIARD

Yves GUIARD

Laboratoire Mouvement et Perception  
CNRS (UMR N° 6152) & Université de la  
Méditerranée (Aix-Marseille II)  
Faculté des sciences du sport, CP 910  
163, avenue de Luminy  
13288 Marseille cedex 9  
Tél. : 04 91 17 22 57  
E-mail : [guiard@laps.univ-mrs.fr](mailto:guiard@laps.univ-mrs.fr)

Sous-thèmes dont relève ce projet :

Étude de certains types d'espaces organisés (les espaces multi-échelles)  
Déplacements, itinéraires, parcours, navigation  
Mouvement, perception des objets dans l'espace  
Représentation de l'espace  
Espace, vision, images  
Coopération bimanuelle

## Équipes partenaires

• Université d'Aarhus

## Résumé Signalétique

Nous avons conçu et mis en œuvre une approche nouvelle du paradigme classique du pointage, dans laquelle nous faisons jouer un rôle central à la variable d'échelle en mettant à profit certaines analyses théoriques issues de l'interaction homme-machine (IHM). Un outil essentiel dans notre approche est le *diagramme espace-échelle* de Furnas et Bederson (1995) qui permet, dans une géométrie inédite, de représenter les variations d'échelle en même temps que les déplacements dans l'espace et grâce auquel nous avons entrepris d'analyser la cinématique de la navigation au sein des mondes électroniques multi-échelles (ou zoomables).

Les travaux rapportés dans ce document se développent autour de la frontière qui sépare le monde réel et les mondes d'information (ou mondes électroniques). Le monde réel dans lequel, depuis l'origine des temps, s'inscrivent nos mouvements est typiquement *dynamique* : il met en jeu la masse, la longueur et le temps. En revanche, les mondes d'information auxquels les humains ont affaire depuis deux décennies sont d'essence purement cinématique, en ce sens qu'ils ignorent typiquement la masse, et donc les contraintes de force, d'énergie et de puissance. C'est la nature cinématique des mondes d'information qui explique que leurs contenus soient « *rescalables* » — une propriété dont ne jouissent généralement pas les objets du monde réel, comme on le sait depuis Galilée.

Les avancées réalisées pendant les deux années du contrat peuvent se résumer en trois points.

- Nous avons élaboré une nouvelle conception du paradigme du pointage organisée autour des concepts d'échelle et de forme, et qui permet de résoudre certaines difficultés théoriques et méthodologiques inhérentes à l'approche classique, tout en ouvrant des directions de recherche prometteuses.
- Nous avons montré expérimentalement que la loi de Fitts, l'une des grandes lois de la psychologie expérimentale, se généralise au pointage multi-échelles, et nous avons réalisé la première étude expérimentale de la coordination espace-échelle dans le contexte des espaces d'information zoomables.
- Nous avons élaboré un modèle du pointage locomoteur expliquant pourquoi, dans le monde réel, le mouvement de pointage à grande échelle échappe à la loi de Fitts, et nous avons produit des données expérimentales à l'appui du modèle

**Mots-clés :** Espace • échelle • homothétie • rescalabilité • diagramme espace-échelle • pointage • loi de Fitts • mouvement humain • cinématique et dynamique • mondes d'information ou électroniques

**Nombre de participants :** Psychologie expérimentale : 4 ; Interaction homme-machine : 4

**Nombre total d'homme-mois :** 88

## Rappel des enjeux et objectifs fixés à l'origine

### Enjeux de société

Les ordinateurs colonisant progressivement tous les secteurs de l'activité humaine, nous passons une proportion croissante de notre temps à les utiliser. Obtenir que ces outils deviennent conviviaux, efficaces et sans risques pour la santé des utilisateurs, cela devient à l'évidence un enjeu de société de première importance.

Tous les efforts de l'interaction homme-machine (IHM), cette branche récente de l'informatique dont l'objet est de faire collaborer les sciences de la machine et les sciences de l'humain, convergent pour développer l'interactivité entre les machines et leurs utilisateurs, mais les interfaces graphiques de la technologie courante souffrent à l'heure actuelle d'un grave déséquilibre entre les entrées qui doivent exploiter les capacités d'expression motrice de l'utilisateur et les sorties qui doivent alimenter ses perceptions : en regard de la richesse du flux de sortie, un canal d'entrée qui se limite au clavier pour le texte et aux deux seuls DL de la souris pour les manipulations directes est, de l'avis de tous, trop pauvre. Aussi l'IHM investit-elle aujourd'hui beaucoup d'efforts de recherche pour enrichir la palette d'expression motrice offerte aux utilisateurs d'ordinateurs. Au multimédia des sorties vient répondre ce que les chercheurs en IHM appellent la multimodalité des entrées. On s'efforce en particulier d'identifier des synergies et des complémentarités entre des organes d'effection qui, normalement associés dans le comportement du monde réel, sont mal employés dans les interfaces courantes — notamment la main droite et la main gauche (Guiard, 1987). L'interfaçage d'entrée, qu'il s'agit d'adapter aux contraintes et aux possibilités de la motricité humaine, nous intéresse au premier chef dans ce projet.

### Objectifs scientifiques

La tâche que nous nous sommes assignés lors de la conception du présent projet était de soumettre un vieux paradigme de la psychologie expérimentale, celui du pointage, à l'épreuve des

nouvelles sciences et technologies de l'information. Cette confrontation nous apparaissait prometteuse pour deux raisons.

En premier lieu, nous percevions fort bien que certaines réalisations de la technologie — les mondes électroniques multi-échelles — offraient un défi particulièrement stimulant pour une étude proprement fondamentale du mouvement humain. Ces réalisations présentent la propriété d'offrir au mouvement un genre d'environnement dont les humains n'ont jamais eu l'expérience par le passé. La question de savoir ce qu'il advient des lois du mouvement dans des environnements de nature purement cinématique (sans contraintes de masse, de force, d'énergie ou de puissance), et dont les objets sont par conséquent librement rescalables, nous est apparue non seulement intellectuellement passionnante, mais encore scientifiquement opportune et urgente.

Ensuite, nous savions que l'IHM, qui bien sûr ne se contente pas de traiter son objet au seul plan de l'application, est aussi un gisement d'idées théoriques innovantes. Nous avons voulu montrer, en particulier, que l'approche associant dans une même géométrie les dimensions de l'espace et l'échelle, superbement illustrée par les diagrammes espace-échelle de Furnas et Bederson (1995), était susceptible de nous aider à ré-évaluer et peut-être à revivifier un paradigme de recherche vieux de cinquante ans et dans lequel on a toujours omis d'explicitier le facteur d'échelle.

Un second objectif explicitement identifié au départ était de progresser dans notre compréhension des principes de la division inter-manuelle du travail en nous limitant au cas du droitier du type majoritaire. L'interfaçage d'entrées de nos ordinateurs souffrant d'un déficit de DL, dans de nombreux cas la mobilisation d'une deuxième main est une solution évidente. La question posée est celle de la mise en correspondance des DL de la tâche (par exemple, un DL de zoom et deux DL de position) avec ceux du système d'effection humaine (par exemple, la main gauche et la main droite).

## Résumé des résultats effectivement atteints

Il serait bien difficile de distinguer dans ce bilan les apports respectifs des chercheurs originaires des sciences du mouvement et de l'IHM. Engagés dans une recherche à vocation fondamentale dont la mise en œuvre se satisfaisait pour l'instant des techniques standard de l'informatique, les uns et les autres ont réuni leurs efforts pour modéliser des problèmes, concevoir des expériences et discuter des données.

(1) Nous avons élaboré une nouvelle conception du paradigme du pointage organisée autour des concepts d'échelle et de forme, et qui permet de résoudre certaines difficultés de l'approche classique tout en ouvrant des directions de recherche prometteuses.

(2) Nous avons montré expérimentalement que la loi de Fitts, l'une des grandes lois de la psychologie expérimentale, se généralise au pointage multi-échelles, et réalisé la première étude expérimentale de la coordination espace-échelle dans des espaces zoomables.

(3) Nous avons élaboré et testé expérimentalement un modèle du pointage locomoteur expliquant pourquoi, dans le monde réel, le pointage à grande échelle échappe à la loi de Fitts.

(4) Nous avons montré que la partition du zoom et du pan entre les deux mains facilite les performances de navigation multi-échelles.

(5) Réexaminant des données de la littérature, nous nous sommes interrogés sur le concept de *difficulté* des mouvements, plus précisément sur la fonction liant l'effort subjectif à l'indice de difficulté  $ID = \log_2(2D/W)$ . Nous partons d'un paradoxe : dans les tâches de Fitts, les consignes standard de précision ne sont jamais respectées pour les  $ID$  les plus bas, pourtant censés correspondre aux conditions les plus « faciles ». Typiquement, en effet, la dispersion des pointages est très inférieure à celle que prescrit la largeur des cibles, ce qui va quasi-immensurablement de pair avec un score de 0 % d'erreur, non conforme

aux consignes. Ce paradoxe se dissout si l'on réalise que, dans une tâche où la consigne exige de minimiser le temps pour un pourcentage d'erreurs donné, des *ID* très bas poussent l'acteur vers ses limites supérieures de vitesse. Nous sommes amenés à conclure que la difficulté subjective d'un mouvement de pointage varie avec l'*ID* selon une fonction à optimum, en U. Au-delà de l'optimum, la difficulté subjective d'un mouvement croît linéairement avec l'*ID*, du fait de la croissance de la charge informa-

tionnelle; mais tout indique que cette difficulté subjective croît également lorsque l'*ID* descend *en dessous* de sa valeur optimale parce que la puissance physique mobilisée dans le mouvement augmente avec une non linéarité alarmante. En définitive, il faut faire intervenir deux dimensions de coût pour caractériser l'effort subjectif net associé à un mouvement : le *coût informationnel* du mouvement — que mesure fort bien l'*ID* — et son *coût énergétique* — que l'*ID*, par construction, ignore.

## Publications issues du projet

### Publications dans les périodiques et les actes à comité de lecture

- Guiard, Y. (1999). *LIHM aux yeux des sciences cognitives : Une image à renforcer*. Actes de IHM99, congrès annuel de l'Association francophone d'interaction homme-machine (pp. 41-46). Toulouse: Cépaduès-Éditions.
- Mottet, D., Guiard, Y., Bootsma, R. J., & Ferrand, T. (2001). Two-handed performance of a rhythmical Fitts task by individuals and dyads. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1275-1286.
- Guiard, Y. (2001). Disentangling relative from absolute movement amplitude in Fitts'law experiments. *Proceedings of CHI'2001, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 315-316). New York: ACM Press.
- MacKenzie, I.S. & Guiard, Y. (2001). The two-handed desk-top interface: Are we there yet? *Proceedings of CHI'2001, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 351-352). New York: ACM Press.
- Bourgeois, F., Guiard, Y. & Beaudouin-Lafon, M. (2001). Pan-zoom coordination in multi-scale pointing. *Proceedings of CHI'2001, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 157-158). New York: ACM Press.
- Guiard, Y., Bourgeois, F., Mottet, D. & Beaudouin-Lafon, M. (2001). Beyond the 10-bit barrier: Fitts'law in multi-scale electronic

worlds. *Proceedings of IHM-HCI 2001*. In A. Blandford, J. Vanderdonck, & P. Gray (Eds.), *People and Computers XV - Interactions without frontiers*, (pp. 573-587). London: Springer. [prix du meilleur article long de la conférence].

- Bourgeois, F., Guiard, Y. & Beaudouin-Lafon, M. (2002). Multi-scale pointing: Facilitating pan-zoom coordination. *CHI'2002, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (758-759)*. New York: ACM Press.
- Bourgeois, F. & Guiard, Y. (in press). Performance evaluation of one- and two-handed input devices in multi-scale pointing. *Current Psychology of Cognition*.

### Articles de valorisation

- Guiard, Y. (2000). Notes sur la loi d'échelle de Galilée dans ses rapports avec l'interaction homme-machine. *L'Interacteur*, bulletin périodique de l'Association francophone d'interaction homme-machine, 14, 5-6.
- Guiard, Y., Bourgeois, F., Mottet, D. & Beaudouin-Lafon, M. (2001). La psychologie expérimentale à l'épreuve des sciences et technologies de l'information: l'exemple de la loi de Fitts. *CNRS Info*, 390, février 2001, 19-20. <http://www.cnrs.fr/cw/fr/pres/>

