

Interaction Homme-Machine

Méthodes et Modèles de la Psychologie Expérimentale

Yves Guiard

Laboratoire de traitement et de
communication de l'information

TELECOM ParisTech

PLAN

1. Qu'est-ce que l'interaction homme-machine?
2. Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM
3. Loi de Fitts et facilitation du pointage
4. Modèle mathématique vs. théorie
 1. Fonction d'échange et loi du mouvement canalisé
 2. Pointage et loi de Fitts

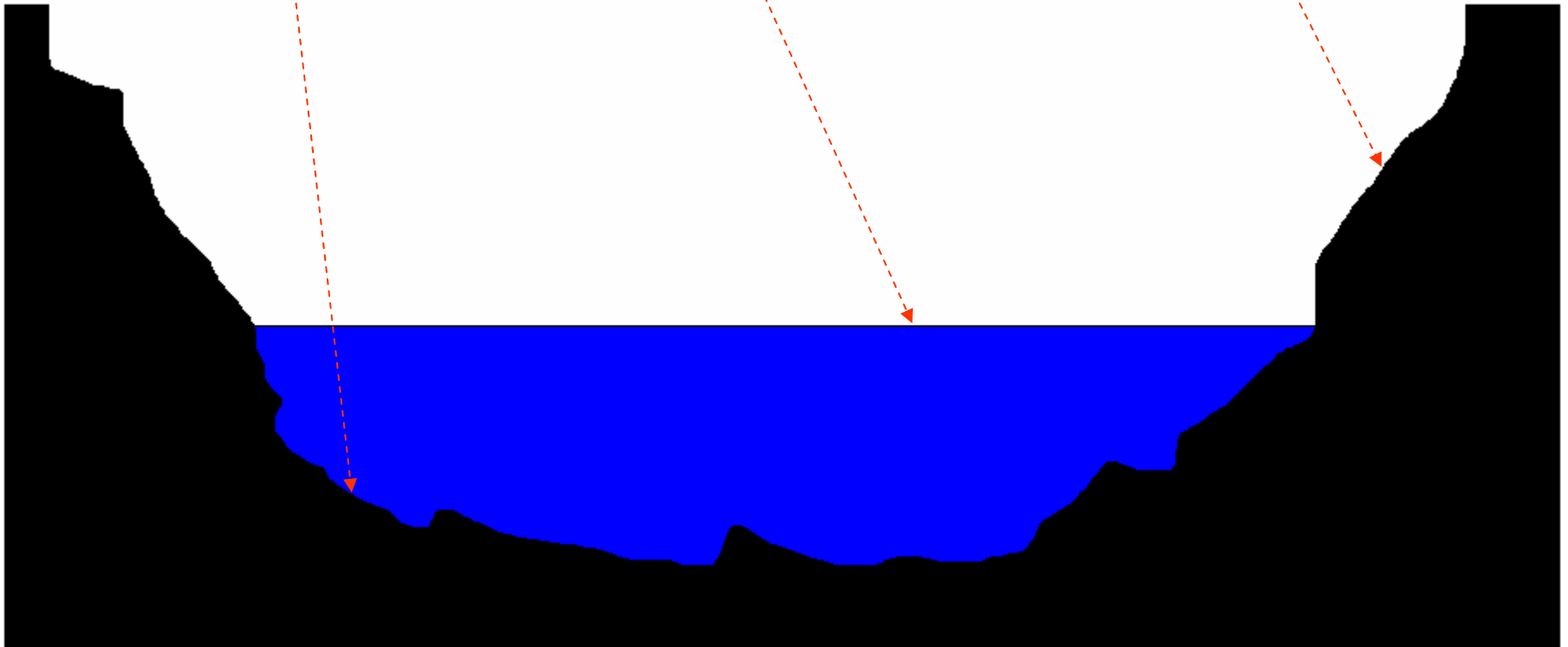
PLAN

- 1. Qu'est-ce que l'interaction homme-machine?**
2. Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM
3. Loi de Fitts et facilitation du pointage
4. Modèle mathématique vs. théorie
 1. Fonction d'échange et loi du mouvement canalisé
 2. Pointage et loi de Fitts

Gibson (1979) : Surfaces matérielles = **interfaces**

interface liquide/solide
interface solide/gaz

interface liquide/gaz



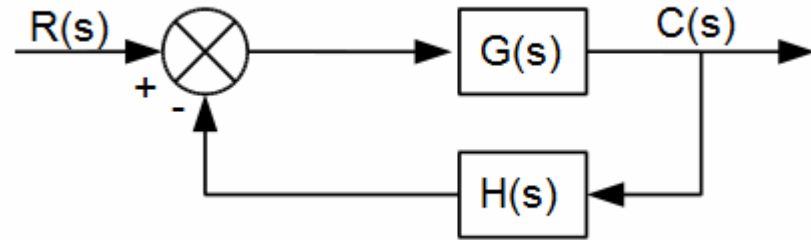
Problèmes d'appellation

- « l'IHM »
- « les IHM »
- *Human-computer interaction*

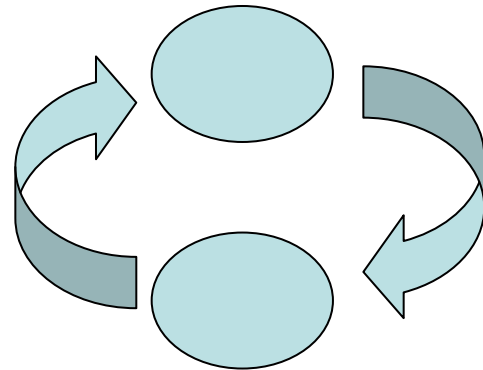
I = *Interfaces* = *Interaction* entrées-sorties

Machine? IHM ≠ ergonomie

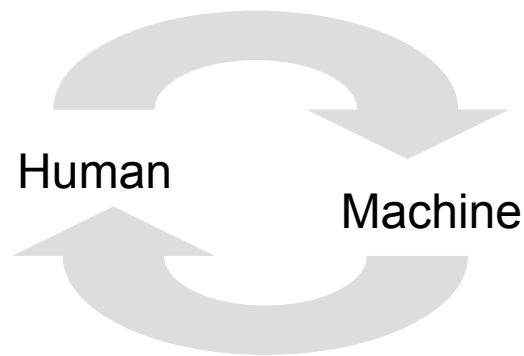
Rétroaction (feedback) = asymétrie



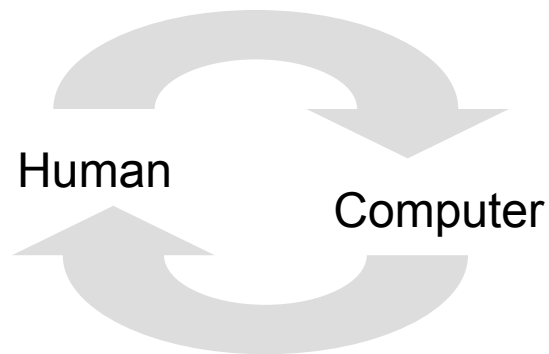
Interaction = symétrie



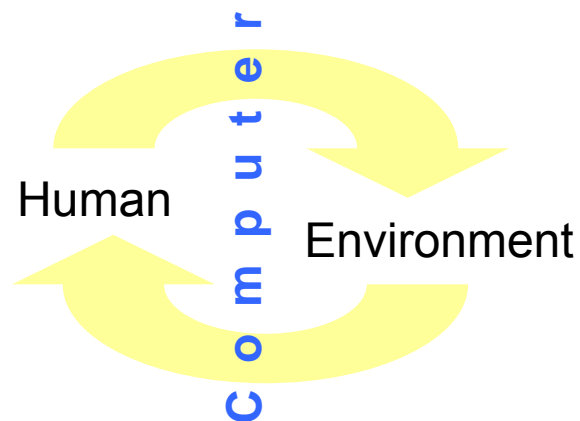
- *Interaction* = Le sujet central de la psychologie
interaction humain-environment = perception
+ cognition
+ action
- IHM: environnements de synthèse
Mondes “électroniques”
Mondes cinématique par opp. à dynamique



“*Human-machine*” interaction:
the subject of ergonomics



“*Human-computer*” interaction:
strong ergonomic connotation



Computer-mediated “*Human-environment*”
interaction: Interaction science

Especially interesting environments:

Other humans

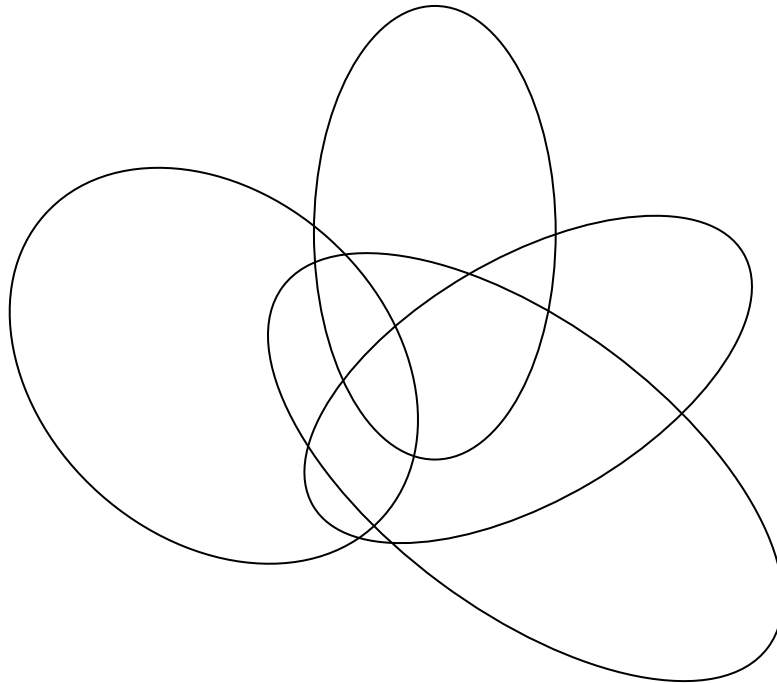
Augmented environments

Pure-information environments

The computer = a catalyst

IHM = intersection de l'informatique et des sciences humaines et sociales

- Multiples SHS
- Psychologie expérimentale vs. psychanalyse: l'affaire Sokal et les intellectuels 'postmodernes'



Pas n'importe quelle psychologie

Psychologie expérimentale vs. psychanalyse: l'affaire Sokal et les intellectuels 'postmodernes'

- Sokal, A. (1996). Transgressing the Boundaries: Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity, [Social Text](#) #46/47, pp. 217-252.
- Sokal, A. (1996). A Physicist Experiments with Cultural Studies. [Lingua Franca](#), pp. 62-64.
- Sokal, A. & Bricmont, J. (1997). *Impostures Intellectuelles*. Paris: [Éditions Odile Jacob](#).

Générateur de textes post-modernes

<http://www.elsewhere.org/cgi-bin/postmodern>

The Postmodernism Generator: Communications From Elsewhere

The Economy of Discourse: Structuralist neotextual theory and expressionism

Y. Jean-Jacques Bailey, Department of Sociology, Carnegie-Mellon University

Catherine A. Sargeant, Department of Ontology, Oxford University

1. Expressionism and the precultural paradigm of context

In the works of Tarantino, a predominant concept is the concept of capitalist culture. Structuralist neotextual theory suggests that academe is part of the rubicon of reality. In a sense, McElwaine[1] holds that the works of Tarantino are not postmodern. A number of situationisms concerning expressionism may be discovered. Thus, the subject is interpolated into a Derridaist reading that includes art as a reality. Many theories concerning a dialectic whole exist. However, Debord's critique of structuralist neotextual theory suggests that class has intrinsic meaning. The main theme of the works of Tarantino is not appropriation, but preappropriation. Therefore, Sontag suggests the use of the precultural paradigm of context to read culture.

2. Consensuses of absurdity

"Sexual identity is fundamentally impossible," says Bataille; however, according to Dietrich[2], it is not so much sexual identity that is fundamentally impossible, but rather the meaninglessness, and eventually the collapse, of sexual identity. The

IHM: recherche appliquée *et* fondamentale

Galilée, Pasteur, Fitts, Gibson

PLAN

1. Qu'est-ce que l'interaction homme-machine?
- 2. Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM**
3. Loi de Fitts et facilitation du pointage
4. Modèle mathématique vs. théorie
 1. Fonction d'échange et loi du mouvement canalisé
 2. Pointage et loi de Fitts

Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM

- 1) Identifier les variables et les niveaux de la mesure
- 2) Dissocier (dé-corréler) les variables indépendantes
- 3) Paradigme expérimental : réduire et opérationnaliser le problème
- 4) Procédure expérimentale: neutraliser les effets parasites

2.1 Variables et niveaux de la mesure

– Variables indépendantes (VI) ou facteurs vs. variables dépendantes (VD) ou mesures

Entrée (manipuler) et sortie (observer)

– Variables discrètes/continues

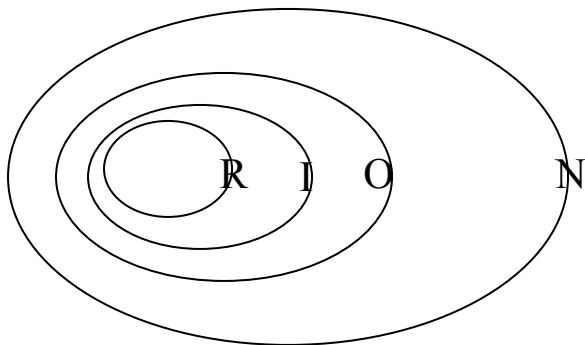
– Niveau de la mesure

Echelle nominale e.g., type de matériel...

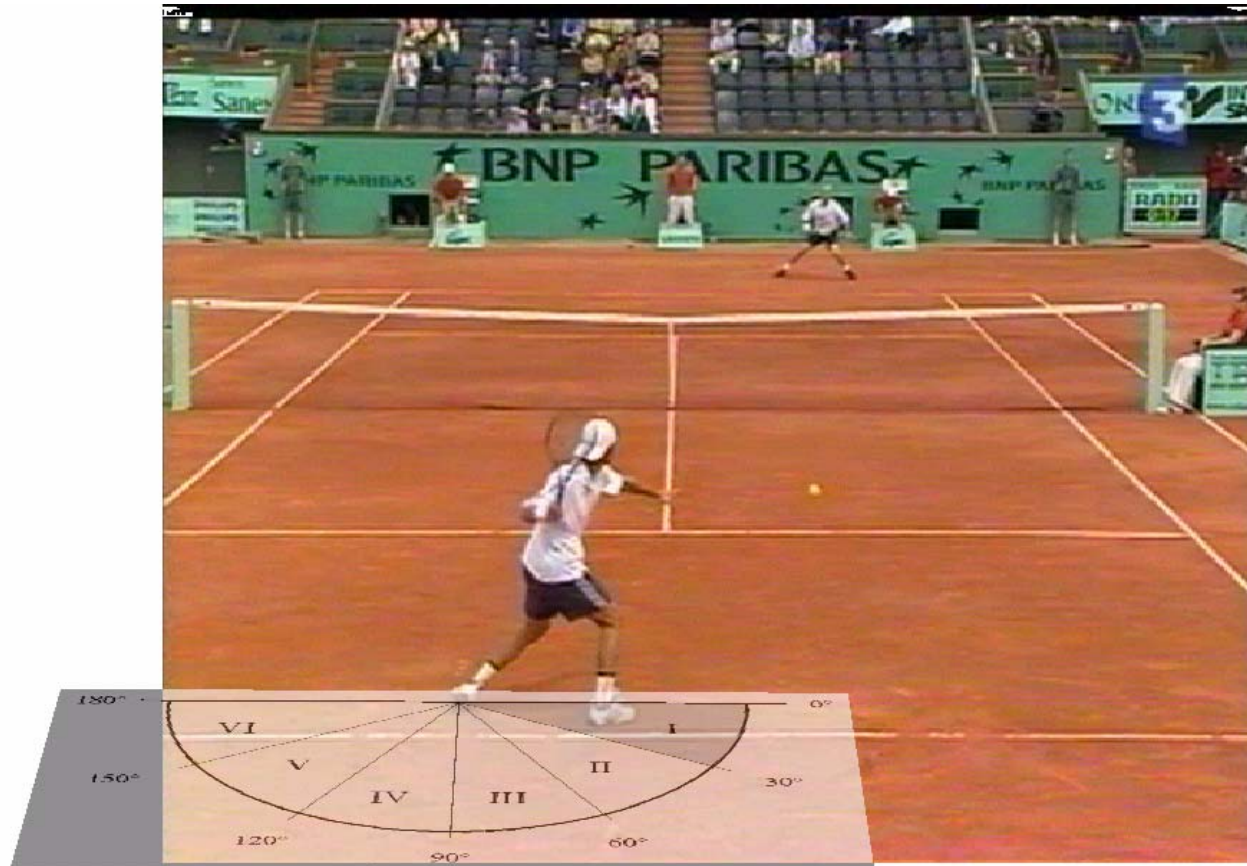
Echelle ordinale e.g., glacial, froid, tiède, chaud, brûlant

Echelle d'intervalle e.g., température, notation scolaire ABCDE?

Echelle de rapport e.g., poids, durée...

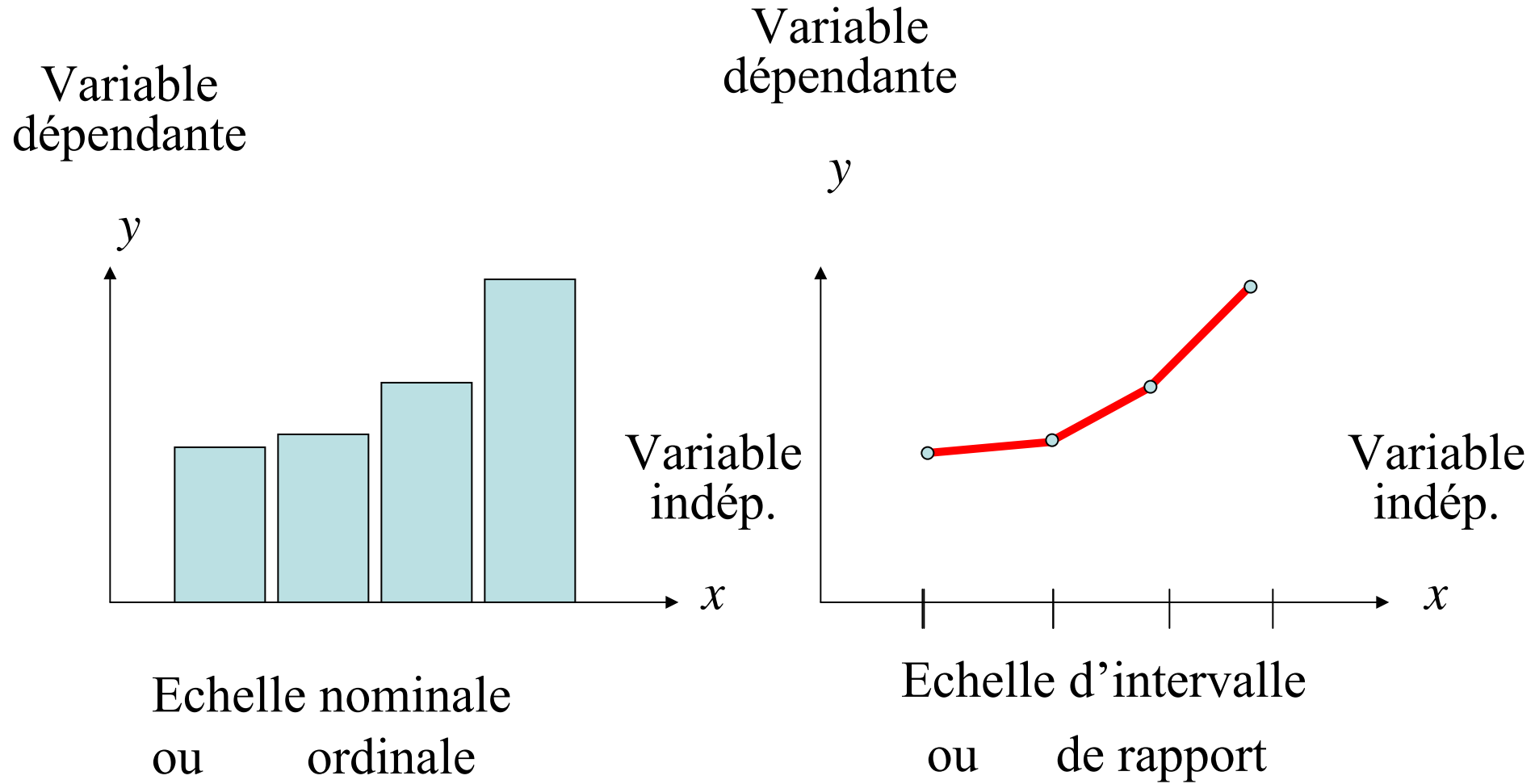


Un exemple: l'orientation des appuis au sol chez les joueurs de tennis professionnels



précision de la mesure faible (à 30° près), échelle **discrète**
niveau de mesure élevé (échelle de rapport)

Histogrammes vs. courbes



Echelle de notation commune dans les universités US

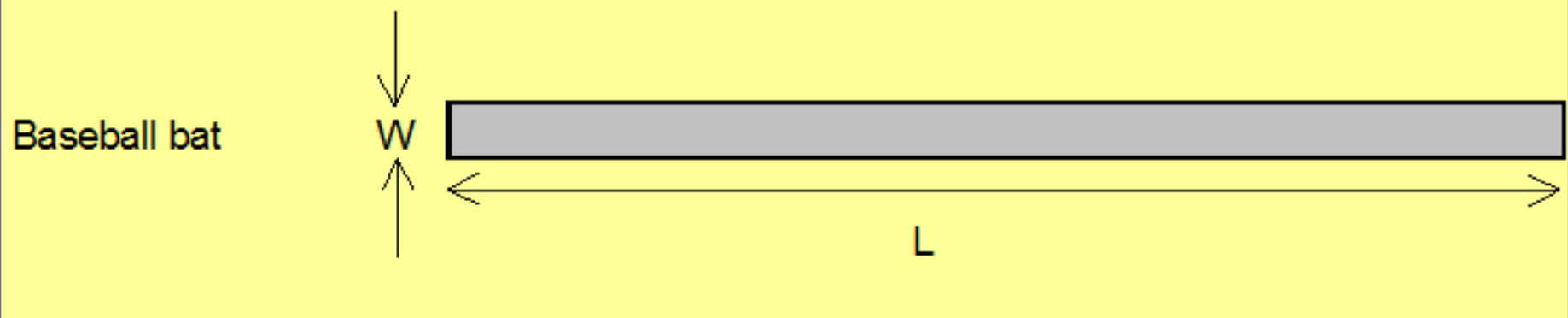
avec la conversion numérique utilisée à Vassar College (New York)

A	A ₋	B ₊	B	B ₋	C ₊	C	C ₋	D ₊	D	D ₋		F
4.0	3.7	3.3	3.0	2.7	2.3	2.0	1.7	1.3	1.0	0.7		0

Concepts and Applications of Inferential Statistics
Richard Lowry
Professor of Psychology
Vassar College

<http://vassun.vassar.edu/~lowry/webtext.html>

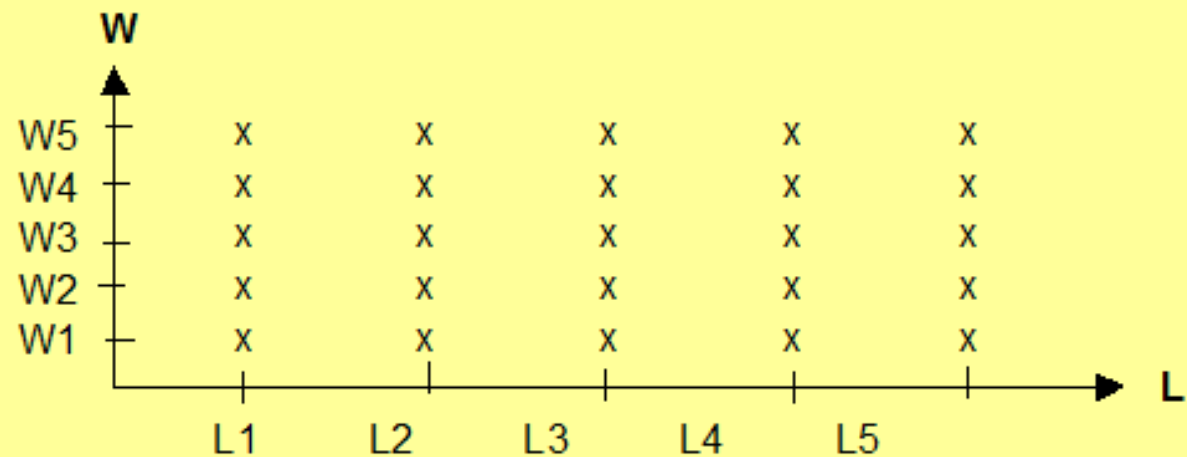
2.3. Dissocier (dé-corréler) les variables indépendantes



Le problème: optimiser les dimensions W et L de la batte

Plan d'expérience N° 1: longueur vs. diamètre

Graphiquement



Objection: le rapport L/W (qui caractérise la forme de la batte, une variable importante) est confondue (co-variée) avec L et W

Forme quantifiée par le rapport d'aspect = W/L		L (cm)					moy L	moy forme
		40	50	60	70	80		
W (cm)	9	23%	18%	15%	13%	11%	60	16%
	8	20%	16%	13%	11%	10%	60	14%
	7	18%	14%	12%	10%	9%	60	12%
	6	15%	12%	10%	9%	8%	60	11%
	5	13%	10%	8%	7%	6%	60	9%
moy W		7	7	7	7	7		
moy forme		18%	14%	12%	10%	9%		

2.3. Réduire et opérationnaliser le problème:

le *paradigme* expérimental

Galilée et la chute des corps

Nécessité de simplifier



2.3. Réduire et opérationnaliser le problème:

le *paradigme expérimental*

Galilée et la chute des corps

Atteinte de cibles : multiplicité des variables potentiellement pertinentes

Exemples de variables indépendantes

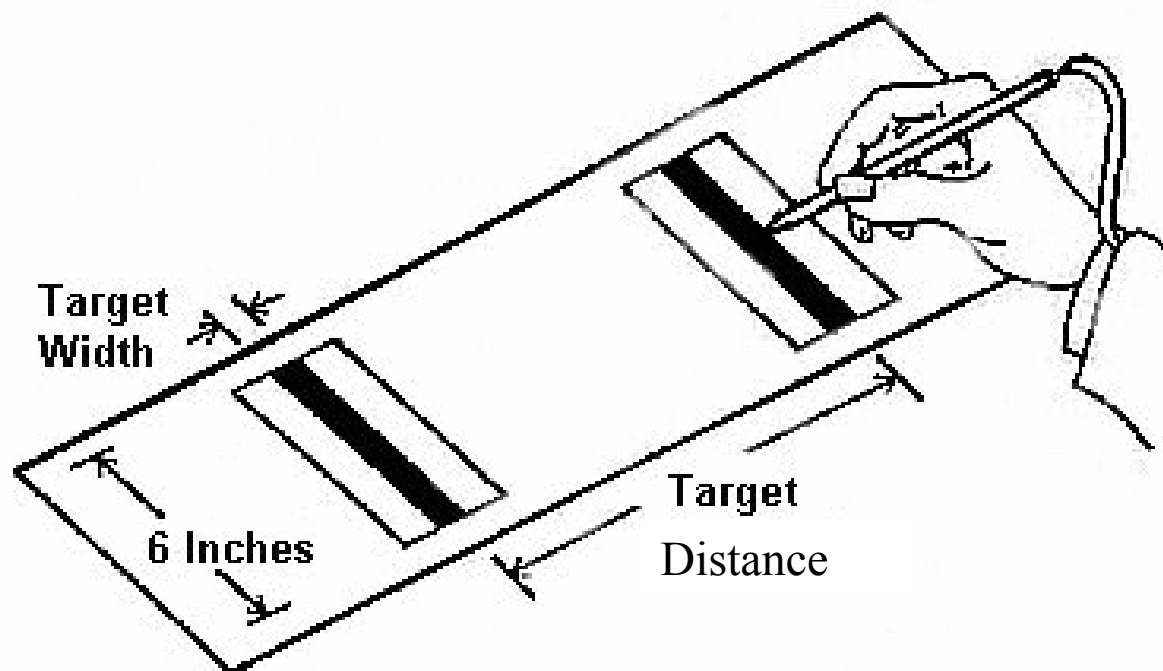
Nature du périphérique / nombre et nature des dimensions de l'espace du mouvement / ordre du contrôle / taille, nombre et forme des cibles / contrôle direct ou indirect / motivation de l'acteur du mouvement, etc.

Exemples de variables dépendantes

Temps d'atteinte de la cible, erreur de pointage (constante, variable, absolue, % d'erreurs), cinématique continue du mouvement, vitesse moyenne, etc.

Nécessité de simplifier

Paradigme de Fitts (1954)



Le paradigme du pointage de Fitts = une réduction

- Seulement trois variables

D

W

TM

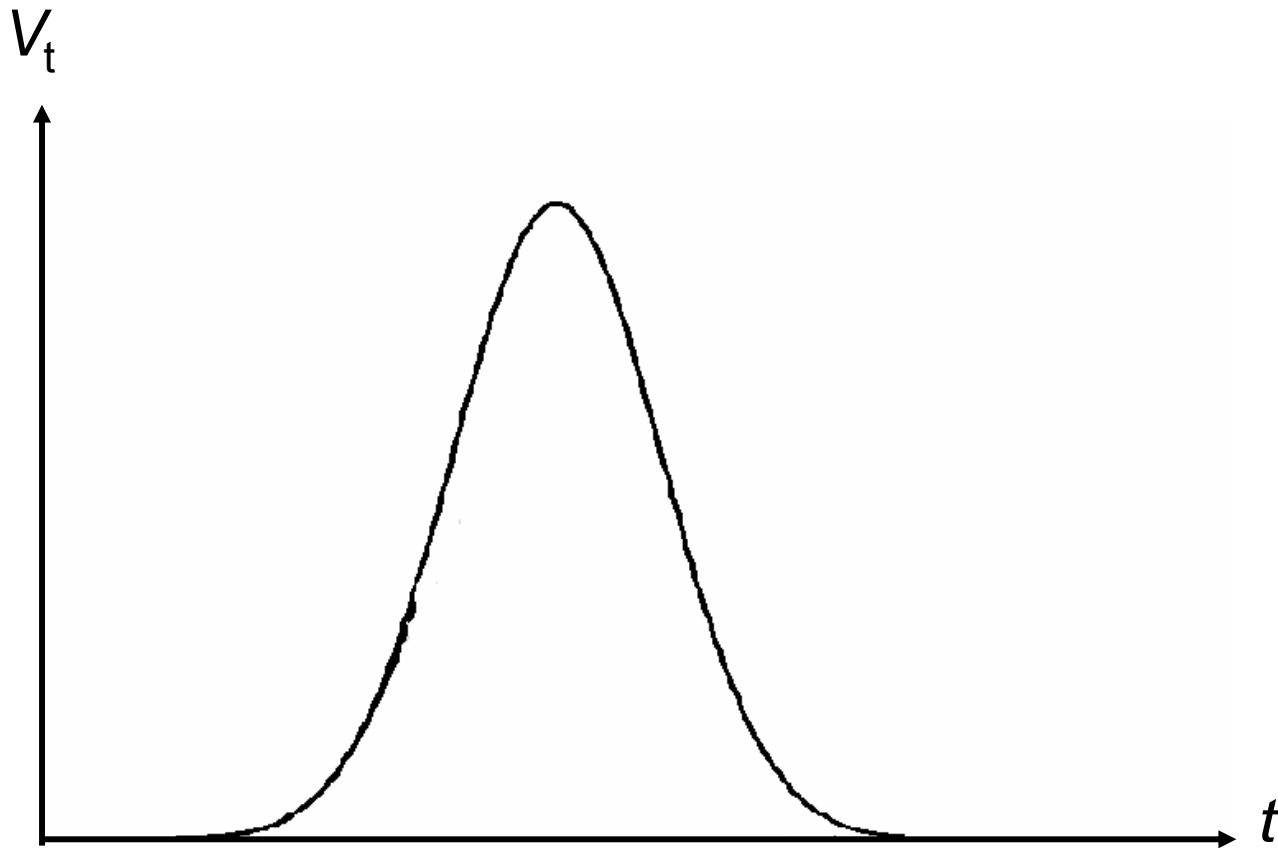
Variables indépendantes

Variable dépendante

(*TM* = temps écoulé entre début du mouvement et le click dans la cible)

- Une seule dimension
- On fixe la tâche et la motivation par consigne : *minimisation du TM* pour un taux d'erreurs imposé (typiquement 4%)
- Réduction du problème : plus grande généralité

Critère d'inclusion du pointage: rapide, monophasique



Exclusion: les mouvements de longue durée à vitesse constante

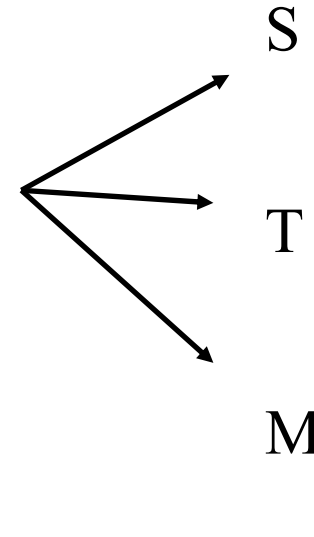
2.4. Planifier une expérience : la procédure expérimentale

Exemple

Trois périphériques à évaluer (trois conditions)

12 sujets

Plan intra-sujet (mesures répétées)



Objectif: neutraliser l'effet éventuel de la position temporelle de la condition

Sans balancement

N° de bloc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Condition	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

N° de bloc	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Condition	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

N° de bloc	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Condition	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Rang moyen bloc pour S = 5.5

Rang moyen bloc pour T = 15.5

Rang moyen bloc pour M = 25.5

Le **HASARD** fait parfois très mal les choses

Tirage au sort

N° de bloc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Condition	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

N° de bloc	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Condition	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

N° de bloc	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Condition	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Rang moyen bloc pour S = 5.5

Rang moyen bloc pour T = 15.5

Rang moyen bloc pour M = 25.5

Le **CARRE LATIN** neutralise les éventuels effets d'ordre

Carré latin

S	T	M
M	S	T
T	M	S

S	M	T
T	S	M
M	T	S

T	M	S
M	S	T
S	T	M

Rang moyen du bloc avec S = 5

Rang moyen du bloc avec T = 5

Rang moyen du bloc avec M = 5

Bloc $N-1$

		Bloc N			
		S	T	M	
Bloc $N-1$	S	1	5	3	9
	T	3	2	4	9
	M	5	2	2	9
		9	9	9	27

La **SERIE EXHAUSTIVE** neutralise les éventuels effets de transition

N° du bloc	Condition		
0	M		
1	T		
2	T	Rang moyen du bloc avec S =	8.7
3	S	Rang moyen du bloc avec T =	9.0
4	M	Rang moyen du bloc avec M =	10.8
5	S		
6	S		
7	M		
8	T		
9	M		
10	M		
11	S		
12	T	<i>Bloc N-1</i>	
13	S		
14	S		
15	T		
16	T		
17	M		
18	M		

		Bloc N		
		S	T	M
<i>Bloc N-1</i>	S	2	2	2
	T	2	2	2
	M	2	2	2

PLAN

1. Qu'est-ce que l'interaction homme-machine?
2. Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM
- 3. Loi de Fitts et facilitation du pointage**
4. Modèle mathématique vs. théorie
 1. Fonction d'échange et loi du mouvement canalisé
 2. Pointage et loi de Fitts

Importance du pointage dans les interfaces WIMP

(WIMP = Windows, Icons, Menus and Pointers)

Deux types d'action omniprésents en IHM :

- Entrer du texte
- Atteindre et sélectionner un objet graphique (bouton, icône, poignée, lien hypertexte, etc.)

Précisément le cas du pointage modélisé par Fitts en 1954.

Fréquence des actes de pointage dans les interfaces WIMP

– **Conflit vitesse-précision** dans le mouvement vers un but (dans le comportement en général)

– **Hypothèse initiale** de Fitts (1954)

$$ID \text{ (bits)} = \log_2 (2D/W) \quad (1)$$

$$TM = k * ID \quad (2)$$

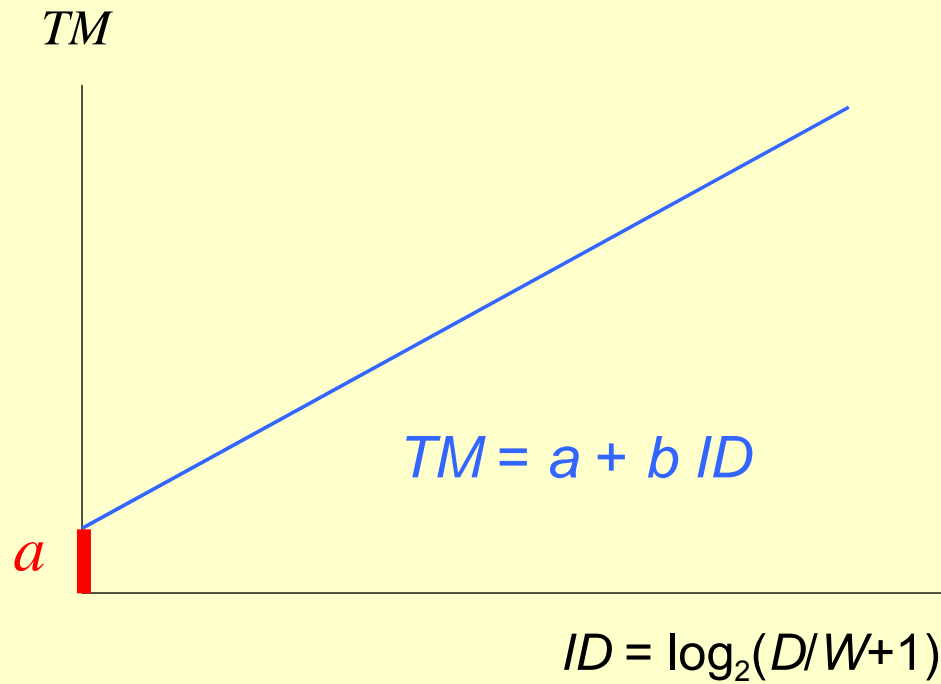
– Si (2) est vrai, alors

$$ID/TM \text{ (bits/s)} = Cte$$

Capacité constante de transmission d'information dans le système moteur humain (Shannon)

En fait...

Loi de Fitts



Loi de Fitts

- Version log

- Fitts (1954) $TM = a + b \log_2(2D/W)$

- Mackenzie (1992) $TM = a + b \log_2(D/W + 1)$

- Version linéaire

- Schmidt et al. (1979) $TM = a D/W$

- Version puissance

- Meyer et al. (1988) $TM = a (D/W)^{1/2}$

Loi de Fitts

- Version log

- Fitts (1954) $TM = a + b \log_2(2D/W)$

- Mackenzie (1992) $TM = a + b \log_2(D/W + 1)$

- Version linéaire

- Schmidt et al. (1979) $TM = a D/W$

- Version puissance

- Meyer et al. (1988) $TM = a (D/W)^{1/2}$

Loi de Fitts

Forme **générique** de la loi

$$ID = f(D/W) \quad (1)$$

$$TM = a + b * ID \quad (2)$$

Le *TM* varie avec l'*amplitude relative* du mouvement

Loi de variation *et* d'invariance d'échelle

Faciliter le pointage dans les interfaces graphiques utilisateur

$$TM = a + b \underbrace{\log_2 (D/W + 1)}_{ID}$$

ID

1. *Rapprocher la cible* (réduire D)

2. *Agrandir la cible* (augmenter W)

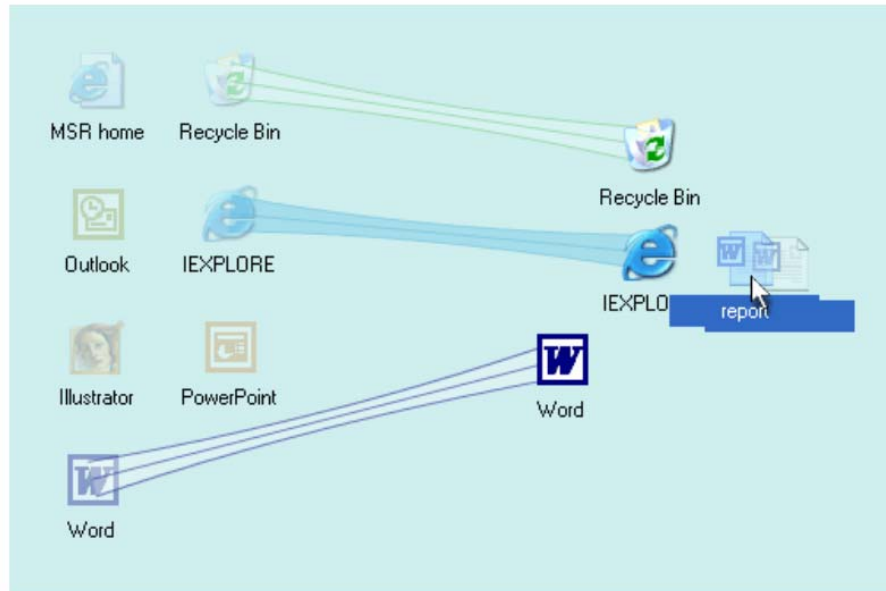
3. *Moduler le gain de la souris*

4. *Sauter les vides*

Quatre approches

Solution 1. *Rapprocher la cible (réduire D)*

drag-and-pop



- users starts dragging icon towards a distant folder or application
- icons of compatible type come towards mouse cursor
- user drops icon with minimal motion
- drag-and-pop works across bezels

Demo

Baudisch, P. (2002). *Drag and Pop*.

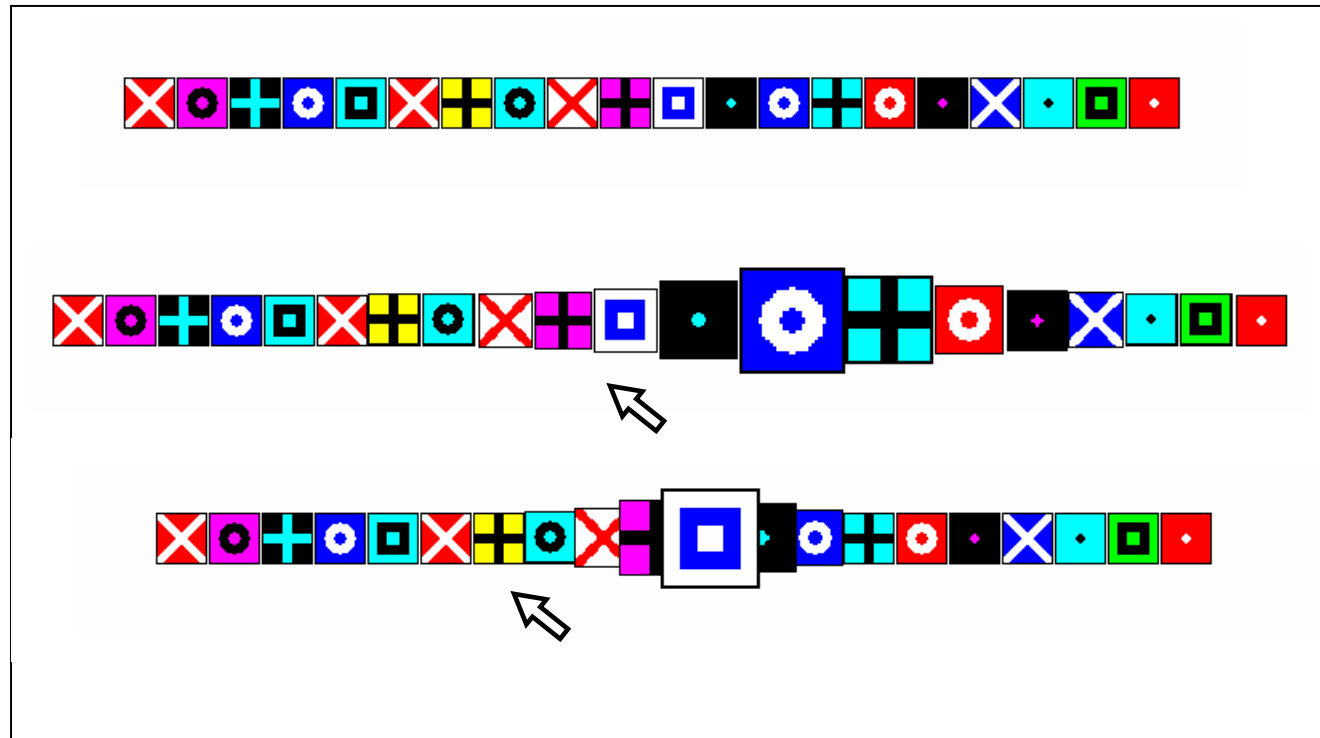
<http://www.patrickbaudisch.com/projects/dragandpop/demo/dragandpop.swf>.

Solution 2. *Agrandir la cible (augmenter W)*

McGuffin, M. and R. Balakrishnan, R. (2002). Acquisition of Expanding Targets. *Proc. of CHI'02* (pp. 57-64).

Zhai, S., Conversy, S., Beaudouin-Lafon, M., & Guiard Y. (2003). Human on-line response to target expansion. *Proc. of CHI'2003* (pp. 177-184).

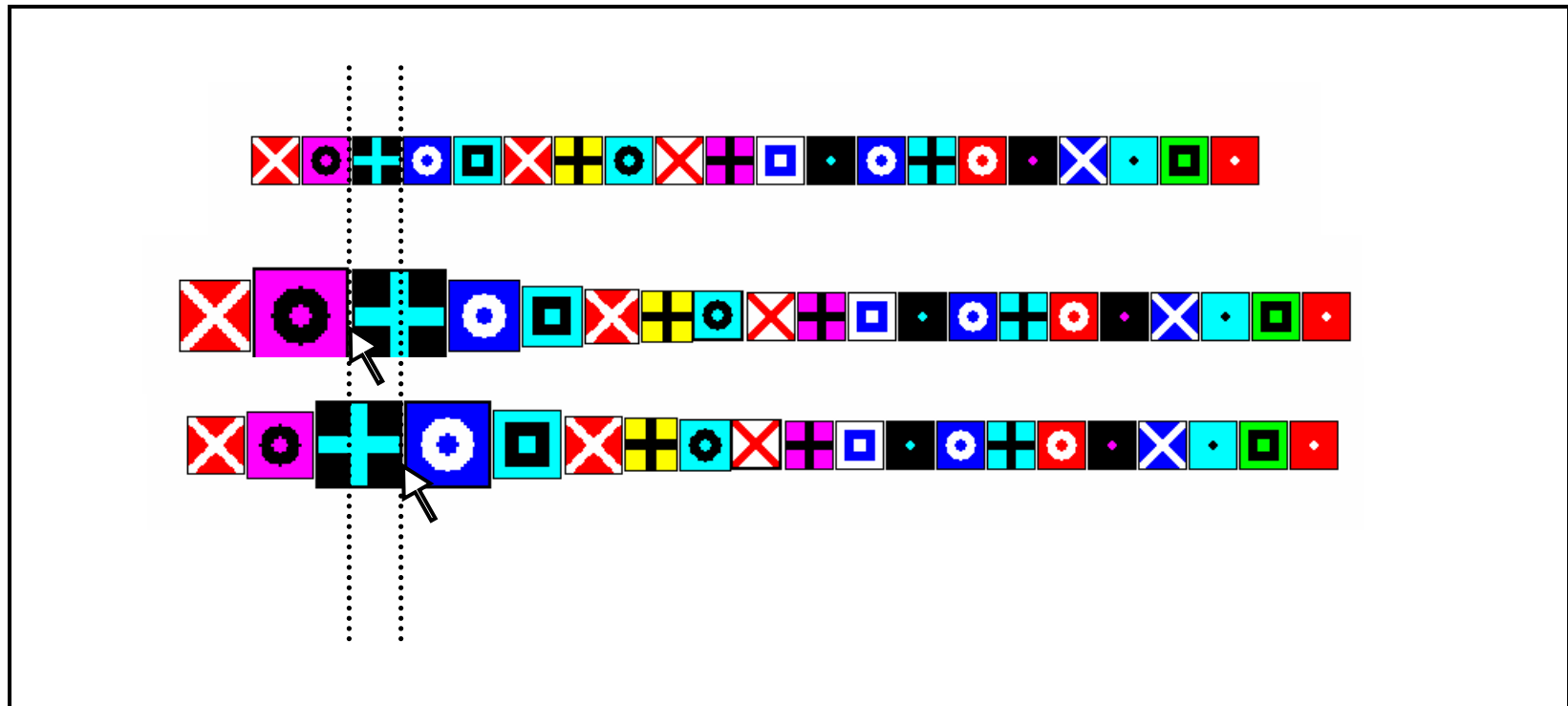
DEMO PROTOTYPE



Solution 2. *Agrandir la cible (augmenter W)*

La solution Mac OS X, même améliorée avec le procédé d'occlusion, ne facilite pas le pointage

<http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/expandingTargets/>



Solution 3. *Moduler le gain de la souris*

Le pointage sémantique

Blanch, R., Guiard, Y., & Beaudouin-Lafon, M. (submitted). *Semantic pointing: Improving target acquisition with control-display gain adaptation.*

DEMO *PROTOTYPE*

Avantages du pointage sémantique

- L'information-pixels émise se rapproche de l'information-objets reçue
- Pas de désorganisation de la configuration graphique
- Modulation du gain non détectée par l'utilisateur!

Solution 3. *Moduler le gain de la souris*

Le pointage sémantique

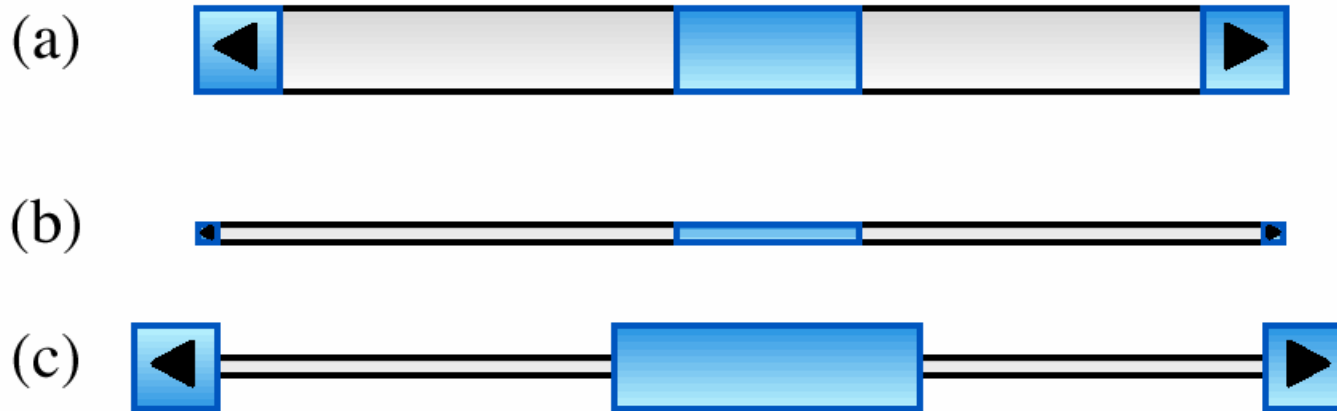


Figure 14: Scroll-bar redesign

(a) original version. (b) new version: visual space (what it looks like) and (c) motor space (what it feels like when interacting with it).

Solution 3. *Moduler le gain de la souris*

Le pointage sémantique

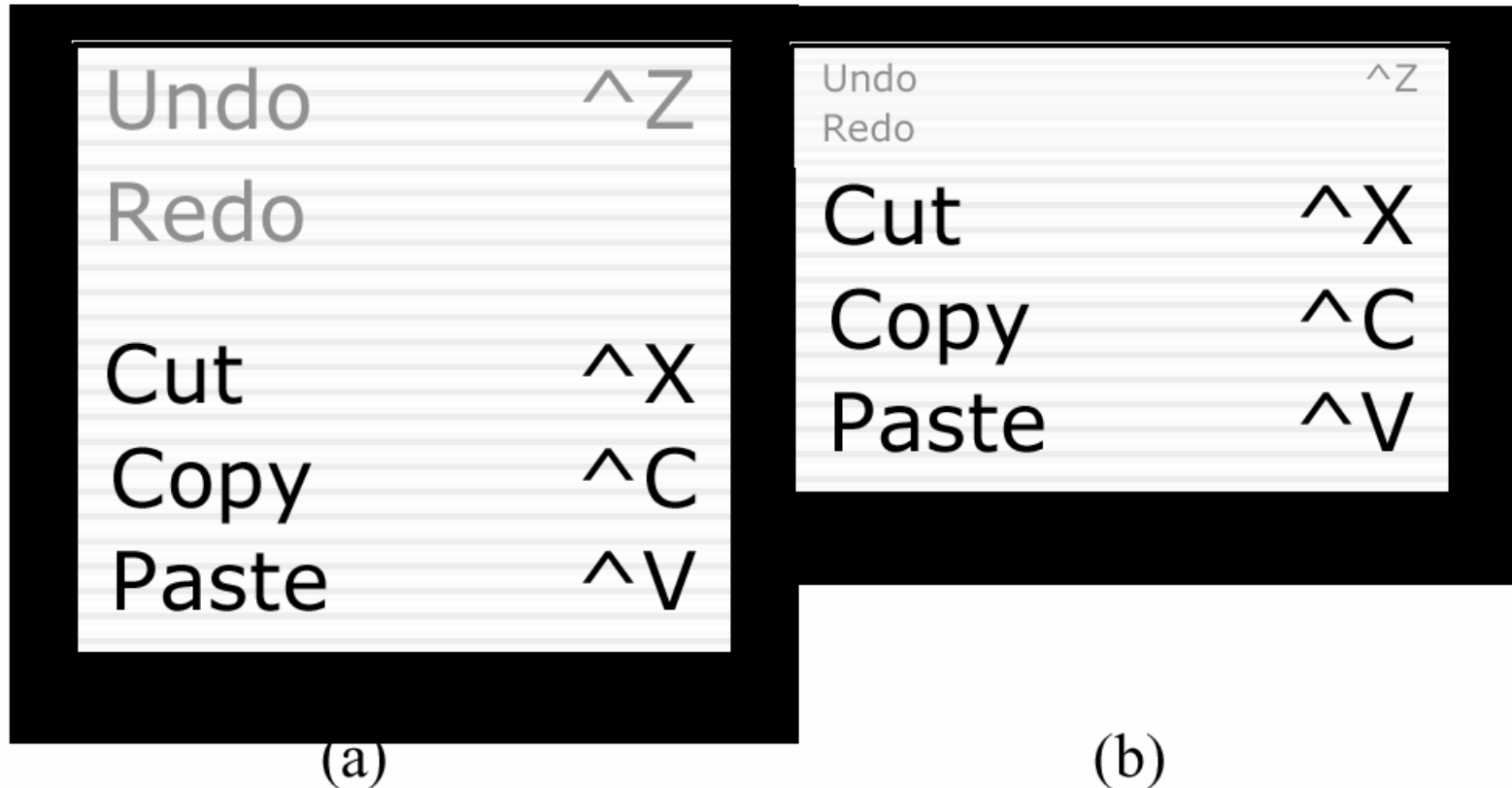


Figure 15: Menu redesign

(a) unchanged visual version (b) motor space version

Solution 3. *Moduler le gain de la souris*

Le pointage sémantique



Figure 16: Button redesign

(a) unchanged visual version (b) motor space version

Solution 4. *Sauter les vides*: le pointage d'objet

Guiard, Y., Blanch, R., & Beaudouin-Lafon, M. (2004). *Vector Pointing: Object vs. Pixel Selection in Graphical User Interfaces*.

[Démonstration](#)

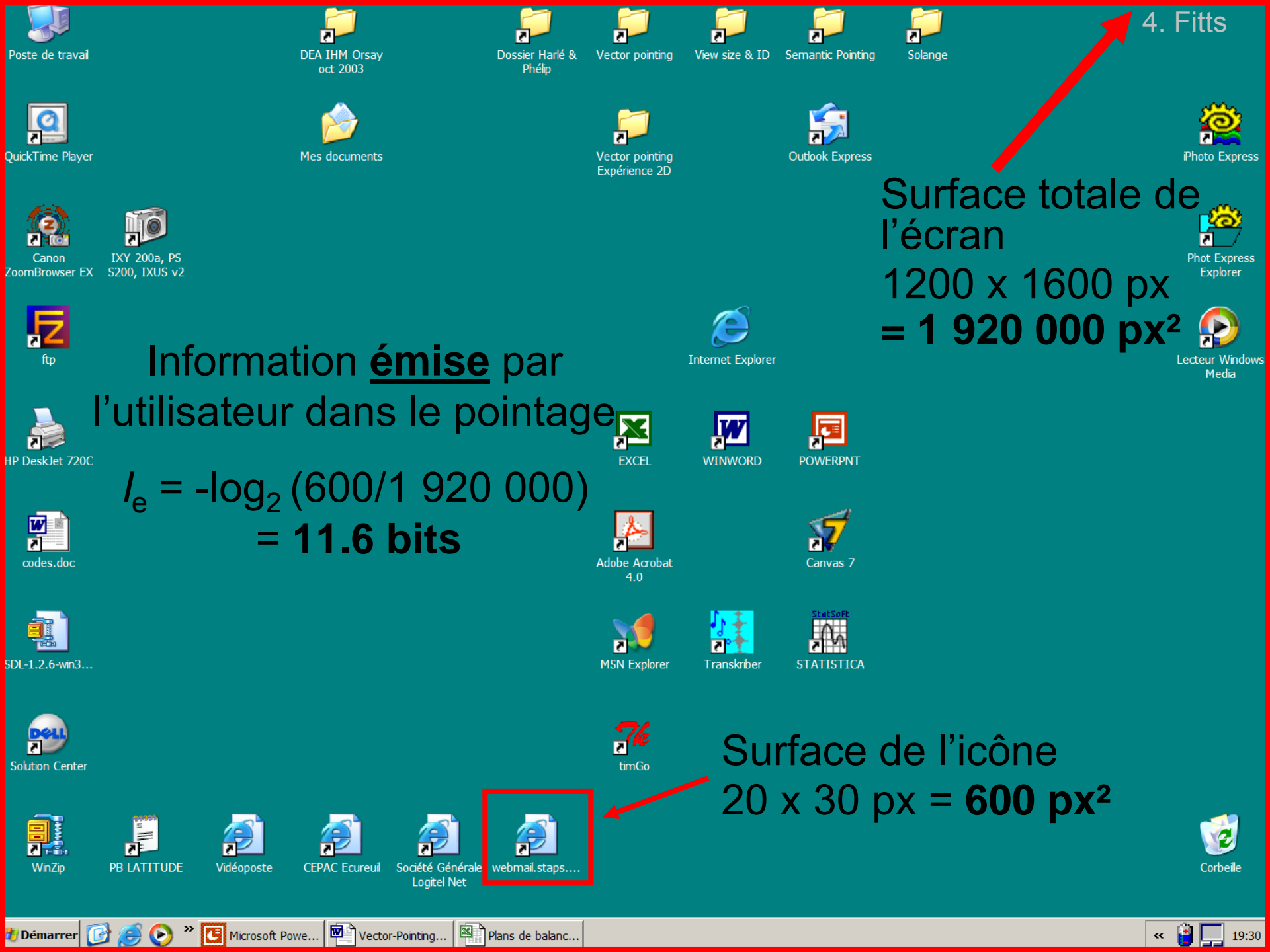
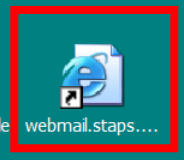


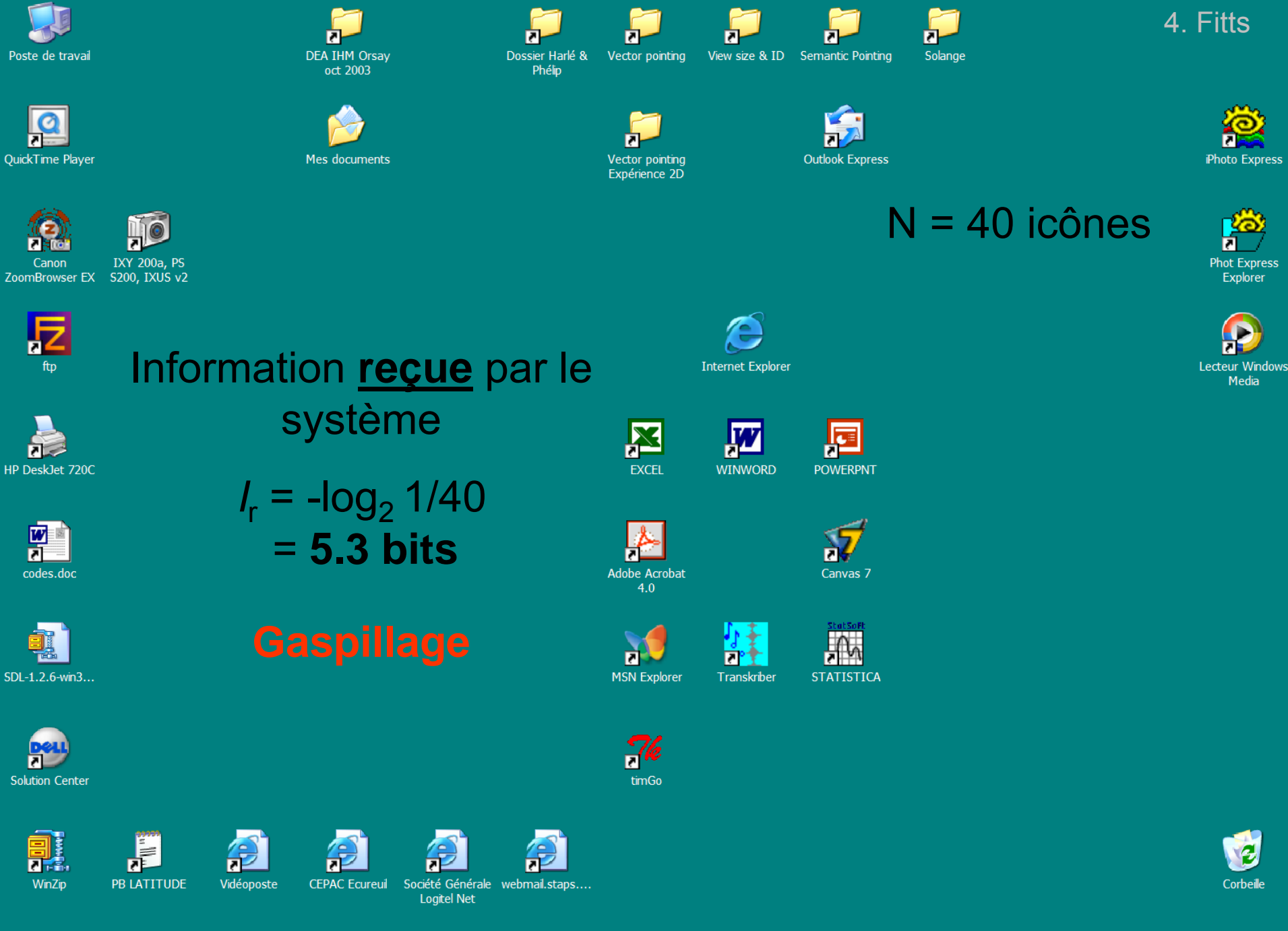
Surface totale de l'écran
1200 x 1600 px
= 1 920 000 px²

Information émise par l'utilisateur dans le pointage

$$I_e = -\log_2 (600/1\,920\,000) = 11.6 \text{ bits}$$

Surface de l'icône
20 x 30 px = 600 px²





N = 40 icônes

Information reçue par le système

$$I_r = -\log_2 1/40 = 5.3 \text{ bits}$$

Gaspillage

Poste de travail

DEA IHM Orsay
oct 2003

Dossier Harlé &
Phélip

Vector pointing

View size & ID

Semantic Pointing

Solange

QuickTime Player

Mes documents

Vector pointing
Expérience 2D

Outlook Express

iPhoto Express

Canon
ZoomBrowser EX

IXY 200a, PS
S200, IXUS v2

Phot Express
Explorer

ftp

Internet Explorer

Lecteur Windows
Media

HP DeskJet 720C

EXCEL

WINWORD

POWERPNT

codes.doc

Adobe Acrobat
4.0

Canvas 7

SDL-1.2.6-win3...

MSN Explorer

Transkriber

STATISTICA

Solution Center

timGo

WinZip

PB LATITUDE

Vidéoposte

CEPAC Ecreuil

Société Générale
Logtel Net

webmail.staps....

Corbeille

Le pointage usuel en mode graphique bitmap

GASPILLAGE DE BITS

$$\log_2(S_{\text{écran}}/S_{\text{objet}}) \gg \log_2 N$$

Information émise

Sélection dans
l'espace continu des
pixels

Information reçue

Sélection dans l'espace
discret des *objets*

$$\log_2(S_{\text{écran}}/S_{\text{objet}}) = \log_2 N$$

si l'espace est entièrement pavé
d'objets

PLAN

1. Qu'est-ce que l'interaction homme-machine?
2. Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM
3. Loi de Fitts et facilitation du pointage
- 4. Modèle mathématique vs. théorie**
 1. Fonction d'échange et loi du mouvement canalisé
 2. Pointage et loi de Fitts

Un peu d'épistémologie

“Modèle théorique” terme plutôt polysémique

Distinction entre deux sphères du discours théorique

- Théorie substantive (Paul Meehl, 1997) *composition, causalité*

vs.

- Modèle formel *calcul, prédiction*

Exemples

- Woodworth (1899) : une théorie substantive sans modèle formel
- Plamondon et Alimi (1997) : un modèle formel sans théorie substantive (~simple simulation numérique)
- Meyer et al. (1988, 1990) : une théorie (Woodworth) et un modèle formel

ABSTRACT

CONCRETE

SOFT INFERENCES
ON SEMANTICALLY
RICH ENTITIES

Substantive (causal,
compositional) theory

HARD INFERENCES
ON SEMANTICALLY
POOR ENTITIES

Computational model

Experimental
factors and measures

ABSTRACT

CONCRETE

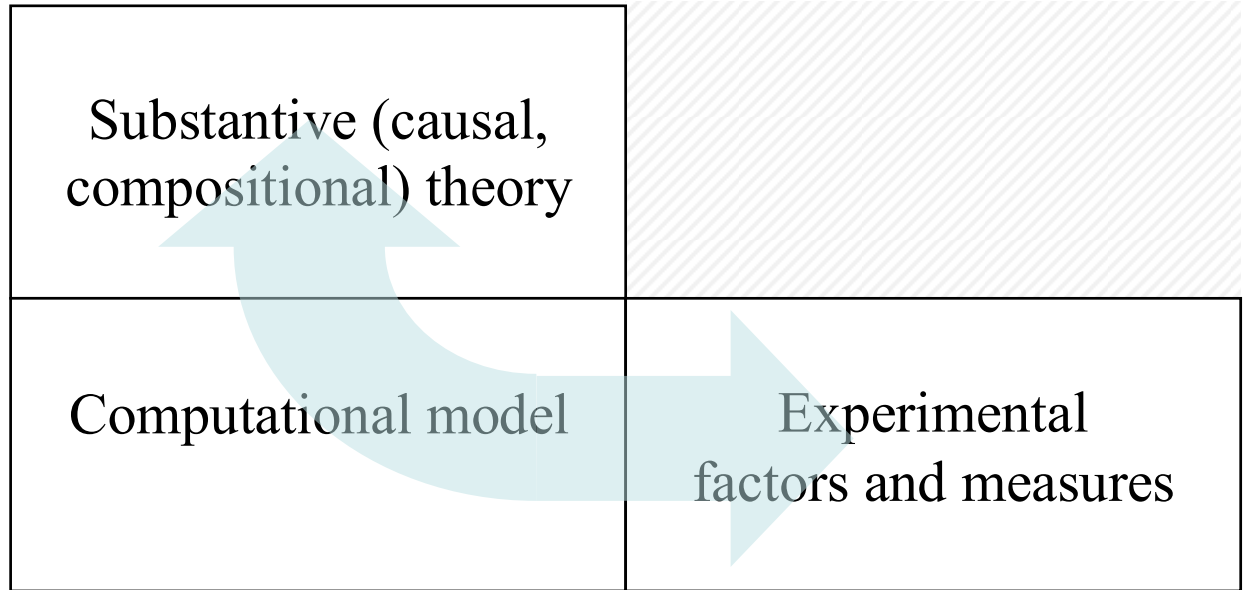
SOFT INFERENCES
ON SEMANTICALLY
RICH ENTITIES

Substantive (causal,
compositional) theory

HARD INFERENCES
ON SEMANTICALLY
POOR ENTITIES

Computational model

Experimental
factors and measures



Deux points à faire maintenant, en distinguant modèle formel et théorie substantive

- À propos de la fonction d'échange
 - Deux assertions équivalentes du point de vue calculatoire ne sont pas nécessairement équivalentes du point de vue de leur **puissance d'évocation théorique**
- À propos des écritures fractionnaires
 - Une **ambiguïté** formellement oiseuse peut recéler un important problème théorique

PLAN

1. Qu'est-ce que l'interaction homme-machine?
2. Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM
3. Loi de Fitts et facilitation du pointage
4. **Modèle mathématique vs. théorie**
 1. **Fonction d'échange et loi du mouvement canalisé**
 2. Ecriture fractionnaire D/W dans la loi de Fitts

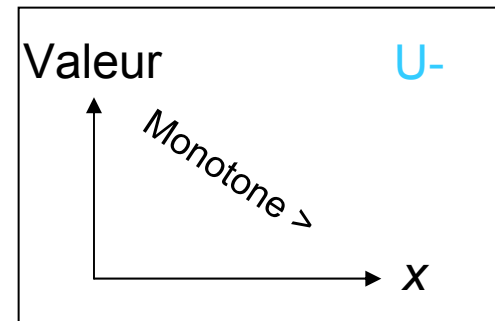
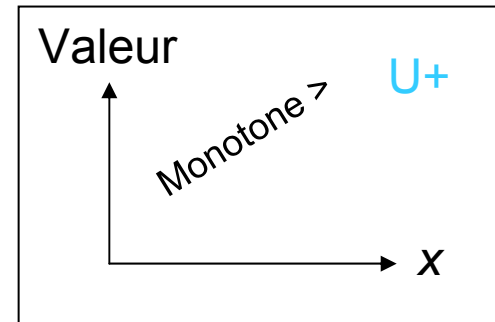
Notion de fonction d'échange

- **Utilité**, variable à extrémiser
- **Ressources limités**
- **Conflit** entre utilités
- **Fonction d'échange**, compromis entre **deux** utilités
- **Stratégie** d'affectation des ressources

Notion de fonction d'échange

Utilité

- *Pleasures vs. pains* (Jeremy Bentham)
- Utilité positive vs. négative
- Par exemple, le bénéfice vs. le coût
- Variable à extrêmer
 - Utilité : toute variable **axiologiquement orientée**
 - Donc U+ à maximiser, U- à minimiser
- Utilités omniprésentes en psychologie scientifique
 - Temps de performance = U-
 - Vitesse = U+
 - Difficulté = U+
 - % d'erreurs = U-
 - Précision = U+
 - % de rappel = U+
 - etc.
- Opp. à Variables axiologiquement neutres
 - Echelle dans la loi de Fitts



Notion de fonction d'échange

Ressources limitées

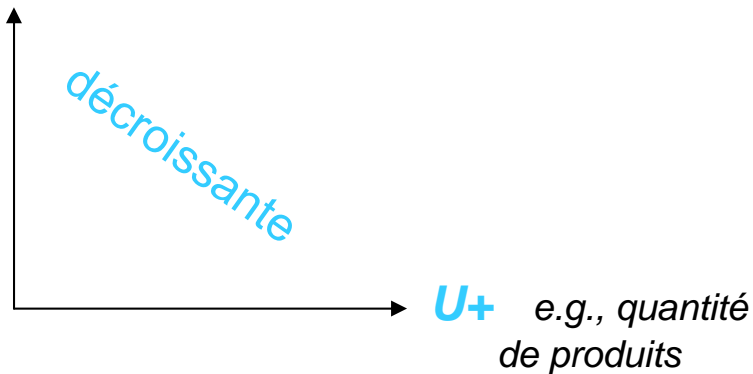
- Energie potentielle
- Ressources financières
- Capacité de travail
- Attention
- Capacité de transmission de l'information (Fitts, 1954)
- Capacité de traitement de l'information (Fitts & Peterson, 1964)
- etc.

Notion de fonction d'échange

Conflit entre deux utilités

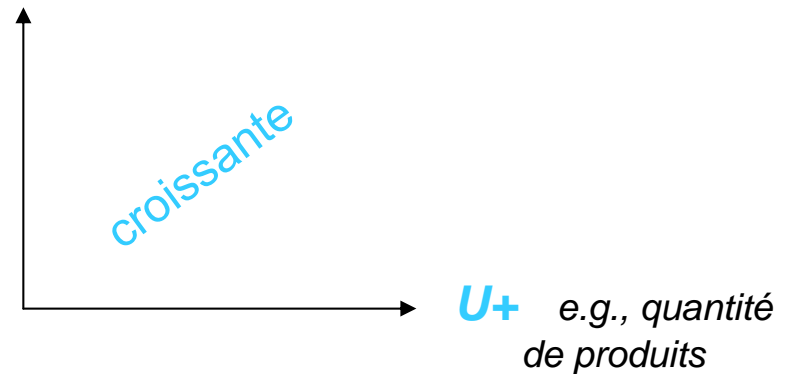
Utilités de mêmes signes

U+ e.g., qualité
moy. produits



Utilités de signes opposés

U- e.g., temps
de travail



Notion de fonction d'échange

Stratégie d'affectation des ressources

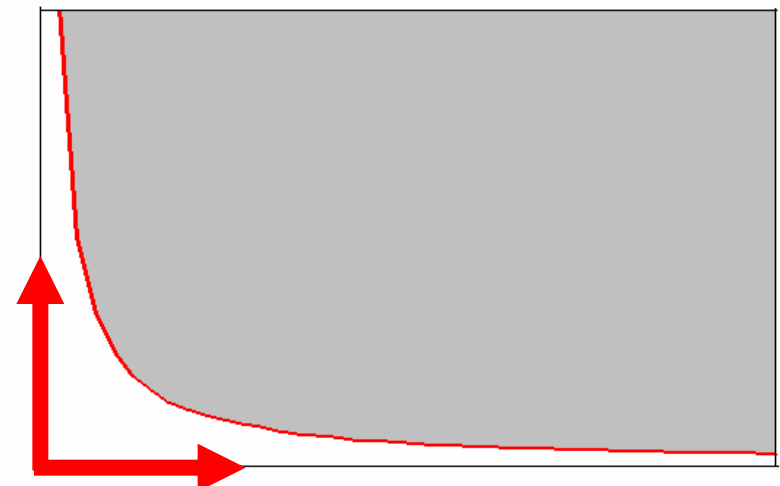
La courbe:

- Décrit l'ensemble des stratégies possibles
- Frontière entre le possible et l'impossible

□ Possible
■ Impossible

Cas simple
 $Q * N = k$
donc
 $N = k/Q$

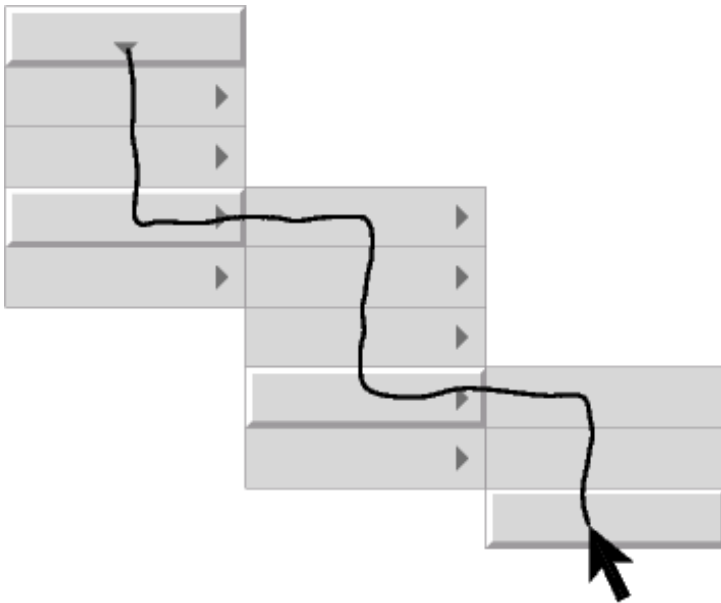
Nombre
d' articles
produits



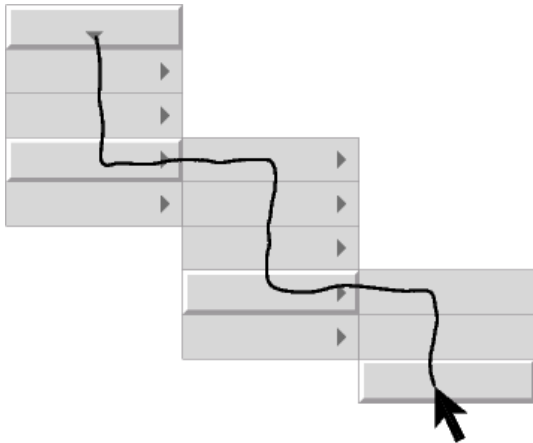
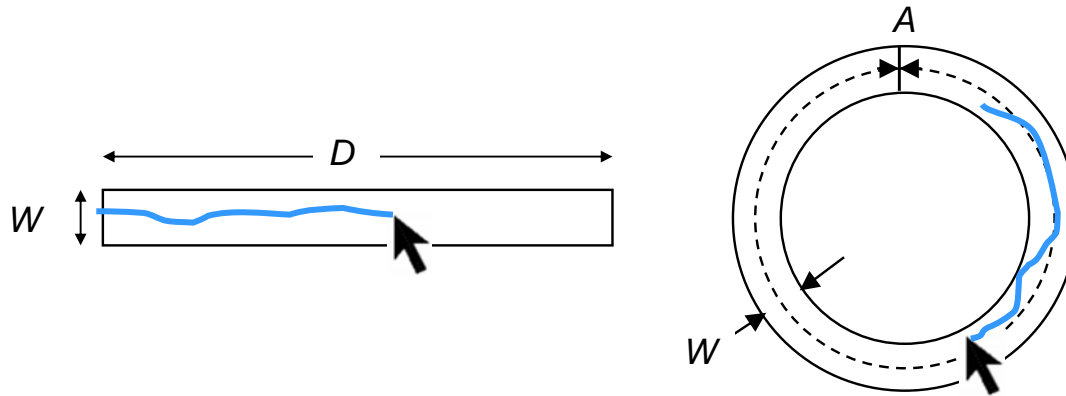
Qualité moyenne de l'article

Illustration

‘Loi’ du mouvement canalisé (*steering law*)
de Accot & Zhai (1997)



Chemin à courbure et tolérance constantes

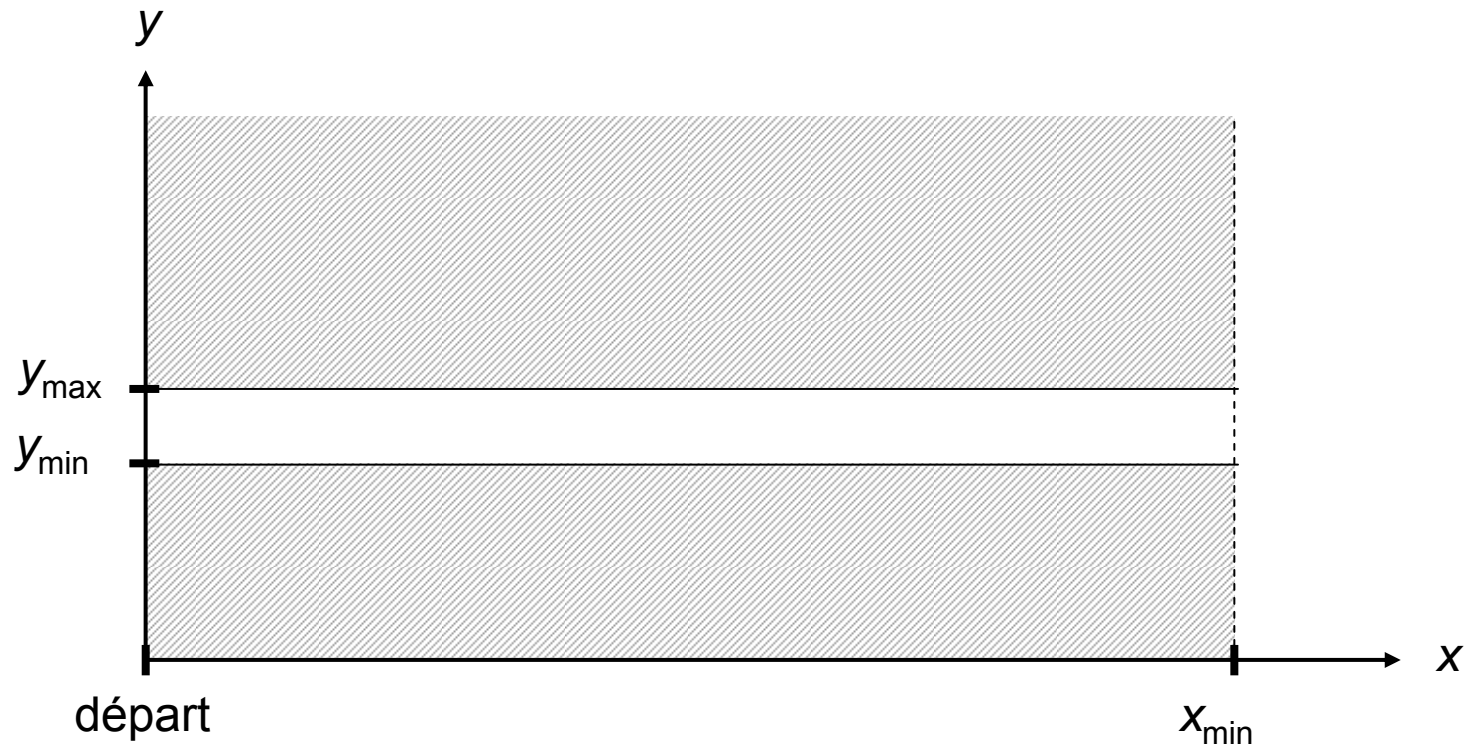


Loi globale d'A&Z

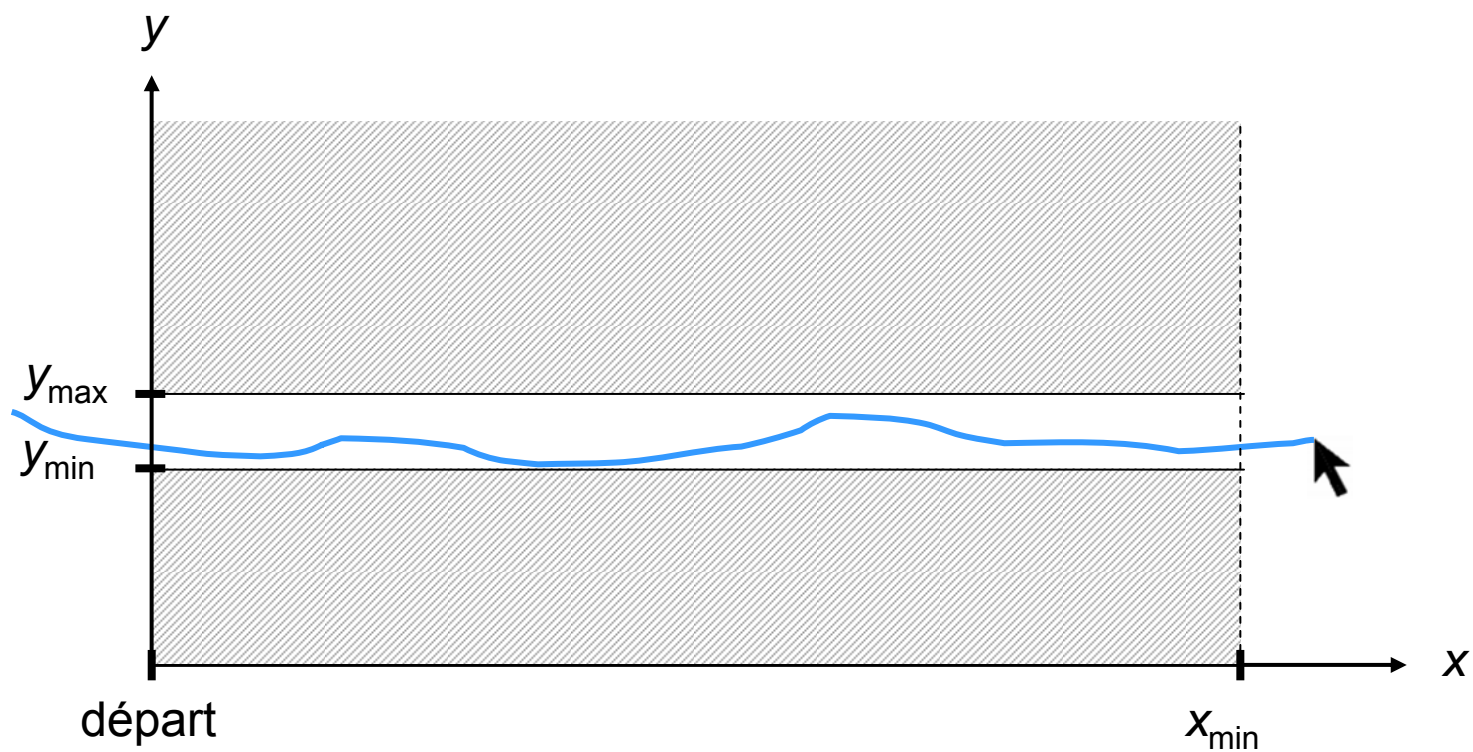
$$T = a * \frac{D}{W} + b$$

Similaire à la loi de Fitts, sans le log

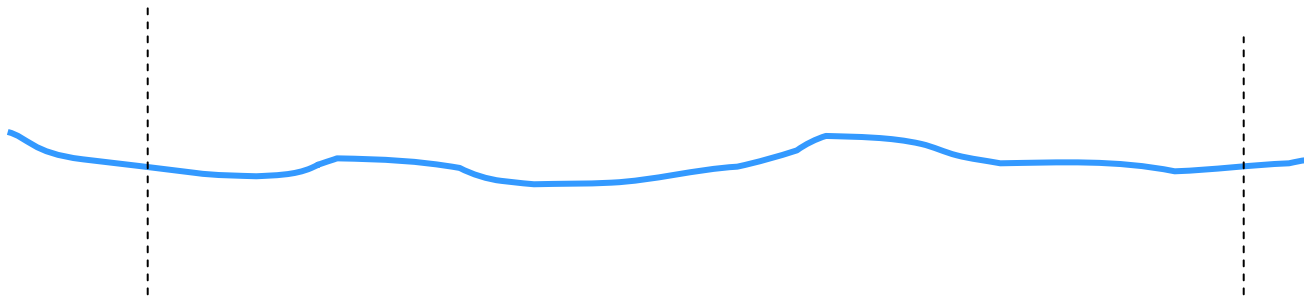
Mouvement canalisé: A&Z (1997)



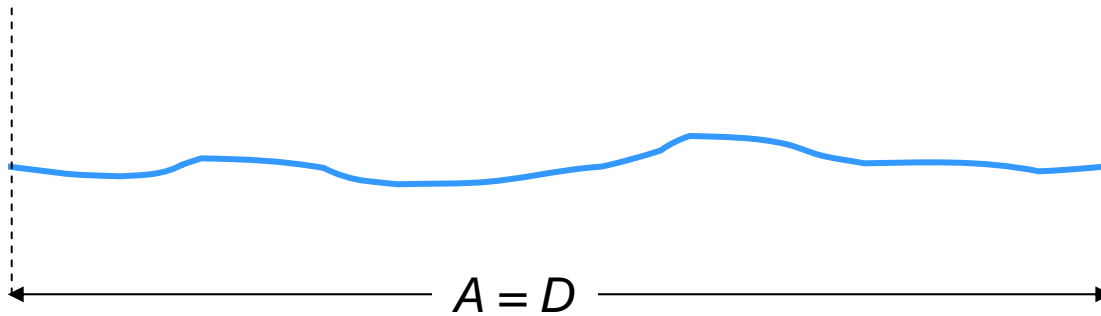
Mouvement canalisé: A&Z (1997)



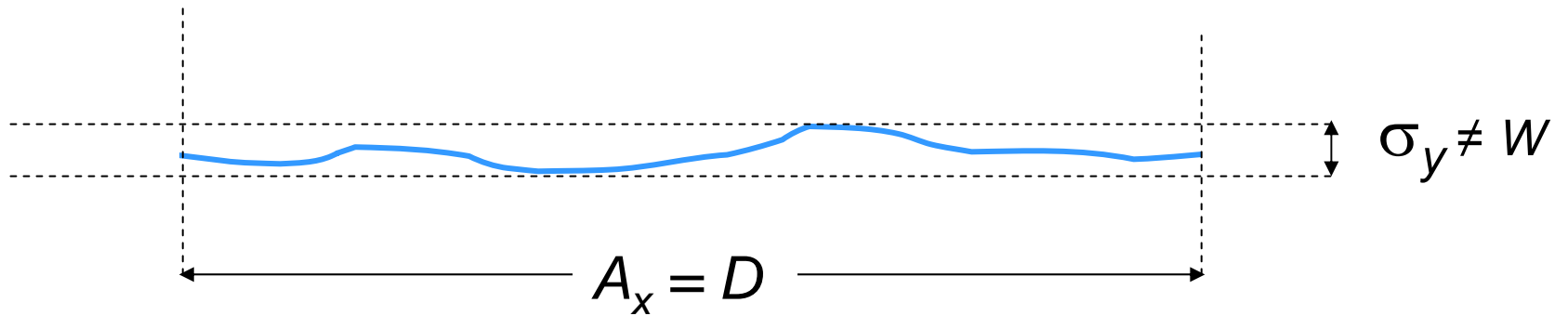
Mouvement canalisé: A&Z (1997)



Mouvement canalisé: A&Z (1997)



Mouvement canalisé: A&Z (1997)



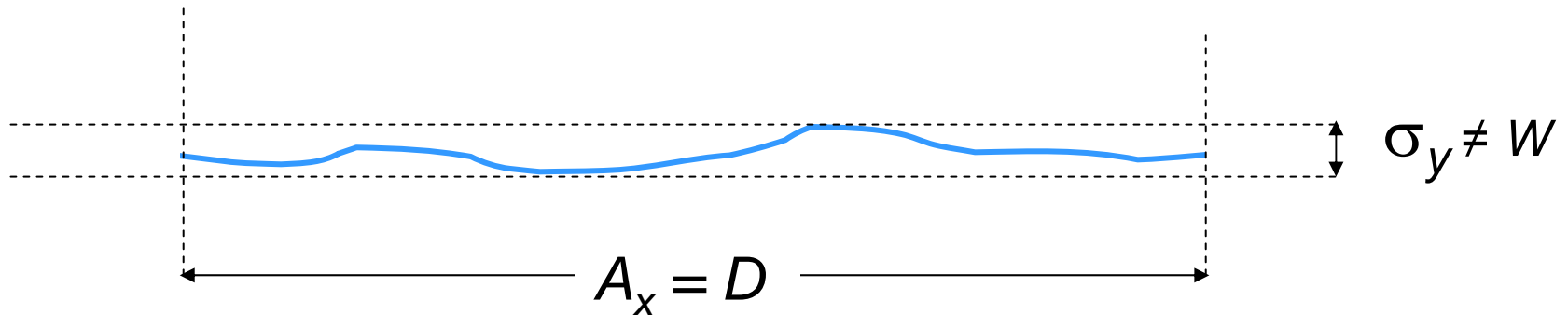
Mouvement canalisé: A&Z (1997)

$$T = f(D/W)$$

formulation chemin

$$T = f(A_x/\sigma_y)$$

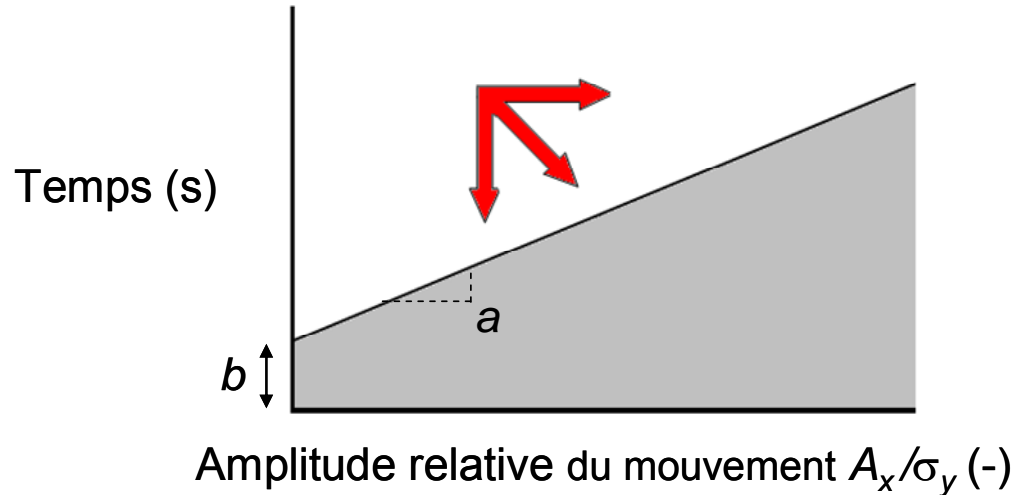
formulation mouvement



Une fonction d'échange vitesse-précision dans le mouvement canalisé?

$$T = a * \frac{D}{W} + b$$

$$T = a * \frac{A_x}{\sigma_y} + b$$



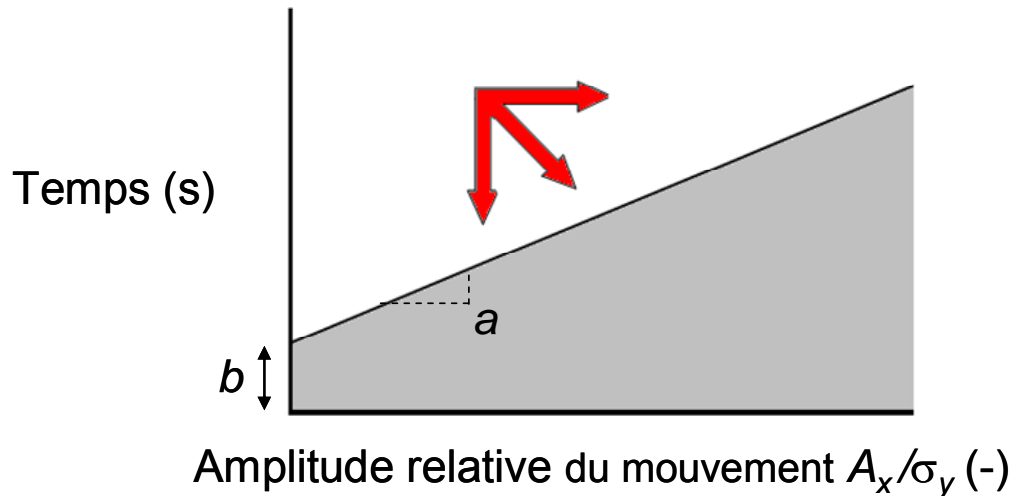
Problèmes de terminologie!

- Une fonction d'échange “**vitesse-précision**”?
NON avec $U+ = f(U+)$ on attend une relation décroissante...
- Une “**vitesse**”?
NON on mesure un temps T
- Une **précision**?
NON D/W ou A_x/σ_{Ay} mesure une amplitude relative

Une fonction d'échange vitesse-précision dans le mouvement canalisé?

$$T = a * \frac{D}{W} + b$$

$$T = a * \frac{A_x}{\sigma_y} + b$$



Reformuler la fonction d'échange

Vitesse ?

$1/T$?

D/T ?

Précision ?

$1 - W/D$?

$1 - \sigma_{Ay}/A_x$?

Le plus simple

Temps T

U- à minimiser

Imprécision relative W/D ou sAy/Ax

U- à minimiser

Distinction formule *conceptuelle* vs. *calculatoire*

Exemple de la somme des écarts carrés en statistiques

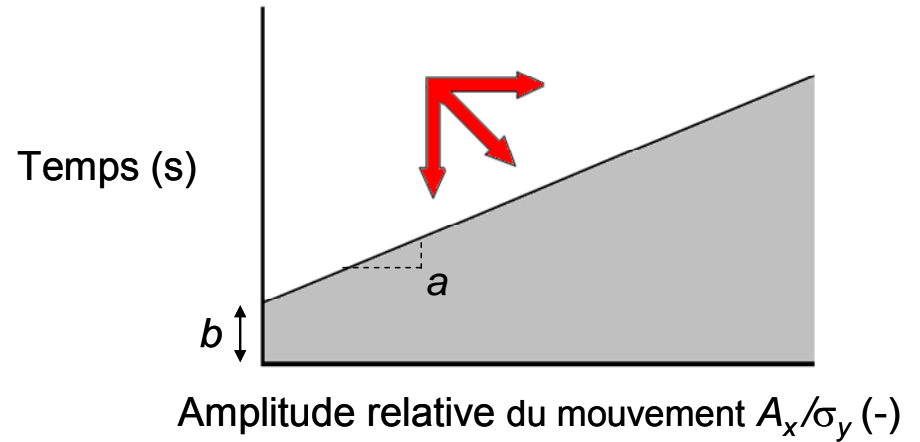
$$\sum (x - m)^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}$$

Formule conceptuelle

Formule calculatoire

Formulation **calculatoire** de la loi d'A&Z

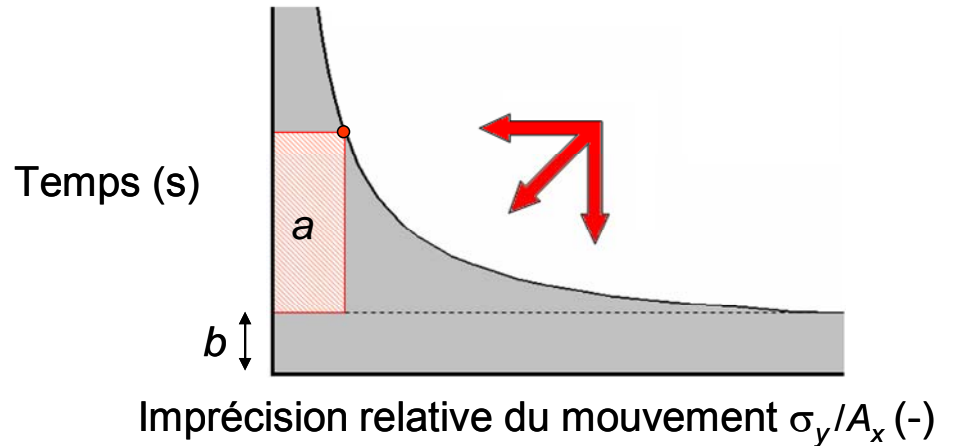
$$T = a * \frac{D}{W} + b$$



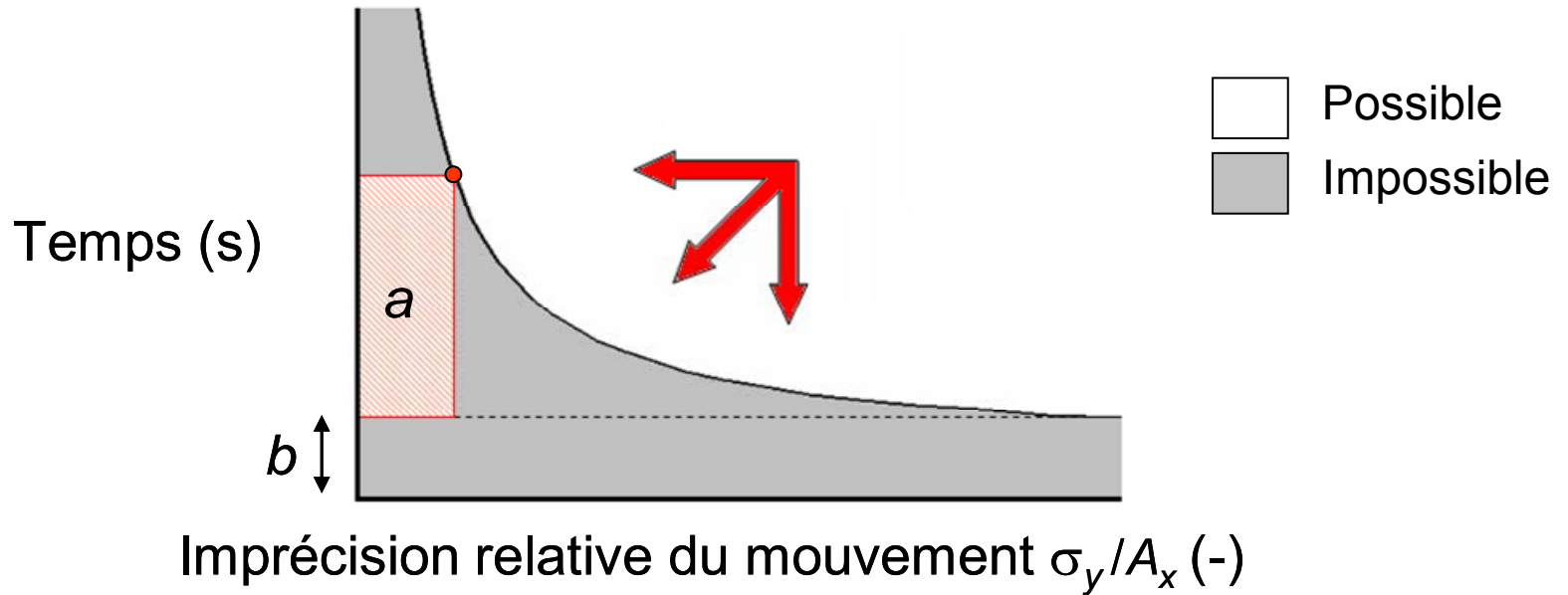
Reformulation **conceptuelle** de la loi d'A&Z

$$T = \frac{a}{W/D} + b$$

$$(T - b) * \frac{W}{D} = a$$



Formulation conceptuelle de la loi d'A&Z



$$(T - b) * \frac{W}{D} = a$$

Une fonction d'échange explicite

a (aire du rectangle) quantifie les **ressources** disponibles

b spécifie la valeur incompressible du temps

$$\frac{W/D}{T}$$

Le rapport d'aspect du rectangle quantifie la **stratégie** de gestion des ressources

En résumé

Dans le cas du chemin à tolérance constante, nous avons

$$T = a * D/W + b \quad \text{formulation calculatoire}$$

Ou bien

$$(T-b) * W/D = a \quad \text{formulation conceptuelle}$$

- Peut on dire que T dépend du rapport d'aspect, i.e. de la forme du chemin ?

La réponse est

- OUI du point de vue calculatoire
- NON du point de vue de la théorie substantive

PLAN

1. Qu'est-ce que l'interaction homme-machine?
2. Méthodologie: concevoir une expérimentation en IHM
3. Loi de Fitts et facilitation du pointage
4. **Modèle mathématique vs. théorie**
 1. Fonction d'échange et loi du mouvement canalisé
 2. **écriture fractionnaire D/W dans la loi de Fitts**

Loi de Fitts (pointage 1D)

Modèle de Fitts

$$T = a \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right) + b$$

Modèle de McKenzie (1992)

$$T = a \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right) + b$$

Modèle de Meyer et al. (1990)

$$T = a \left(\frac{D}{W} \right)^{1/2} + b$$

Loi d'Accot & Zhai (mouvement canalisé)

$$T = a \frac{D}{W} + b$$

... toutes équations qui impliquent

$$T = f \left(\frac{D}{W} \right)$$

Dans l'équation $T = f\left(\frac{D}{W}\right)$, l'écriture fractionnaire concerne les *causes*

LE PROBLEME:

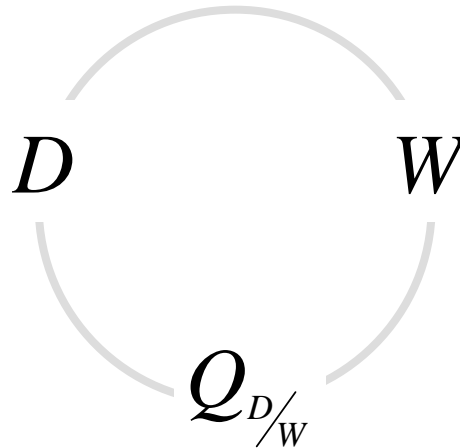
Pour les calculs dans le modèle formel

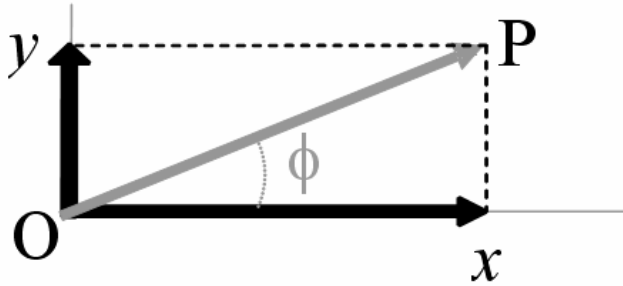
3 nombres: le numérateur D , le dénominateur W et le quotient $Q_{D/W}$

Pour manipuler les facteurs théoriquement et expérimentalement

Seulement **2 degrés de liberté**

Un candidat causal de trop : *lequel écarter ?*





The Cartesian vs. polar specification of a point in planar geometry.

Spécification polaire:

2 DL, les vecteurs composants Ox et Oy

Spécification cartésienne:

Les 2 DL du Vecteur résultant OP, son orientation et sa longueur

$$T = f\left(\frac{D}{W}\right)$$

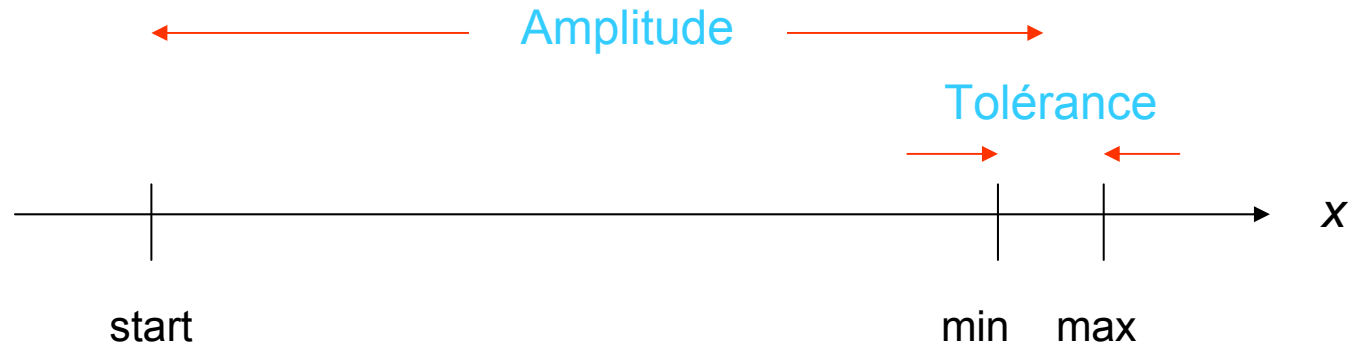
Spécification polaire de l'écriture D/W :

2 DL = les opérandes D et W

Spécification cartésienne de l'écriture D/W :

2 DL = le quotient $Q_{D/W}$ et l'échelle

Description cartésienne du pointage



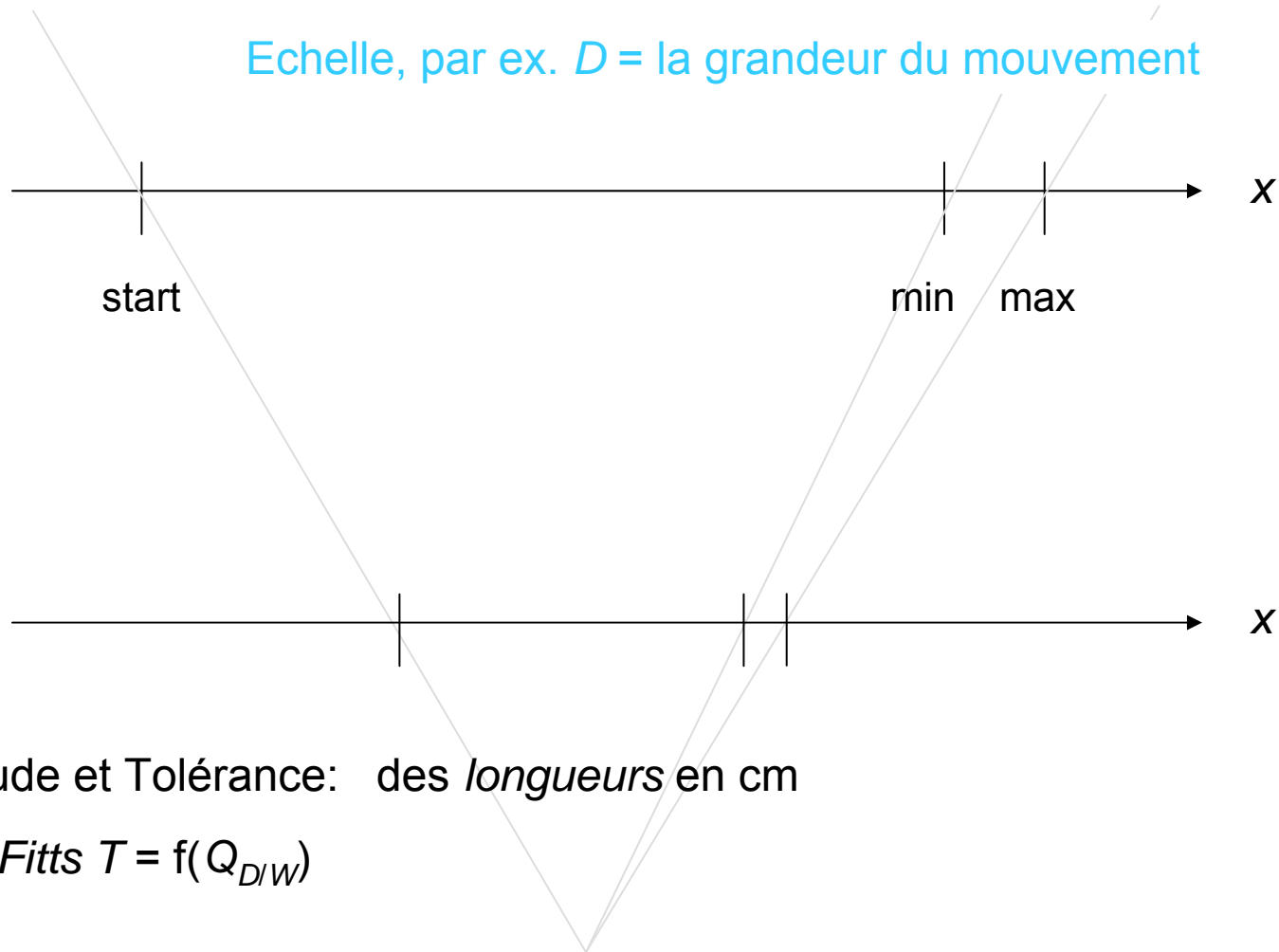
Amplitude et Tolérance: des *longueurs* en cm

Loi de Fitts $T = f(D, W)$

Description polaire du pointage

Quotient $Q_{D/W}$ = la 'forme' du mouvement

Echelle, par ex. D = la grandeur du mouvement



Amplitude et Tolérance: des *longueurs* en cm

Loi de Fitts $T = f(Q_{D/W})$

Loi de Fitts $T = f\left(\frac{D}{W}\right)$

Cela signifie-t-il $\left\{ \begin{array}{l} T = f(D, W) \\ \text{ou} \\ T = f(Q_{D/W}) \end{array} \right. ?$

La décision dépend de la substance de la théorie

Illustration

- Loi de A&Z
- Loi de Fitts

$$T = f\left(\frac{D}{W}\right)$$

Combien d'entités causales du côté droit de l'équation, et quelles sont-elles?

- 1) Vraie question pour la théorie (pas pour le modèle formel)
- 2) Question traitable: la réponse dépend de la théorie

Loi de Fitts

Une entité causale: le quotient de D par W , un rapport sans dimensions, i.e. une forme

$$T = f\left(Q_{\frac{D}{W}}\right)$$

Le quotient de la division (effectuée)

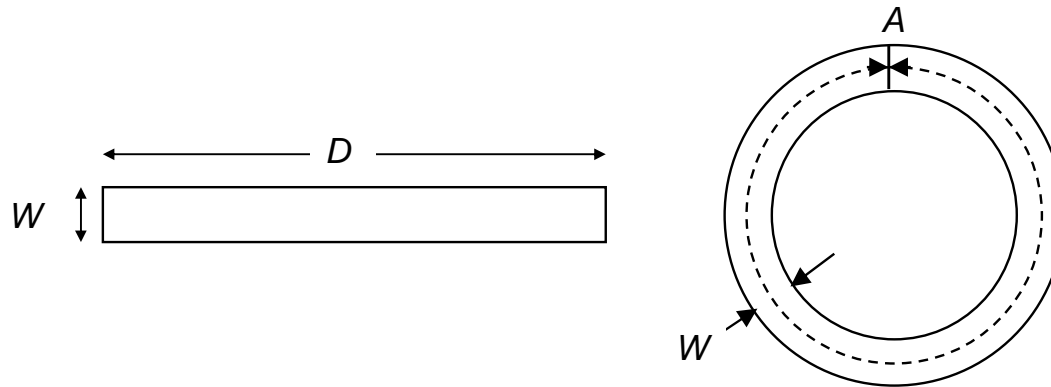
Loi d'Accot & Zhai

Deux entités causales: D et W , dimensionnellement des longueurs

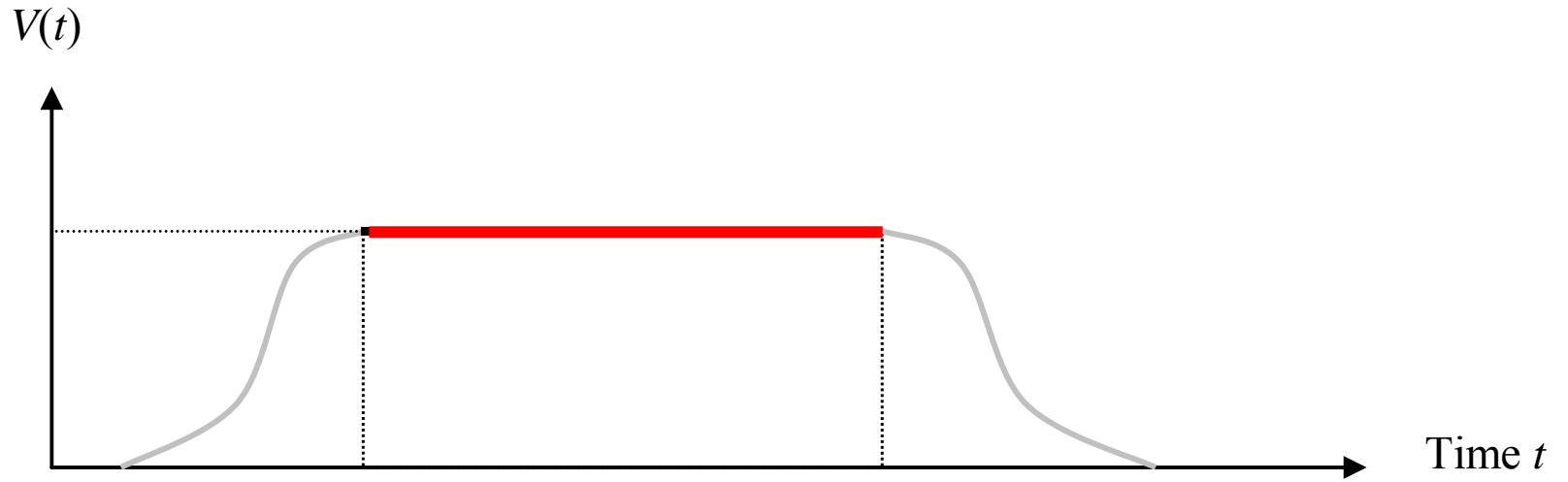
$$T = f(D, W)$$

Les deux opérands de la division (à effectuer)

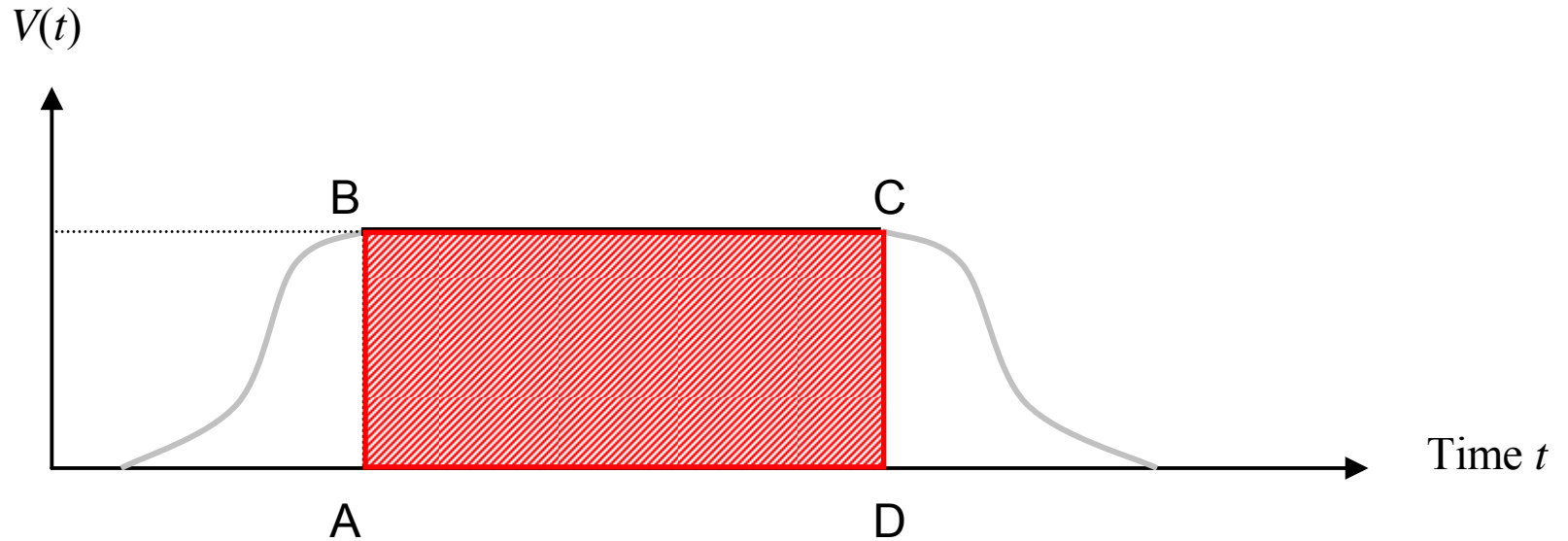
Mouvement canalisé d'Accot & Zhai (à W constant)



$$T = a \frac{D}{W} + b$$



Régime stationnaire, i.e. un plateau de vitesse



W détermine la hauteur du rectangle ABCD

D détermine l'aire du rectangle (l'étendue de l'intégration)

Rôles de D et W **clairement séparables** dans la théorie

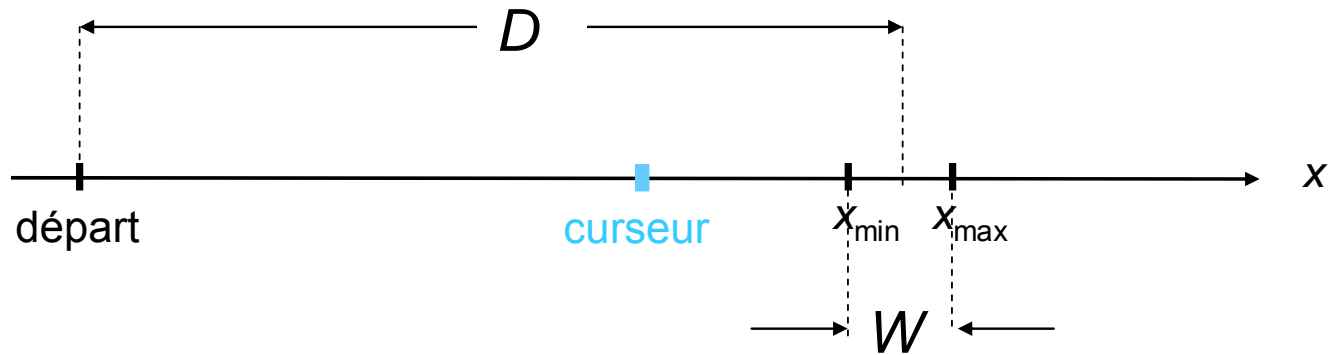
Interpétation cartésienne de la loi d'A&Z

Dans le mouvement canalisé, T dépend de deux facteurs conceptuellement et expérimentalement séparables:

ceux que représentent les opérandes D et W

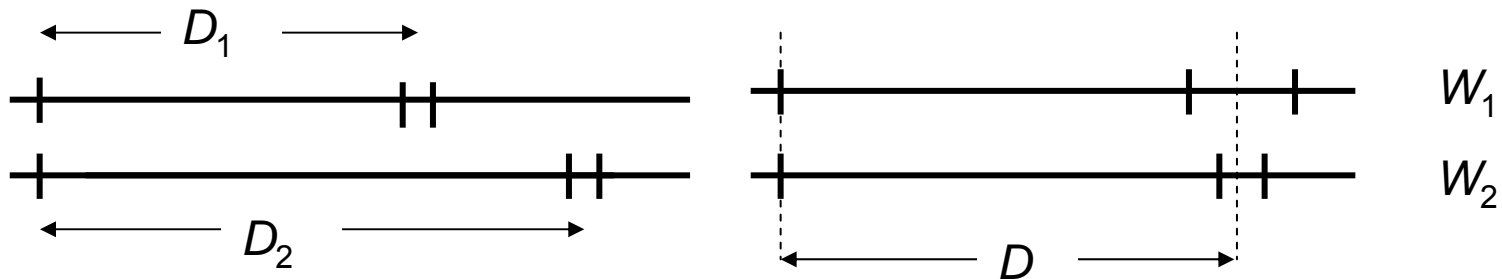
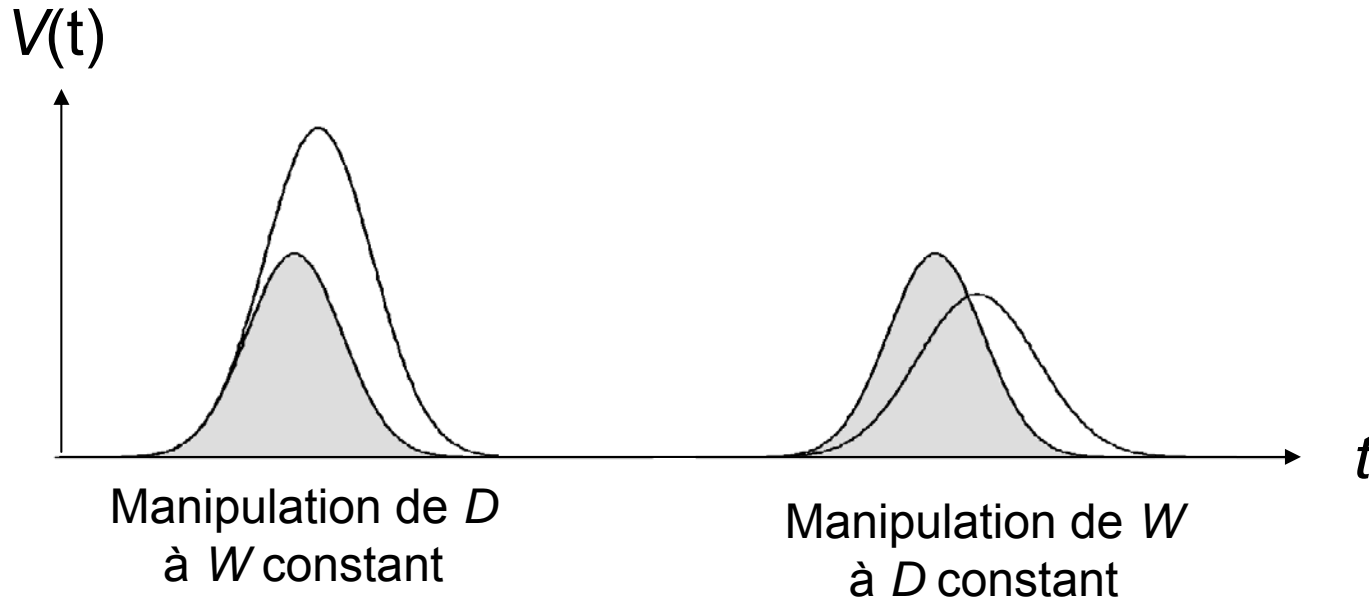
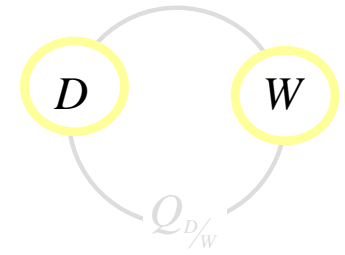
- Donc $T = f(D/W)$ doit se comprendre comme $T = f(D, W)$
- Or on n'a que 2 DL!
- Donc du point de vue théorique le quotient $Q_{\frac{D}{W}}$, égal à l' ID d'A&Z et caractérisant la forme du chemin, ne peut pas participer à l'explication théorique

Mouvement de pointage de Fitts



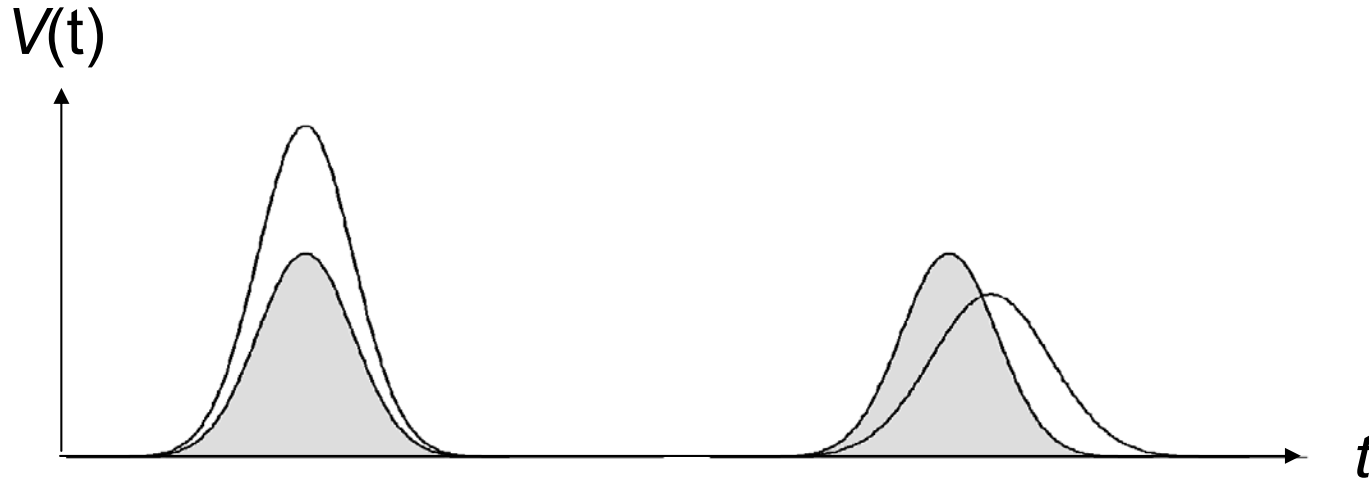
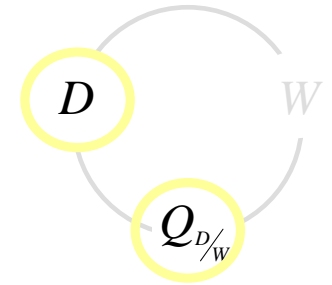
$$T = a \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right) + b$$

Tentative option 1: Distance D et tolérance W



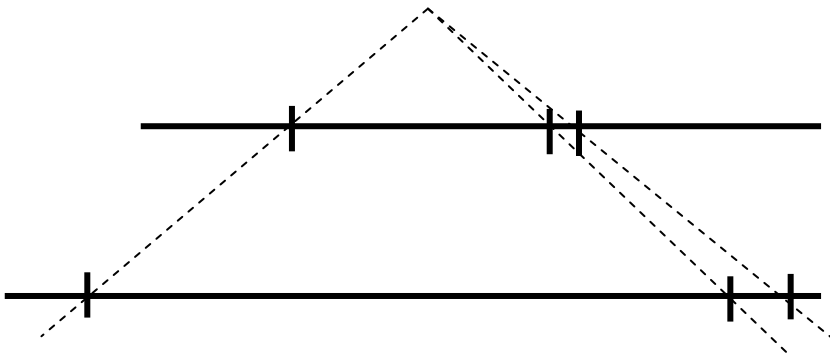
- Aucun effet simple de D ou de W
- Effet de W quasi-immédiat !

Option 2: difficulté $Q_{D/W}$ et échelle D



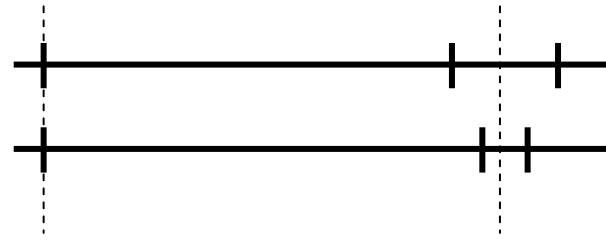
Manipulation sélective de l'échelle D , à quotient D/W constant

Manipulation du quotient, à échelle D constante



Pas d'effet sur T

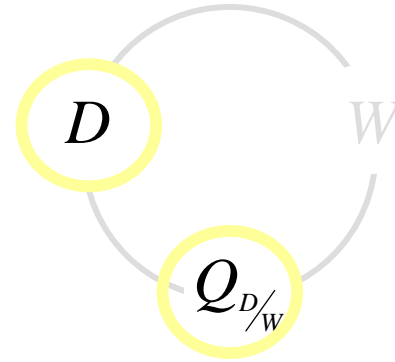
Loi d'invariance d'échelle



Effet systématique sur T

Loi de variation de Fitts

Pour la tâche de Fitts, seule l'option 2 convient



- Dans le pointage à la Fitts, les facteurs pertinents sont le quotient $Q_{D/W}$ et le facteur d'échelle D
- T dépend d'un seul facteur, le quotient $Q_{D/W}$
- T (dans des limites respectables de D) est insensible au facteur d'échelle

Donc $T = f(D/W)$ doit se comprendre comme $T = f(Q_{D/W})$

Du point de vue théorique la forme de la tâche explique la variation de T

Enlissement conceptual classique

Raisonnement habituel sur 3 facteurs

Effet de l' ID (log du quotient de D/W)

Effet de D

Effet de W

Hypothèse de compensation proportionnelle

par ex. Meyer et al. (1989, p. 354)

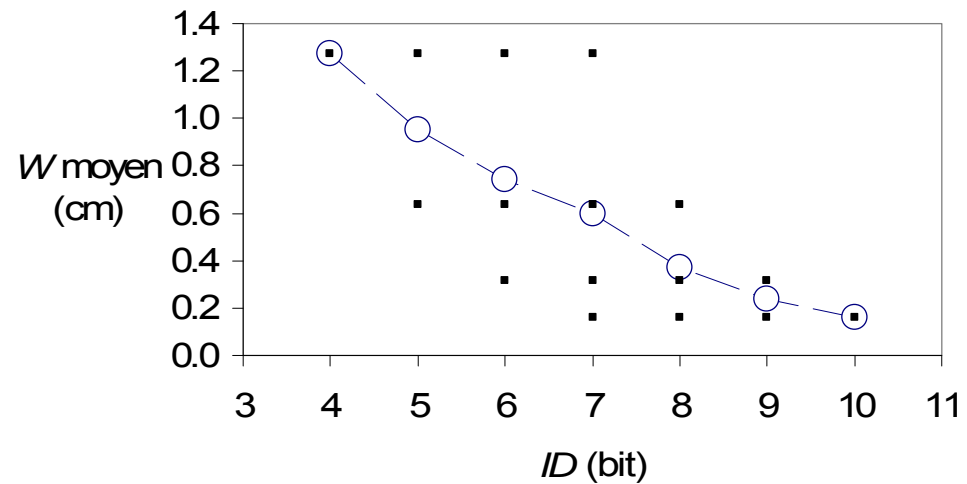
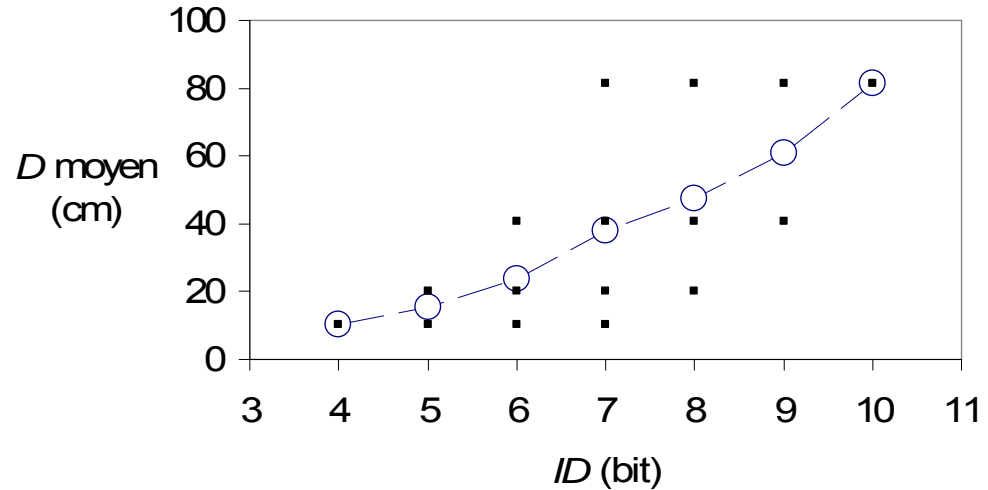
“The purpose of this analysis was to test whether target distance and target width has proportionally compensatory effects, as implied by Fitts' law. If such compensatory effects hold, then T should vary directly with D/W , and neither D nor W should have any residual effect on T beyond their contributions to the effect of D/W . ”

Options 1 et 2 non-hybridables

La question, qui n'a jamais été tranchée dans la littérature, n'a pas de sens

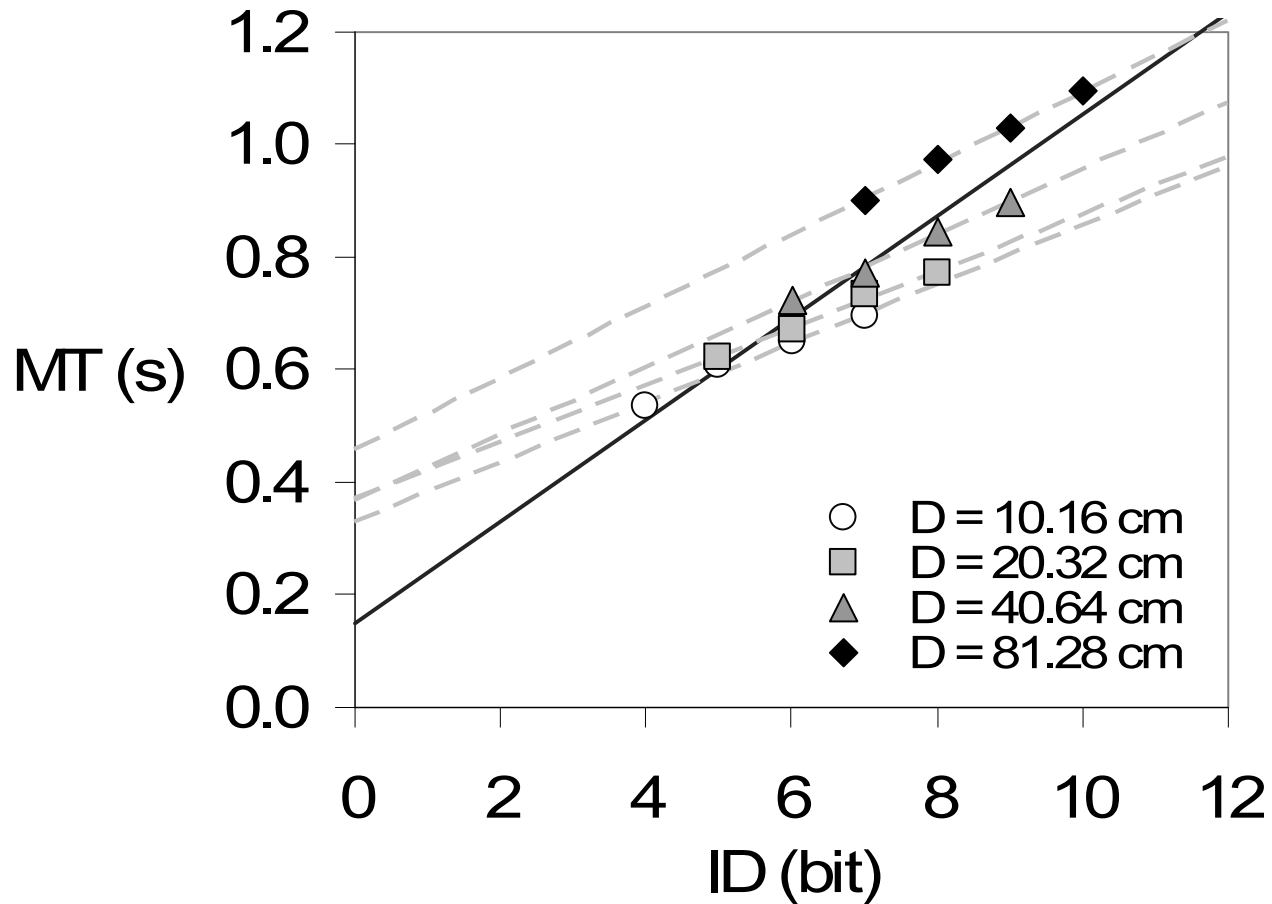
Erreurs classiques de mesure expérimentale

Fitts (1954, Exp. 2)



Erreurs classiques de mesure expérimentale

Fitts (1954, Exp. 2)



En résumé

- *À propos de la notion de fonction d'échange*
 - Deux assertions équivalentes du point de vue calculatoire ne sont pas équivalentes du point de vue de leur puissance d'évocation théorique
- *Loi d'Accot et Zhai seulement intelligible comme une fonction d'échange entre temps et imprécision*
- *À propos des écritures fractionnaires*
 - Une ambiguïté formellement oiseuse peut recéler un important problème théorique
 - *Seulement 2 DL pour expliquer Fitts et A&Z*
 - *Pas la même causalité*
 - *Fitts: $T = f(Q)$, avec T indépendant de l'échelle*
 - *A&Z: $T = f(D, W)$*