

# **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

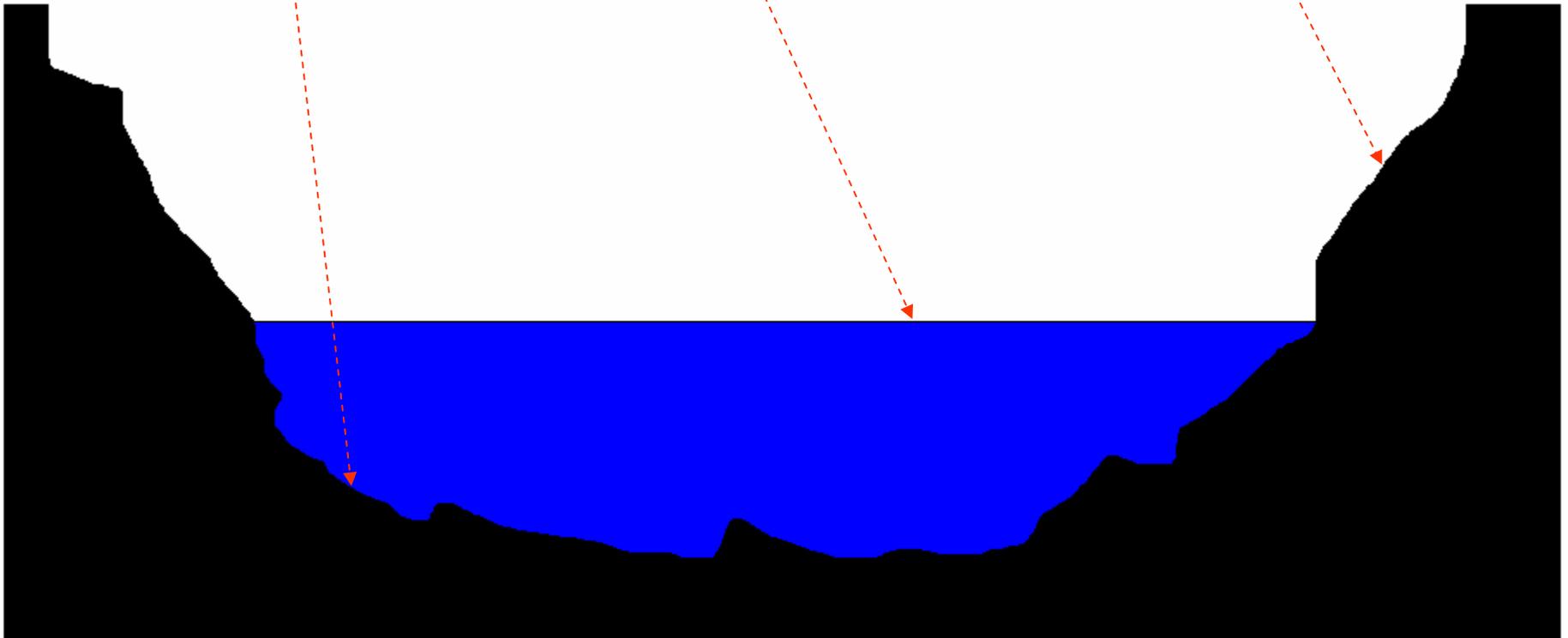
# PLAN

- 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



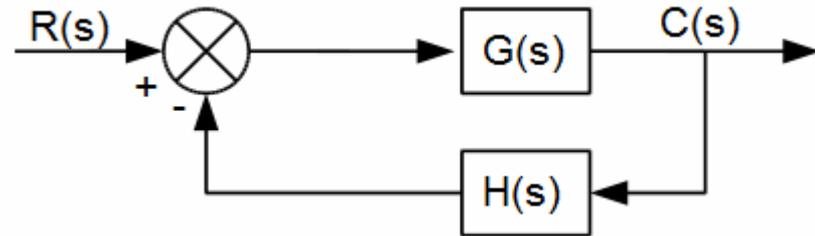
## Problèmes d'appellation

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

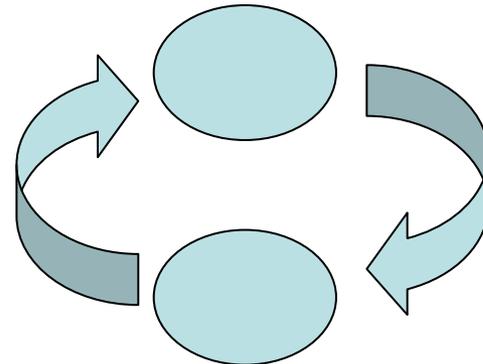
I = *Interfaces* = *Interaction* entrées-sorties

Machine? IHM ≠ ergonomie

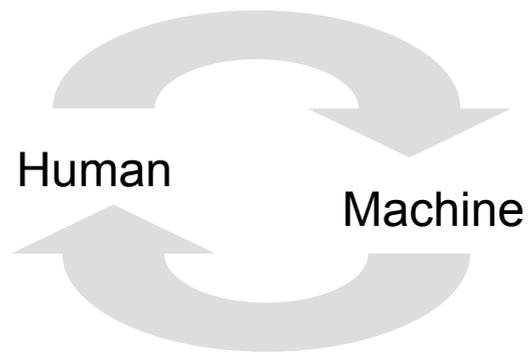
Rétroaction (feedback) = asymétrie



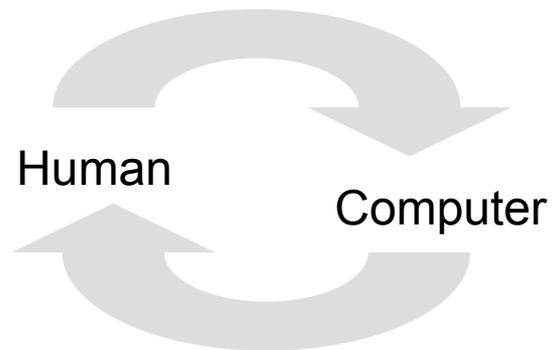
Interaction = symétrie



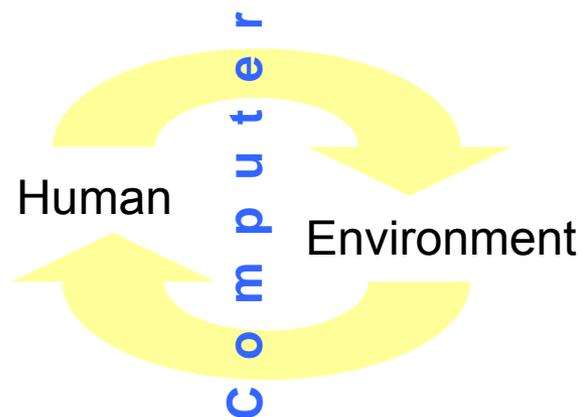
- *Interaction* = Le sujet central de la psychologie  
interaction humain-environment = perception  
+ cognition  
+ action
- IHM: environnements de synthèse  
Mondes “électroniques”  
Mondes cinématique par opp. à dynamique



“*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

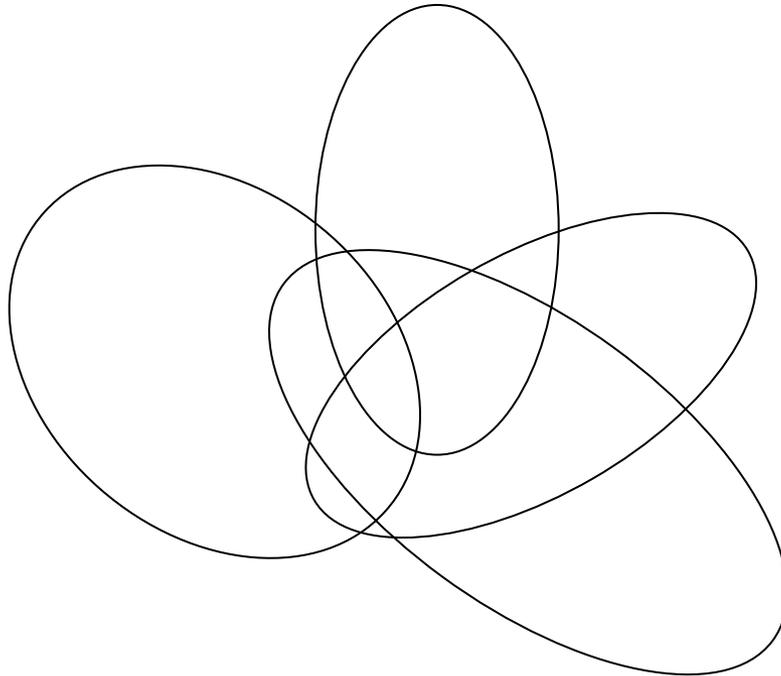
Augmented environments

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

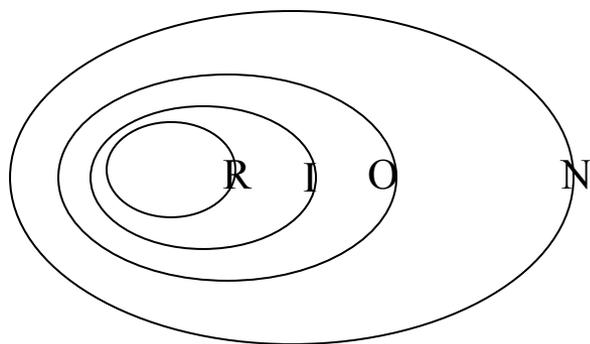
– Niveau de la mesure

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

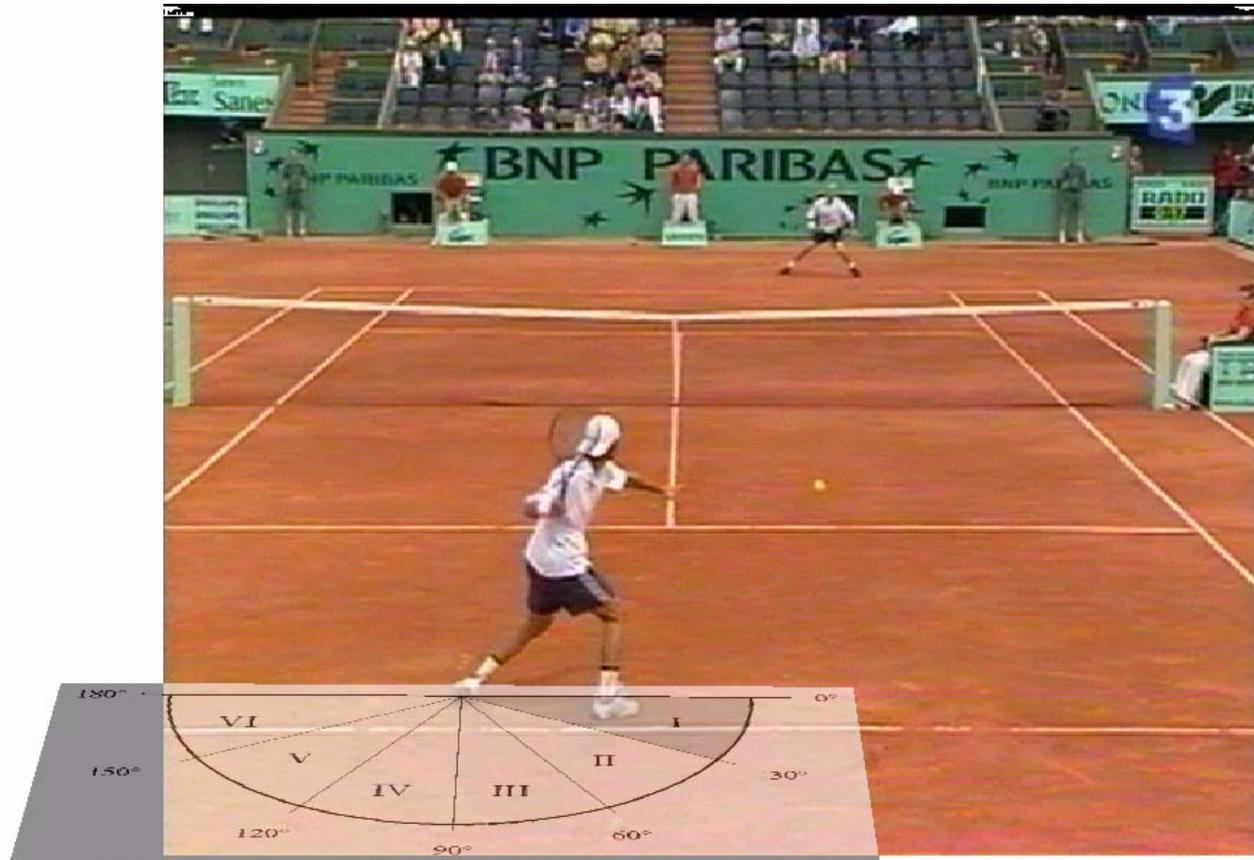
Echelle ordinale e.g., glacial, froid, tiède, chaud, brûlant

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

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

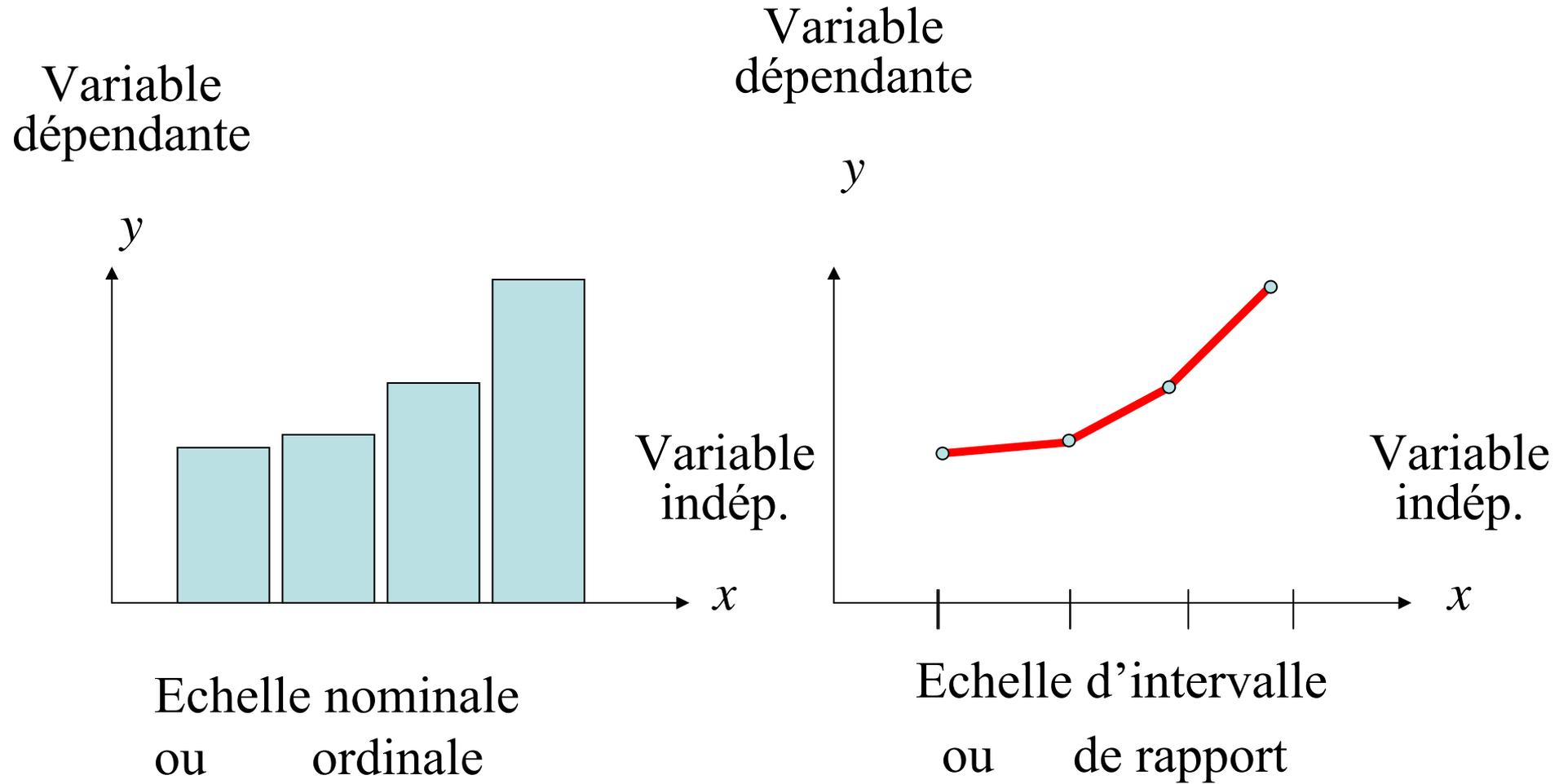


Un exemple: l'orientation des appuis au sol chez les joueurs de tennis professionnels



**précision de la mesure** faible (à  $30^\circ$  près), échelle **discrète**  
**niveau de mesure** élevé (échelle de rapport)

## Histogrammes vs. courbes



# Echelle de notation commune dans les universités US

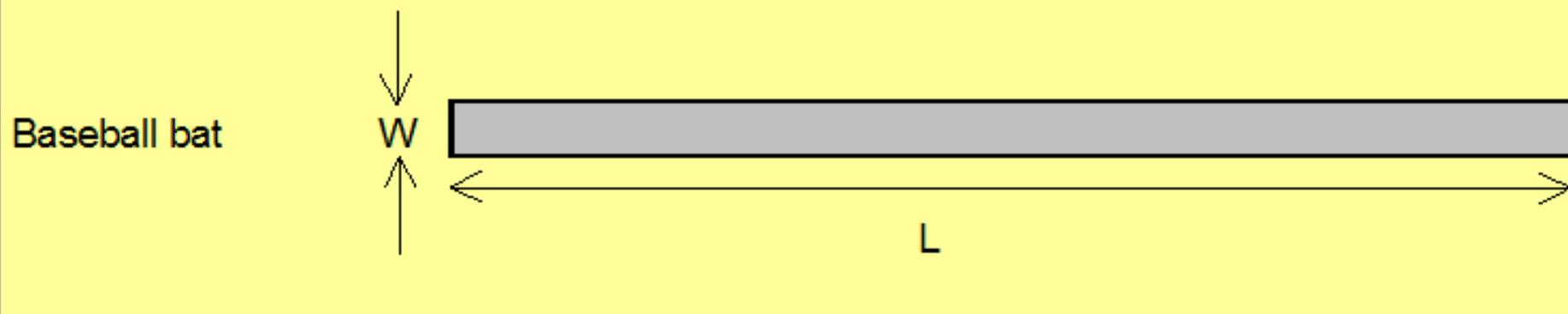
avec la conversion numérique utilisée à Vassar College (New York)

A	A <sub>-</sub>	B <sub>+</sub>	B	B <sub>-</sub>	C <sub>+</sub>	C	C <sub>-</sub>	D <sub>+</sub>	D	D <sub>-</sub>		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>

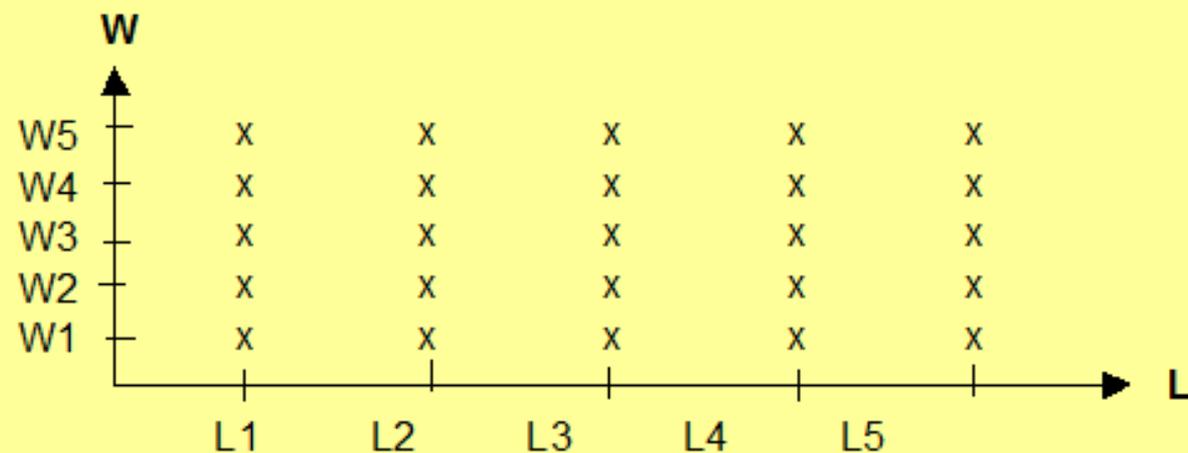
## **2.3. Dissocier (dé-corréler) les variables indépendantes**



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

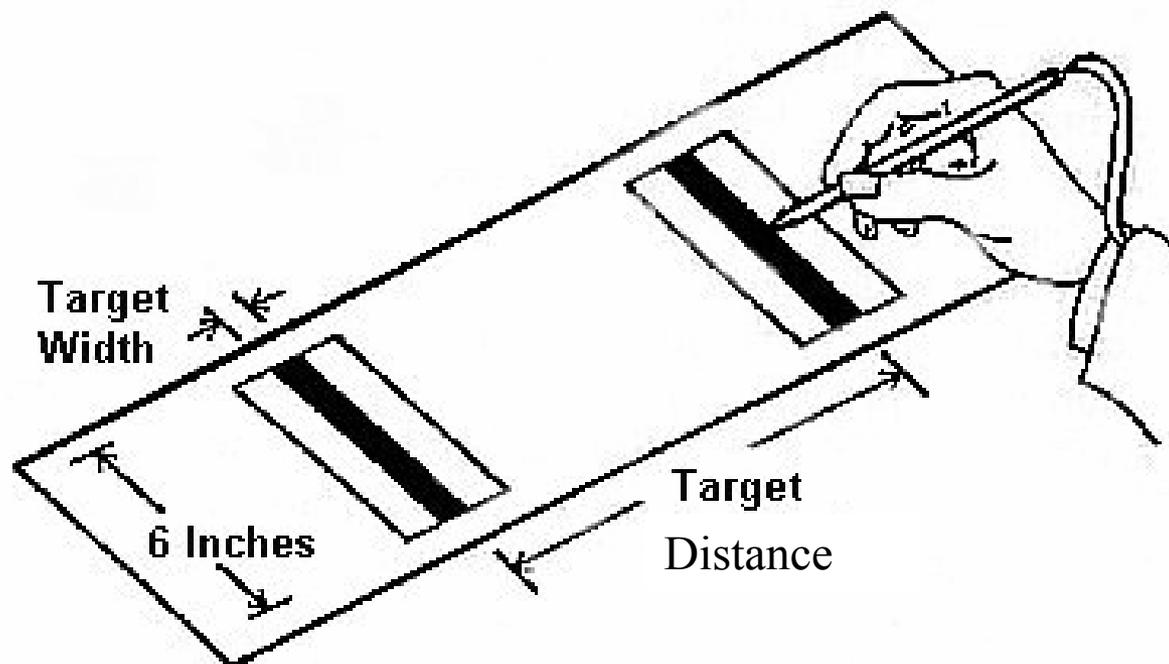
Nature du périphérique / nombre et nature des dimensions de l'espace du mouvement / ordre du contrôle / taille, nombre et forme des cibles / contrôle direct ou indirect / motivation de l'acteur du mouvement, etc.

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***

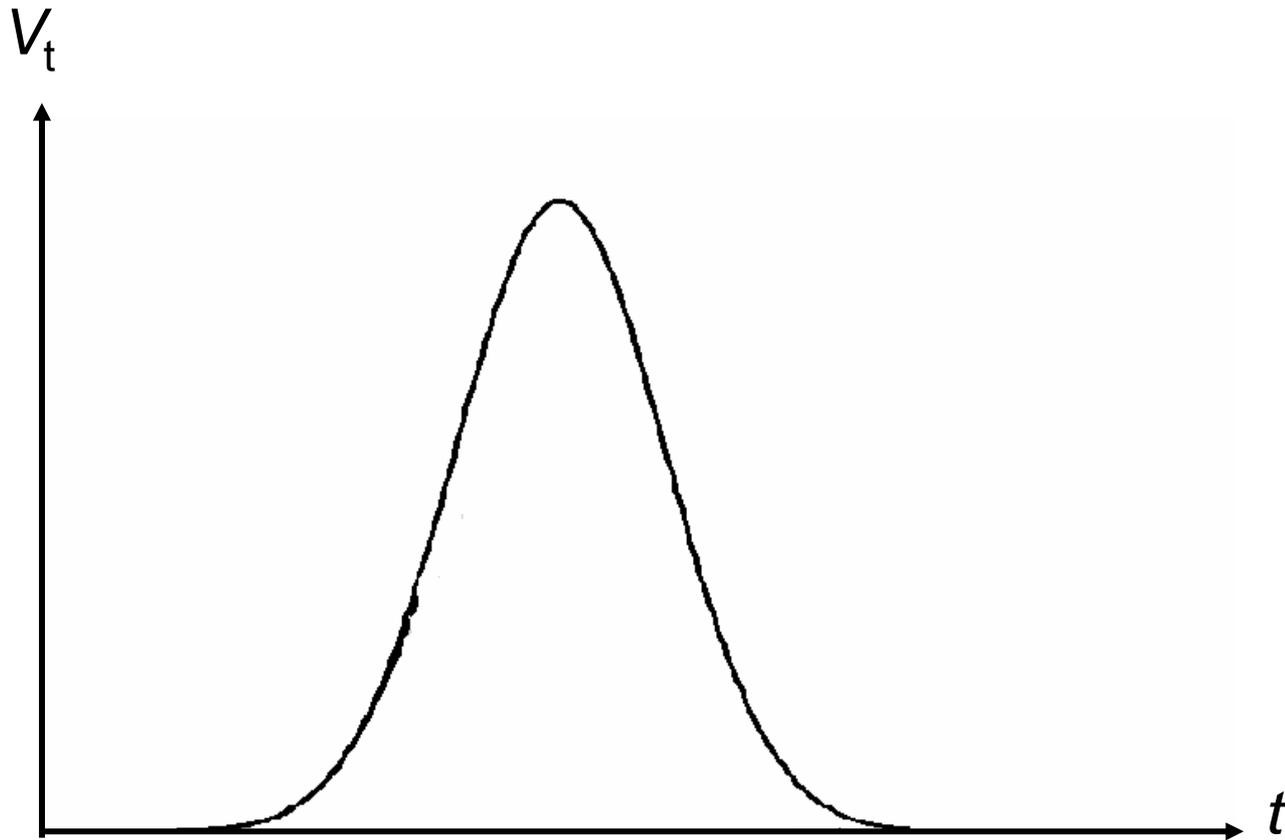
Variables indépendantes

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

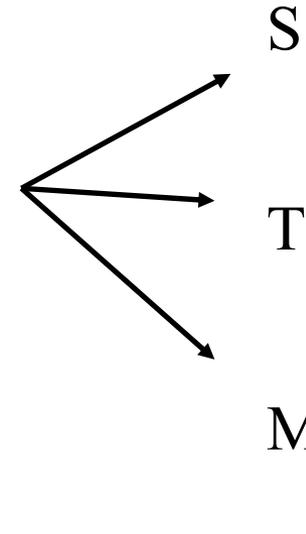
## 2.4. Planifier une expérience : la procédure expérimentale

### *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	<b>S</b>									

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	<b>M</b>									

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	<b>S</b>									

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	<b>M</b>									

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

<b>S</b>	T	<b>M</b>
<b>M</b>	<b>S</b>	T
T	<b>M</b>	<b>S</b>

<b>S</b>	<b>M</b>	T
T	<b>S</b>	<b>M</b>
<b>M</b>	T	<b>S</b>

T	<b>M</b>	<b>S</b>
<b>M</b>	<b>S</b>	T
<b>S</b>	T	<b>M</b>

Rang moyen du bloc avec S = 5

Rang moyen du bloc avec T = 5

Rang moyen du bloc avec M = 5

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

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

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

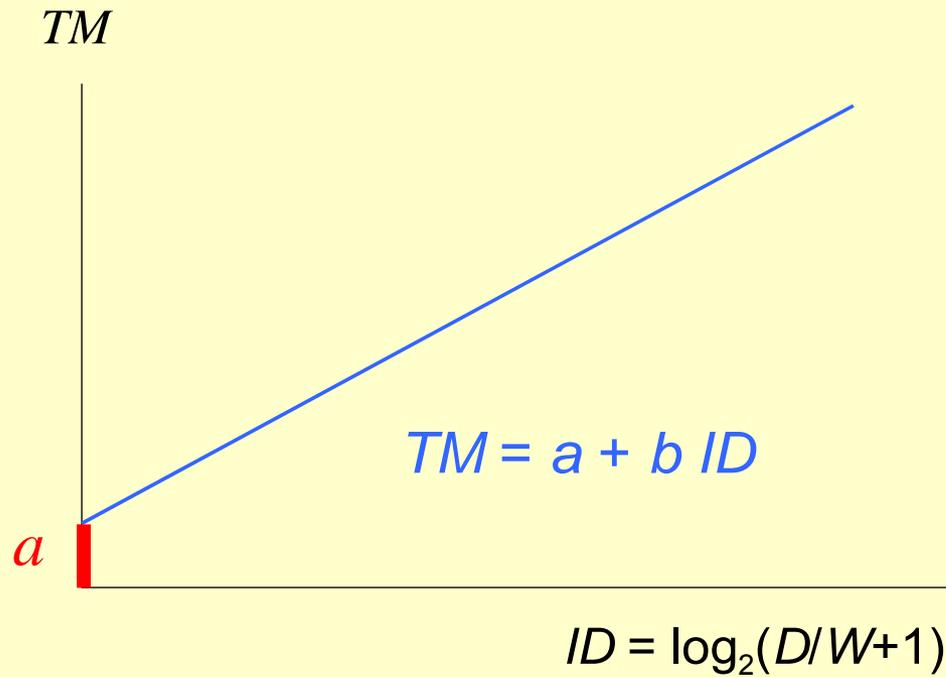
– Si (2) est vrai, alors

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

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

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

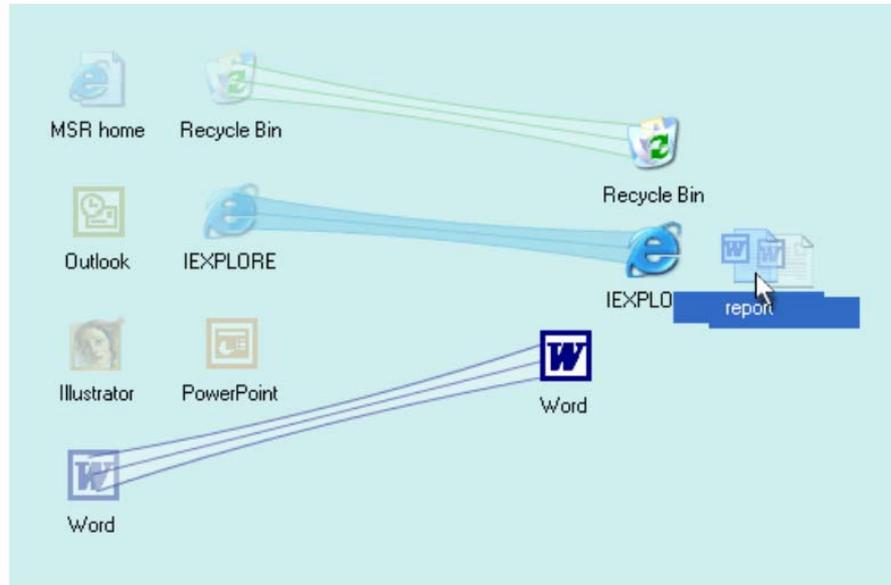
*ID*

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*.

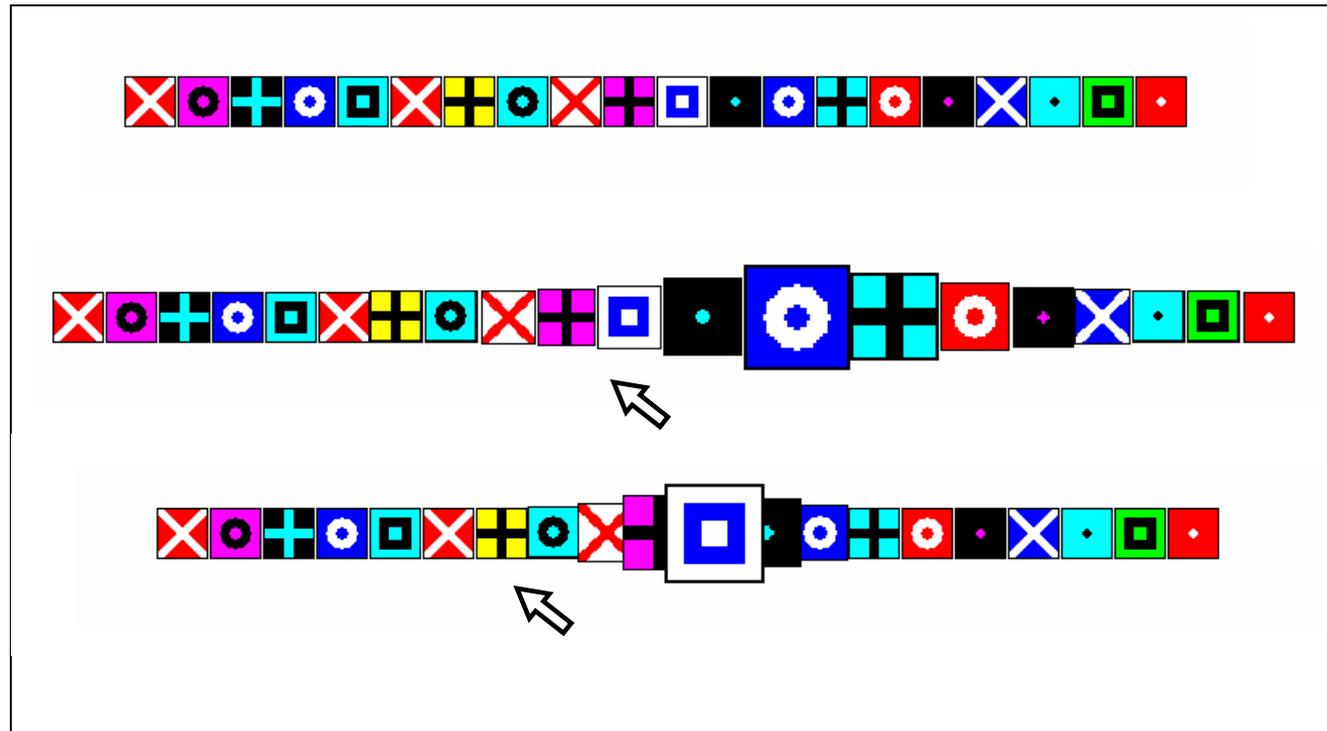
<http://www.patrickbaudisch.com/projects/dragandpop/demo/dragandpop.swf>.

## 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**



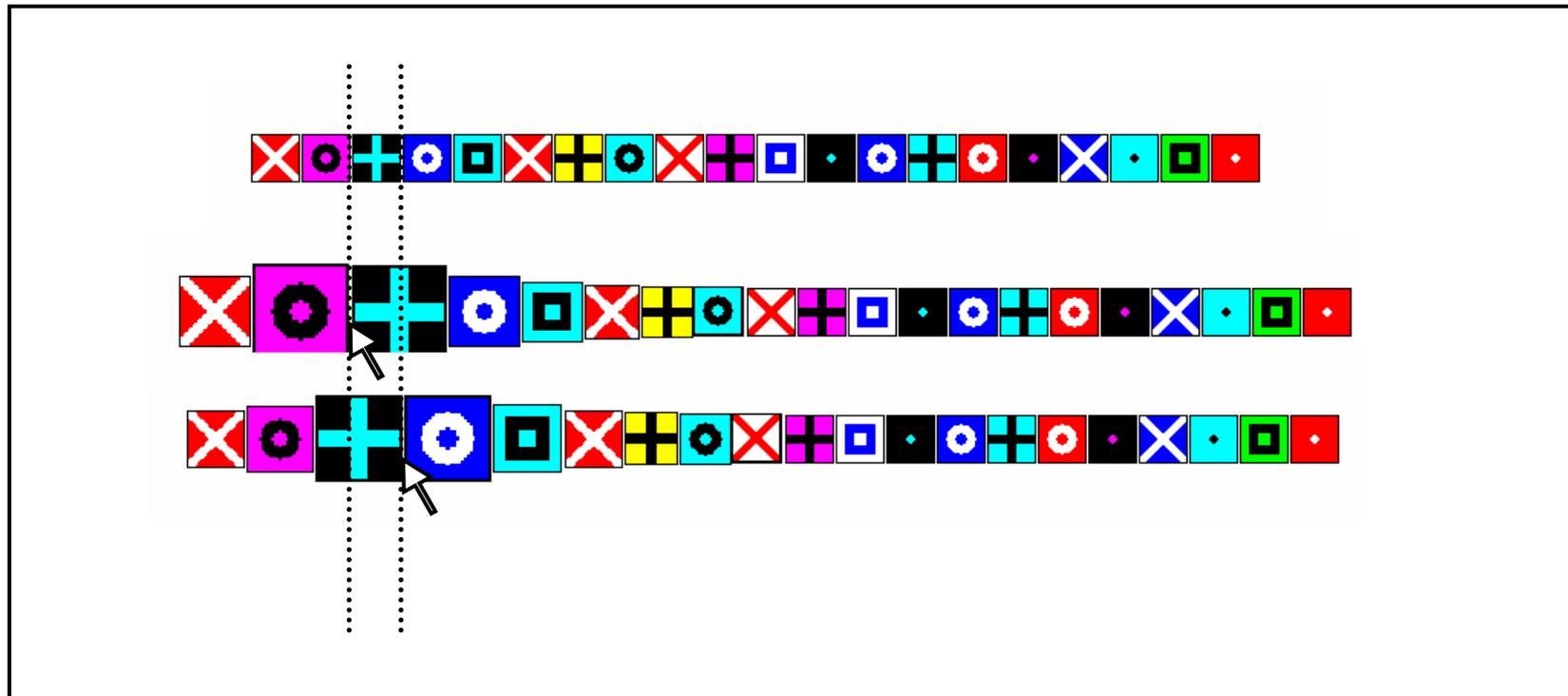
Mac OS X

Idem +  
occlusion

## 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.*

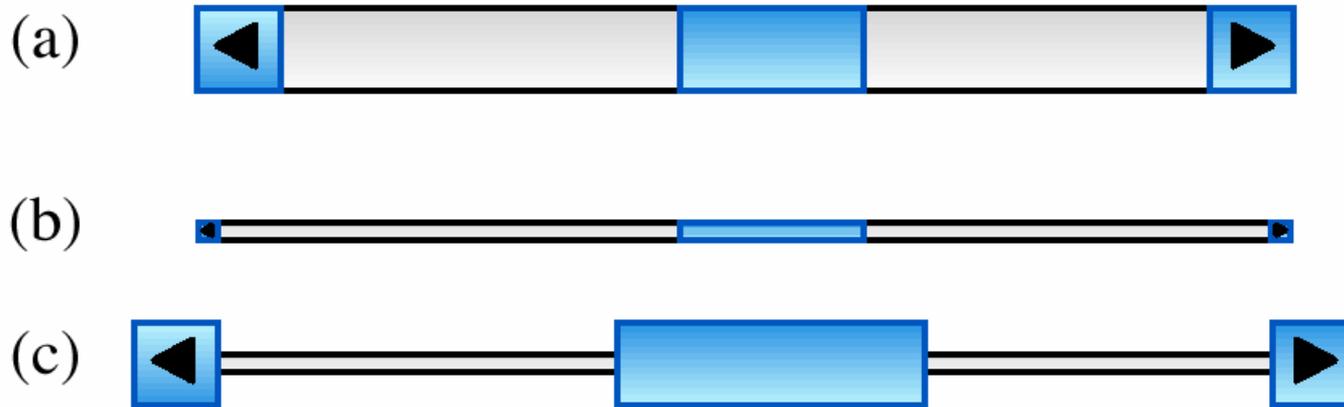
### ***DEMO*** ***PROTOTYPE***

#### *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

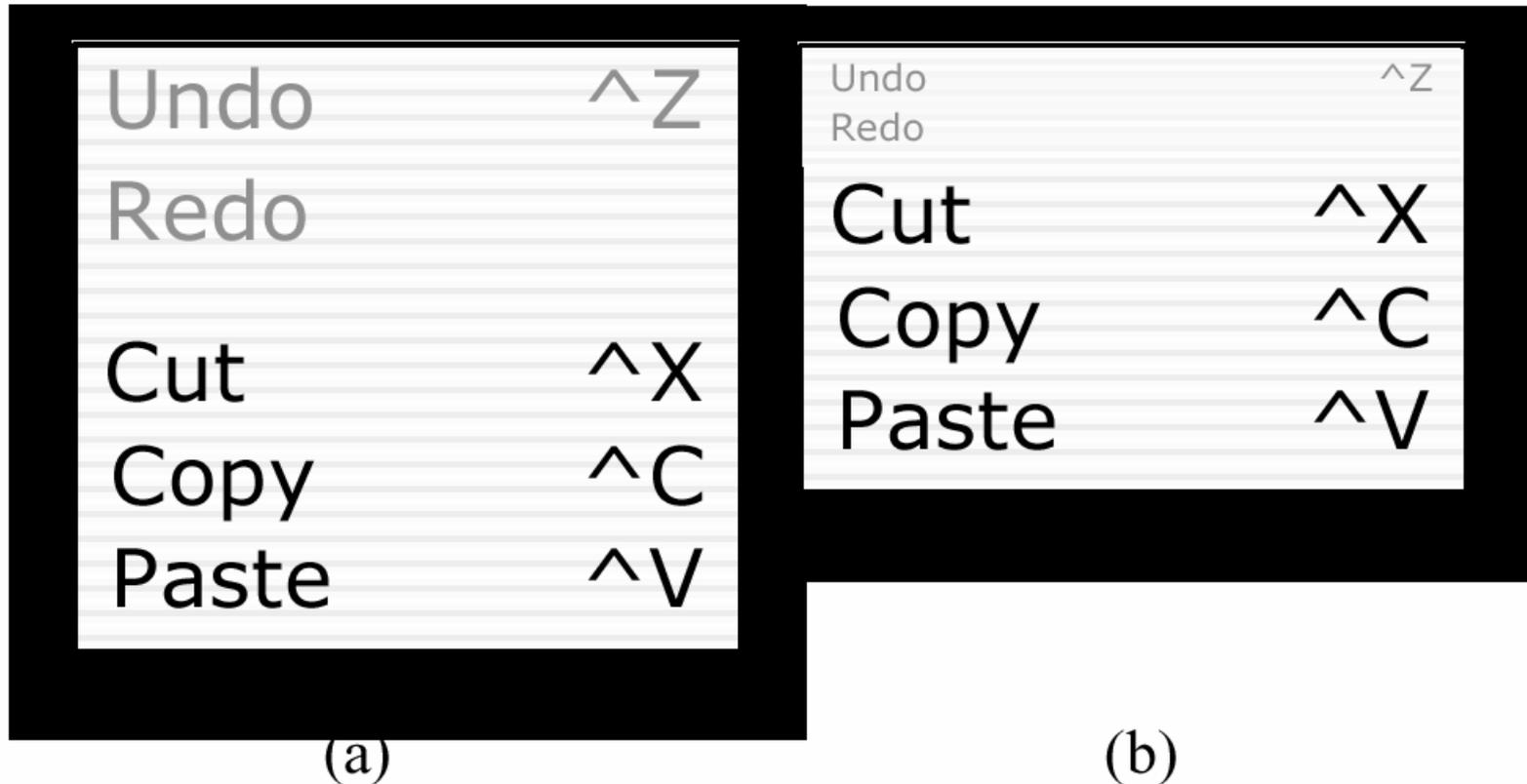


**Figure 14: Scroll-bar redesign**

(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](#)

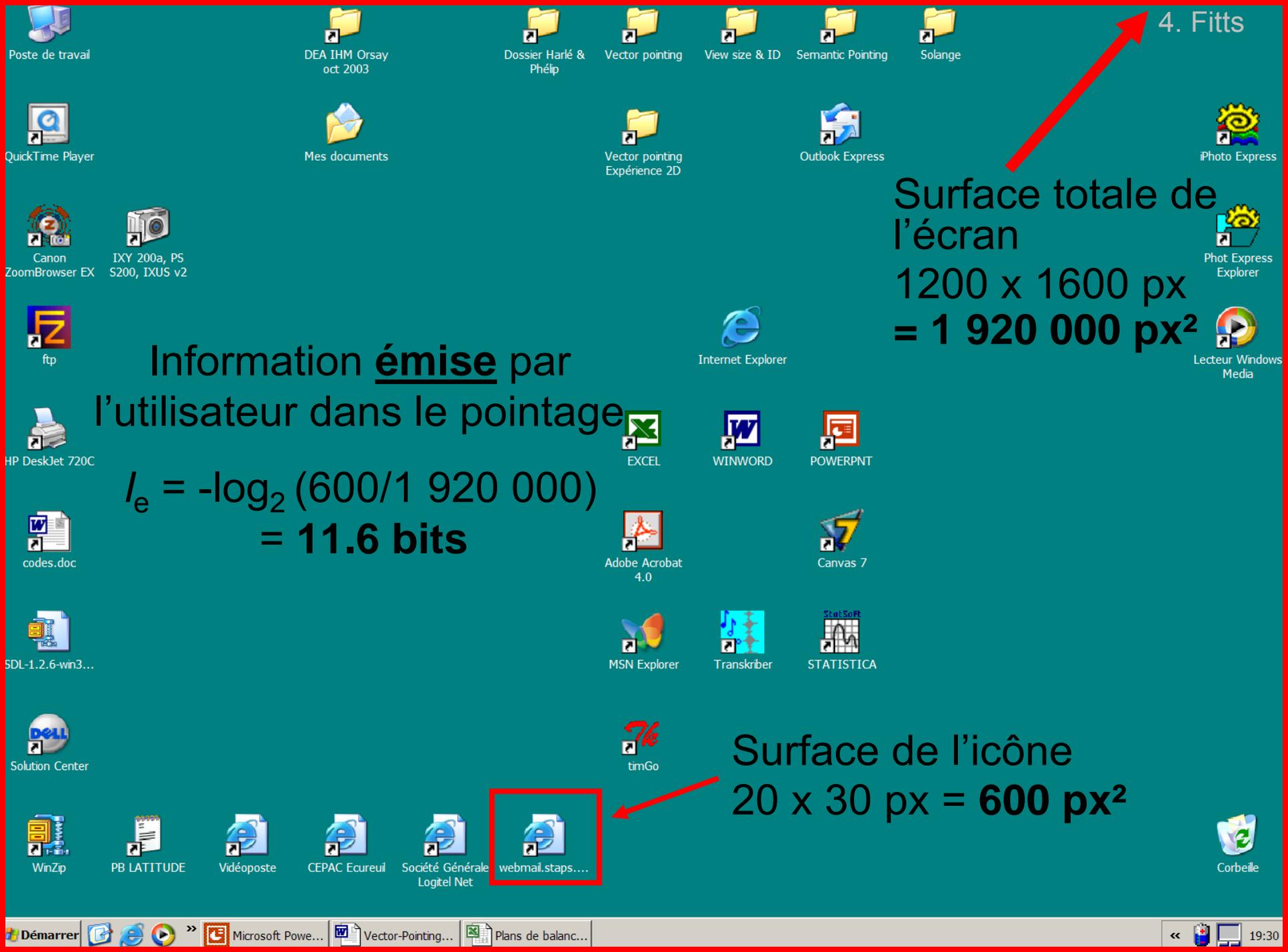


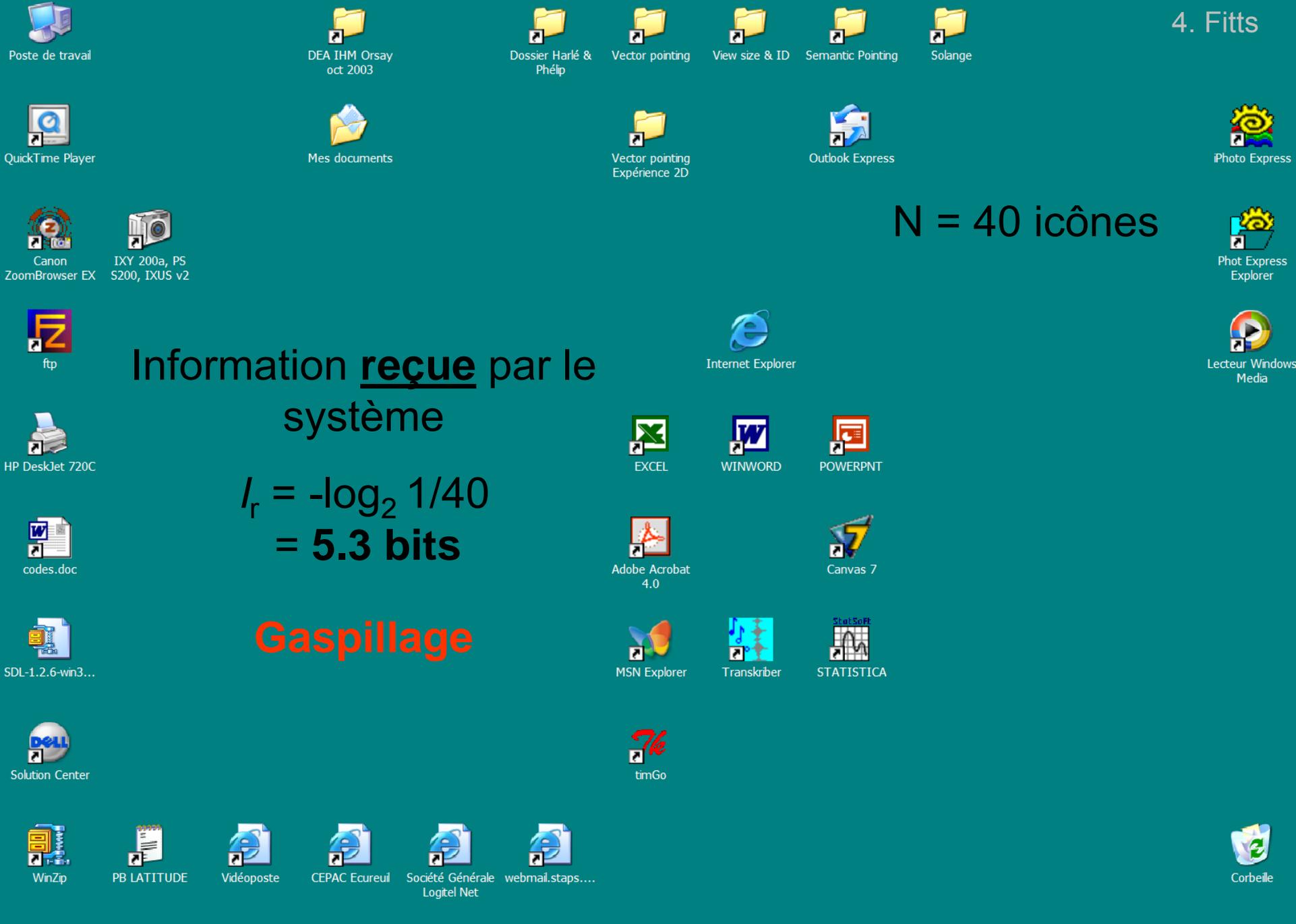
Surface totale de l'écran  
1200 x 1600 px  
= 1 920 000 px<sup>2</sup>

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 px<sup>2</sup>





N = 40 icônes

Information reçue par le système

$$I_r = -\log_2 1/40$$

$$= 5.3 \text{ bits}$$

**Gaspillage**

# 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

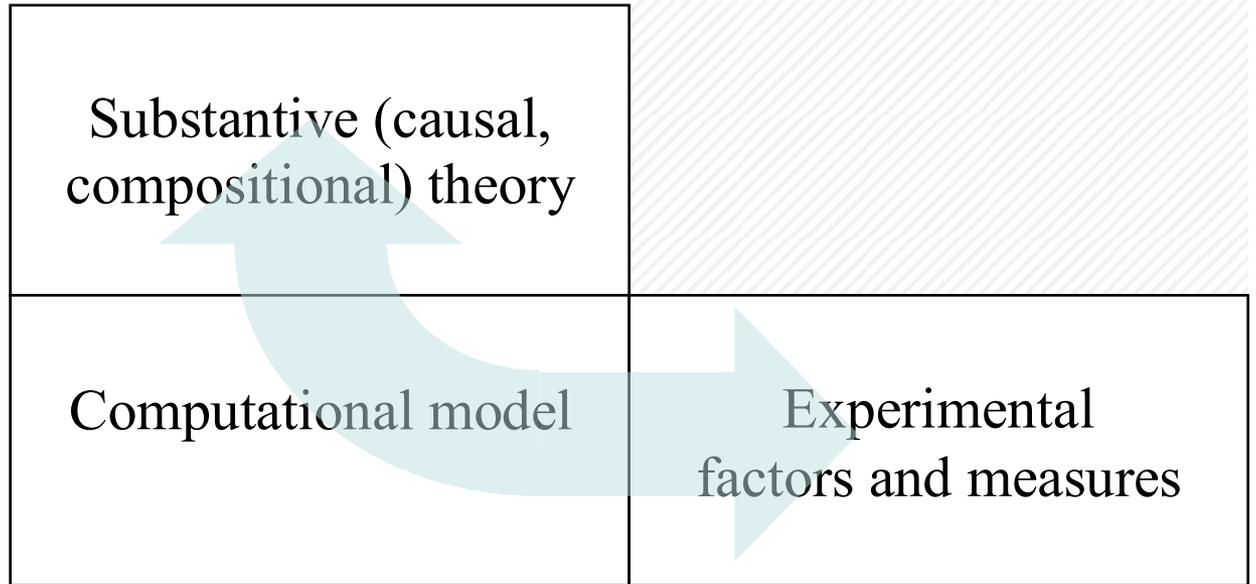
SOFT INFERENCES  
ON SEMANTICALLY  
RICH ENTITIES

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

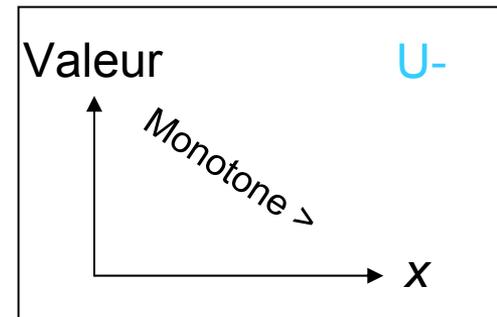
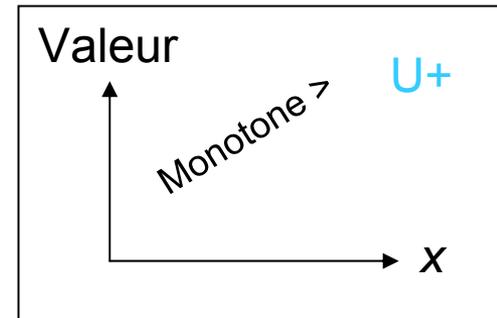
# Notion de fonction d'échange

- **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*

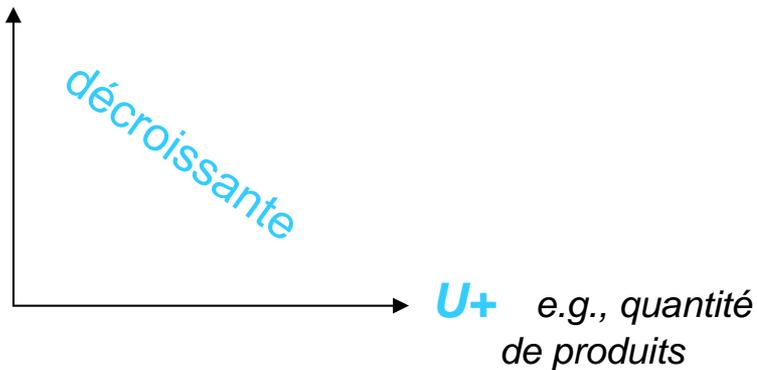
- Energie potentielle
- Ressources financières
- Capacité de travail
- Attention
- Capacité de transmission de l'information (Fitts, 1954)
- Capacité de traitement de l'information (Fitts & Peterson, 1964)
- etc.

# Notion de fonction d'échange

## Conflit entre deux utilités

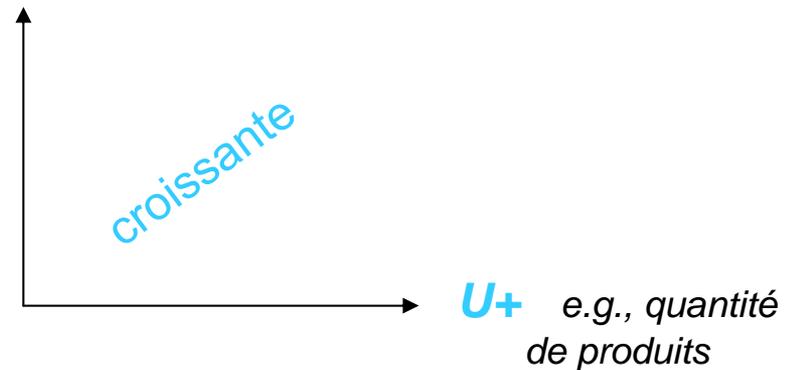
Utilités de mêmes signes

**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

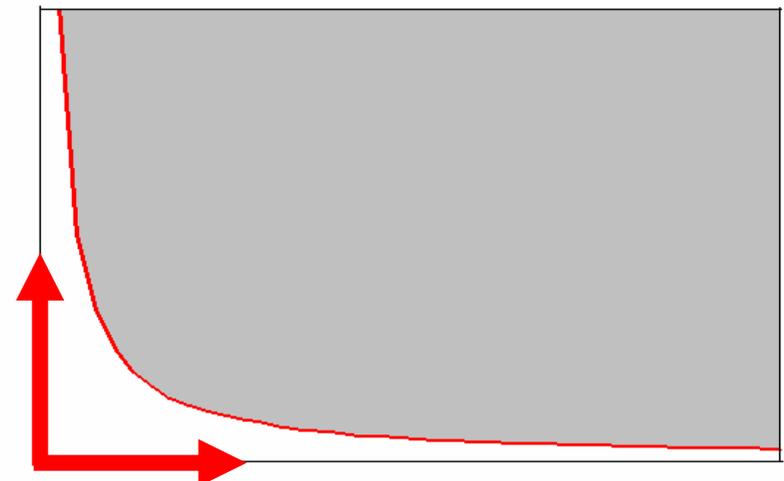
La courbe:

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

□ Possible  
■ Impossible

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

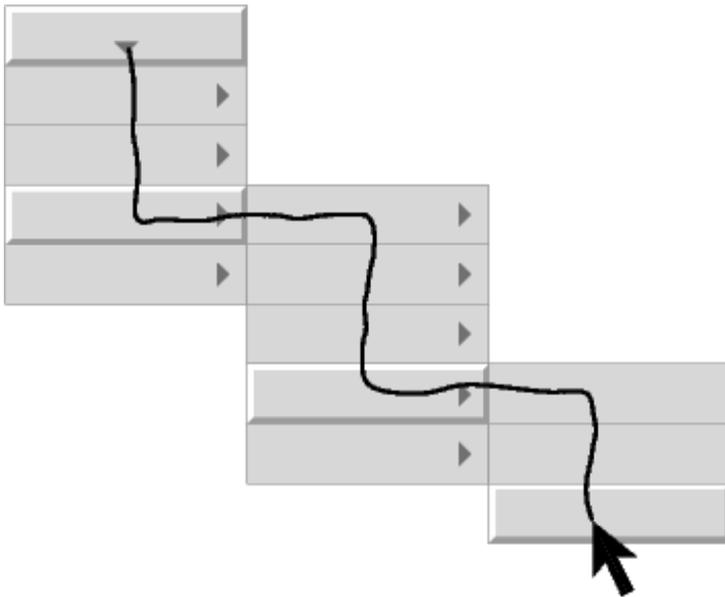
Nombre  
d' articles  
produits



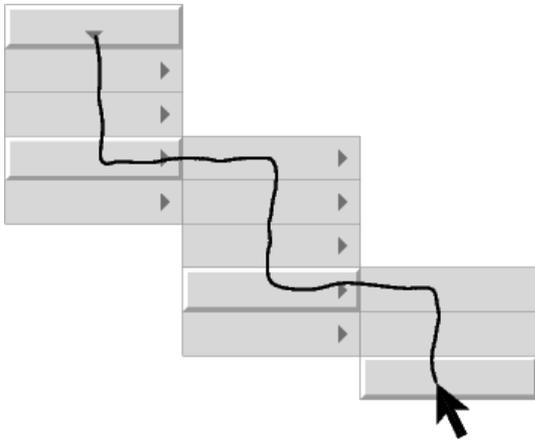
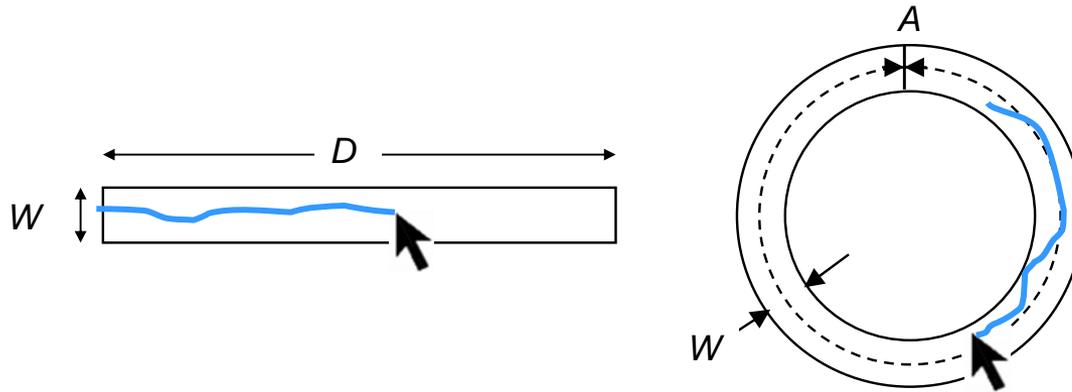
Qualité moyenne de l'article

# Illustration

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



# Chemin à courbure et tolérance constantes

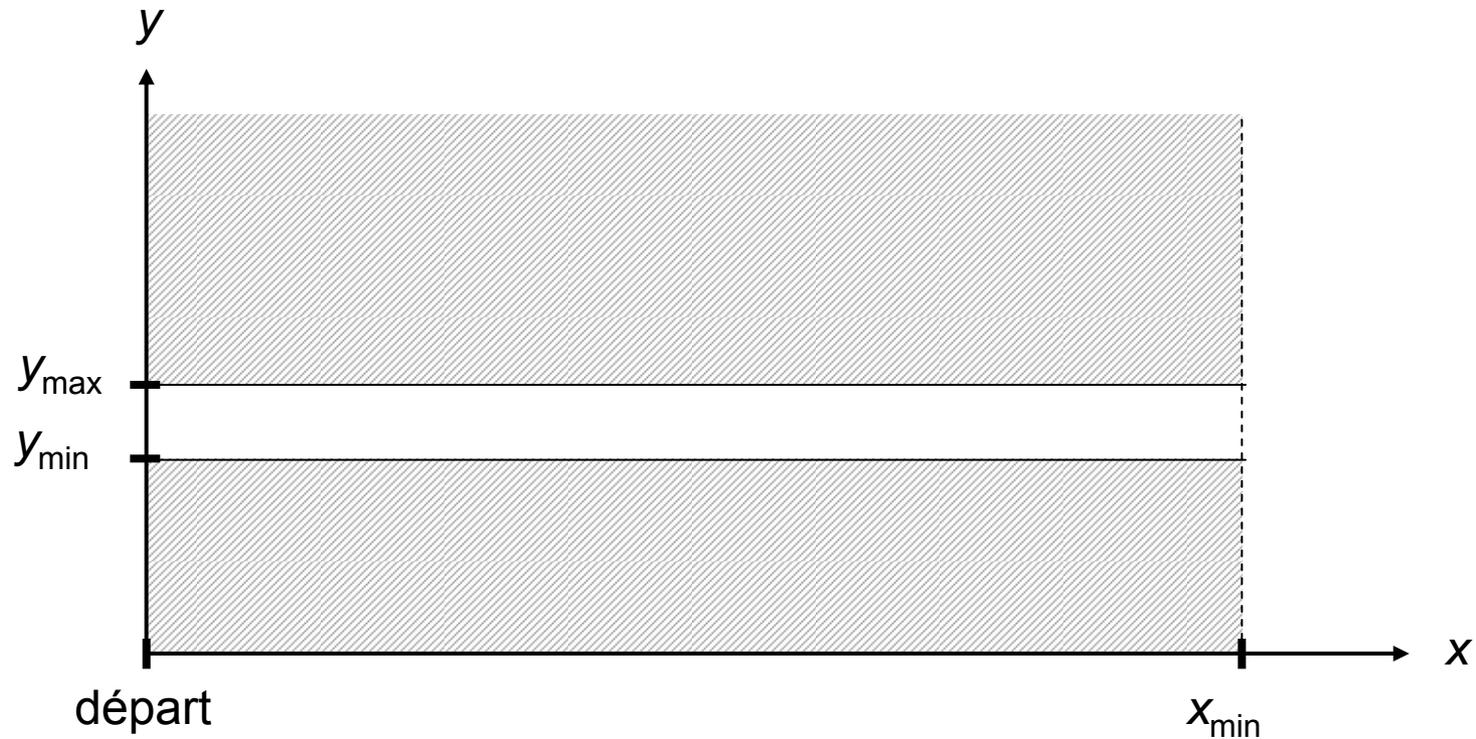


Loi globale d'A&Z

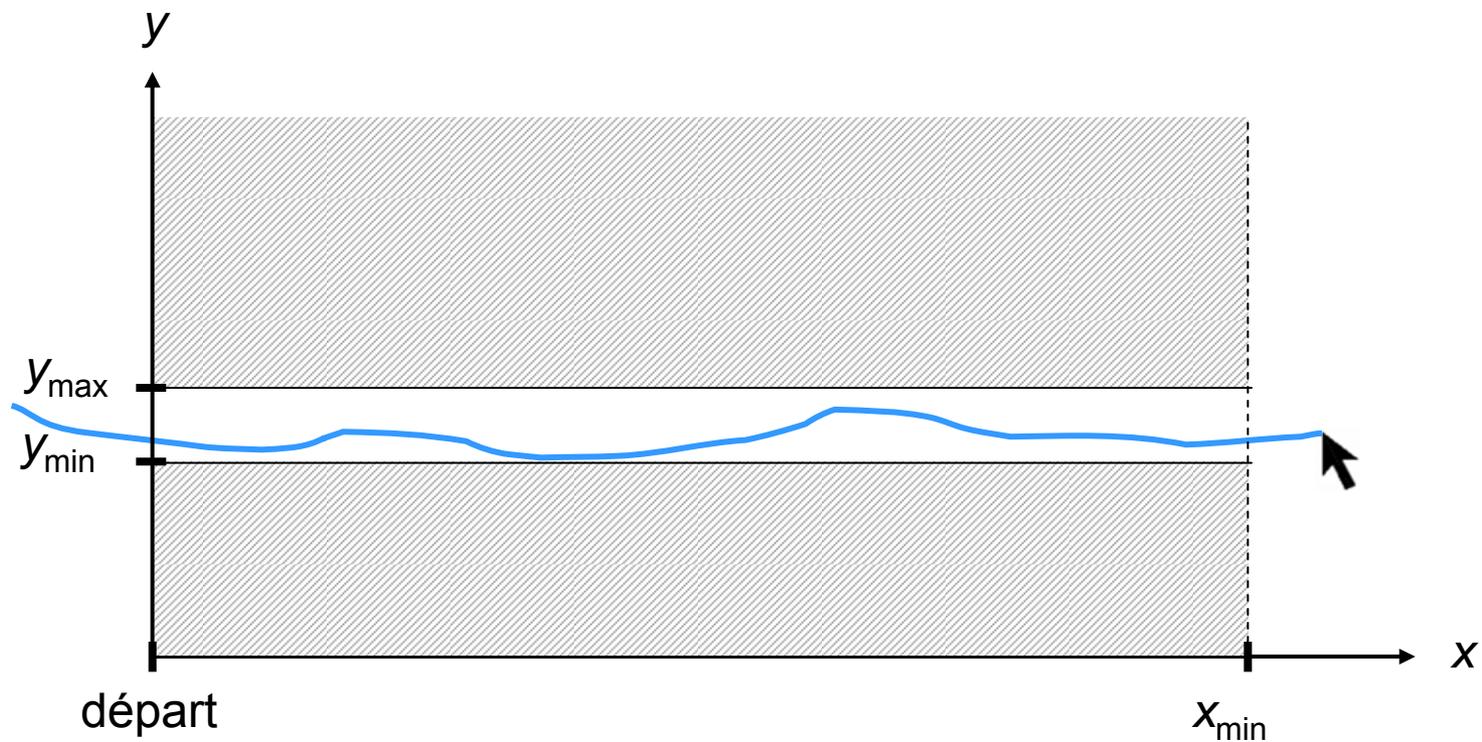
$$T = a * \frac{D}{W} + b$$

Similaire à la loi de Fitts, sans le log

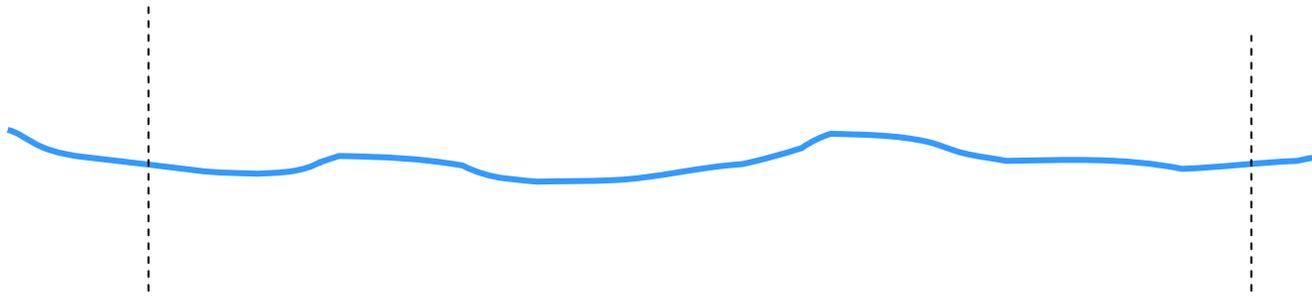
# Mouvement canalisé: A&Z (1997)



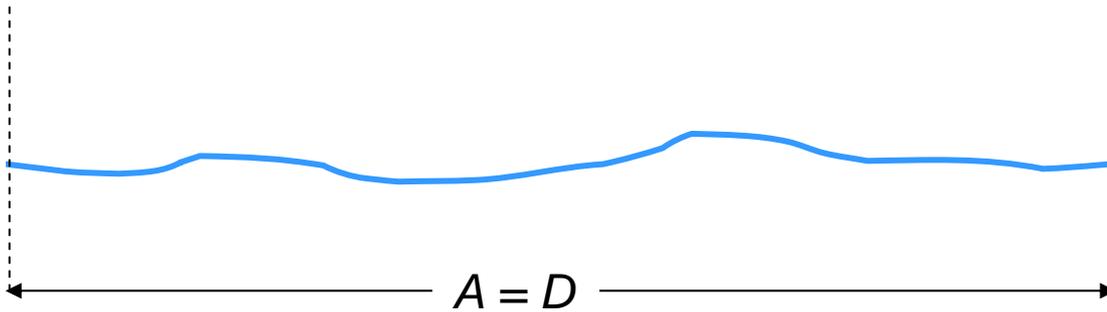
# Mouvement canalisé: A&Z (1997)



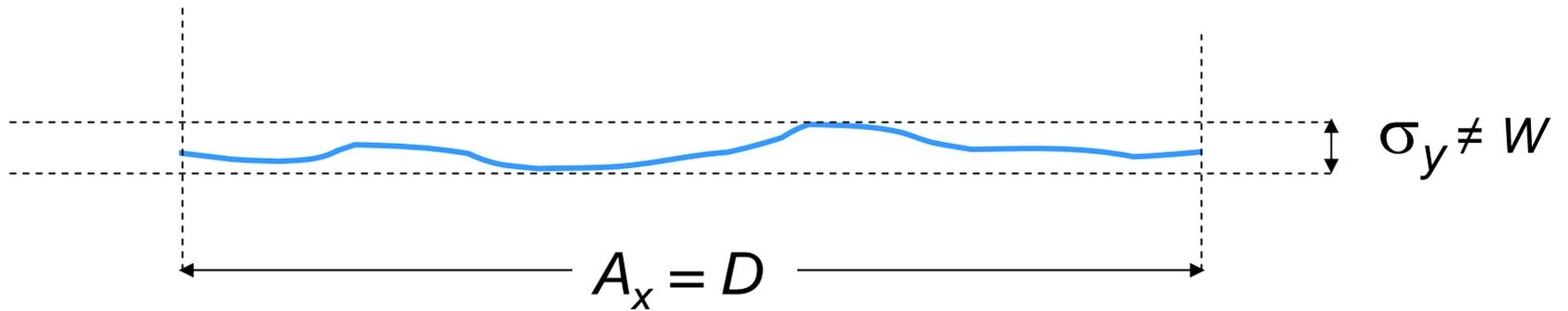
# Mouvement canalisé: A&Z (1997)



# Mouvement canalisé: A&Z (1997)



# Mouvement canalisé: A&Z (1997)



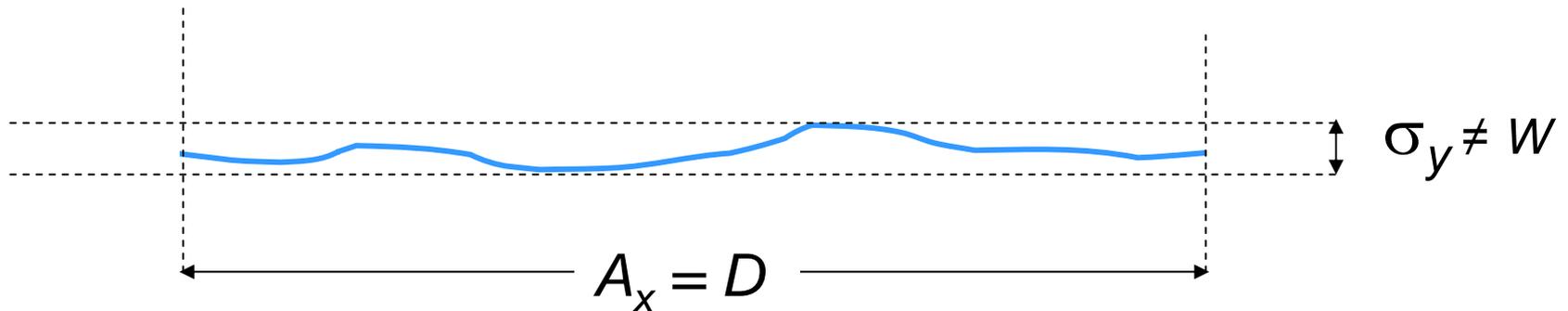
# Mouvement canalisé: A&Z (1997)

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

formulation chemin

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

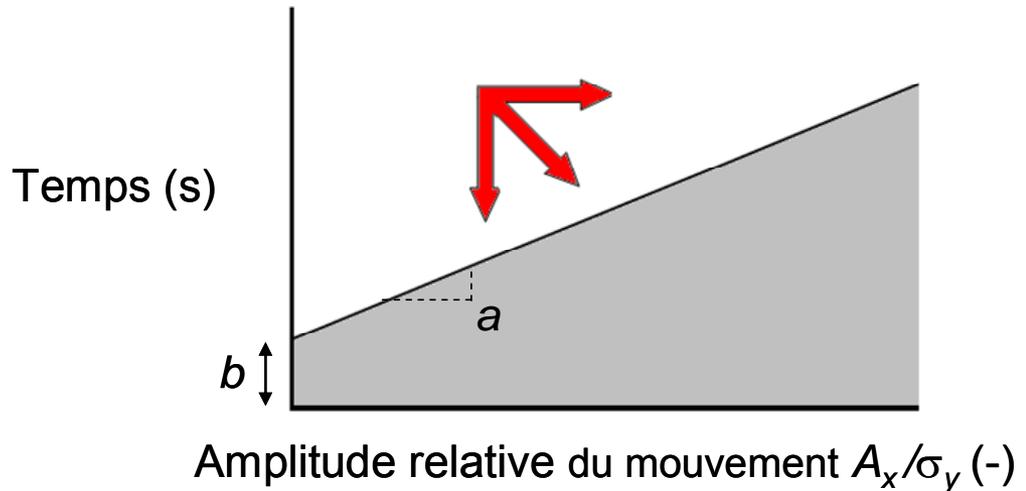
formulation mouvement



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

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

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



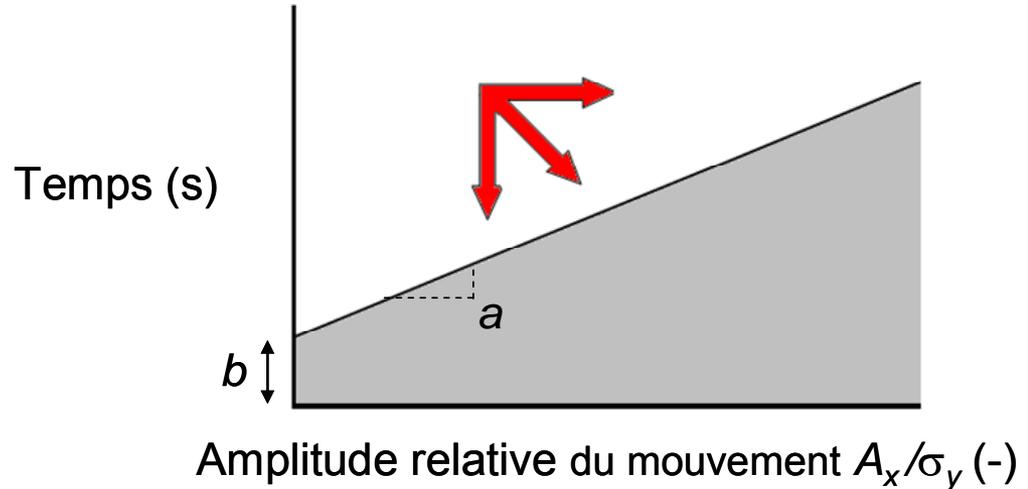
### Problèmes de terminologie!

- 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  $A_x/\sigma_{Ay}$  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

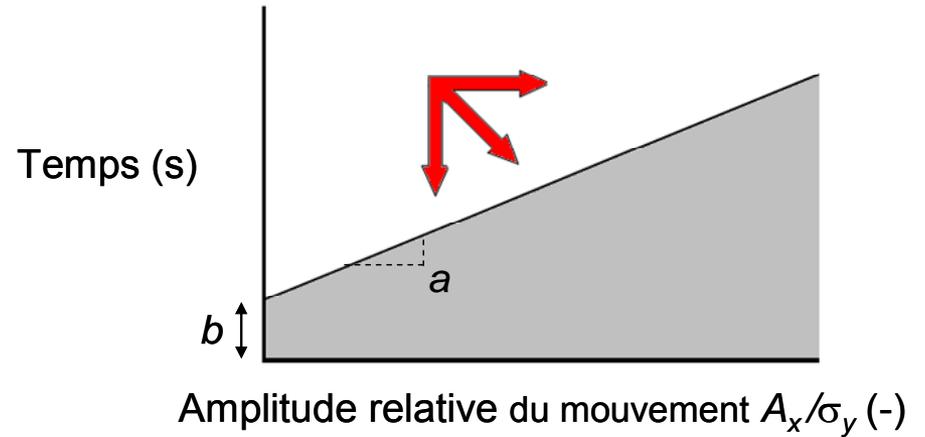
$$\sum (x - m)^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}$$

Formule conceptuelle

Formule calculatoire

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

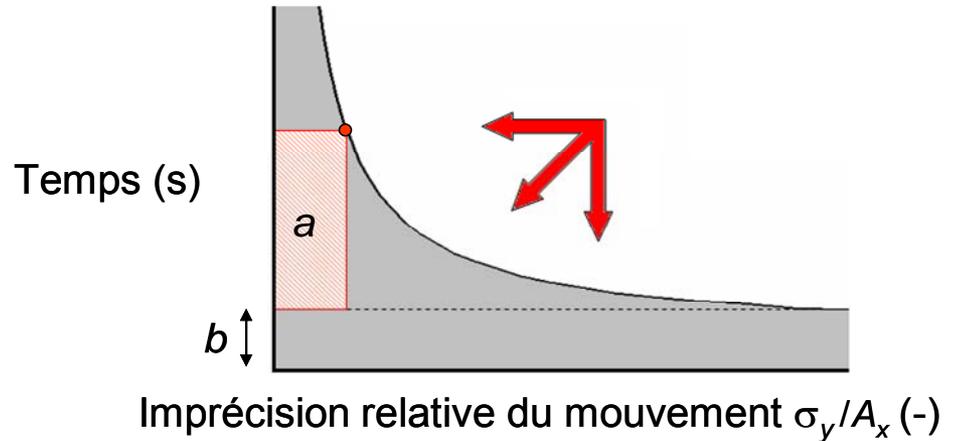
$$T = a * \frac{D}{W} + b$$



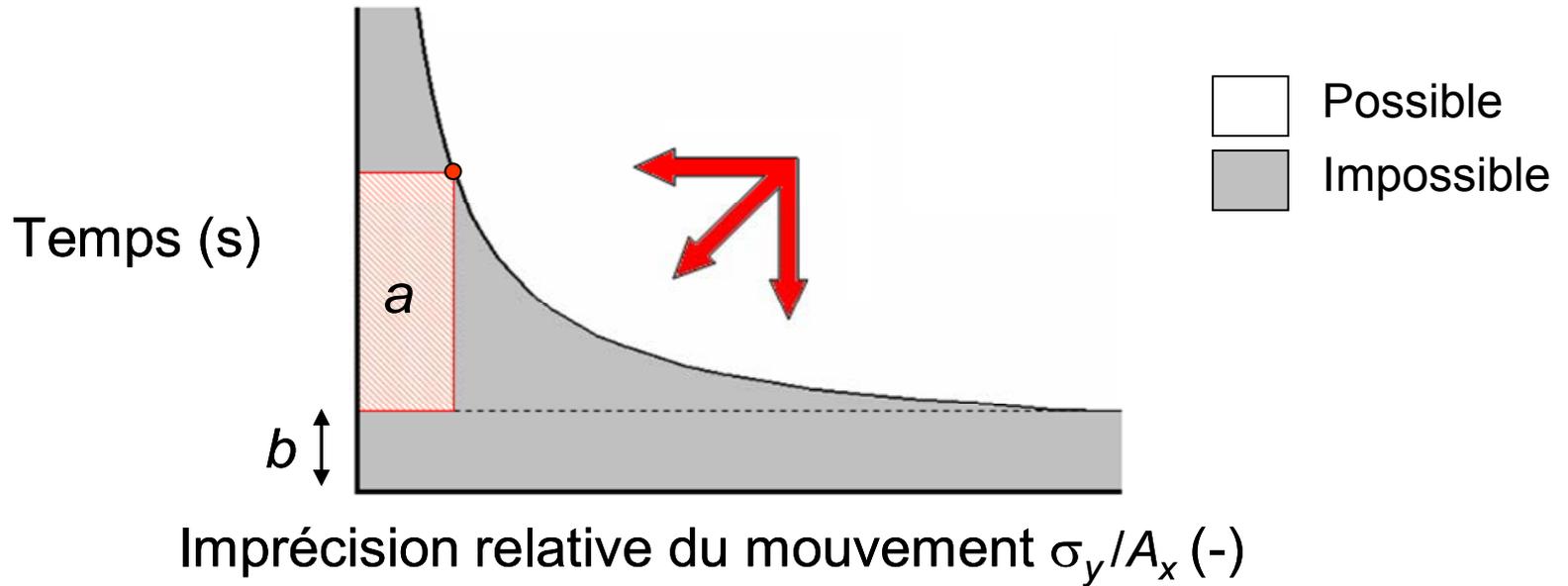
Reformulation **conceptuelle** de la loi d'A&Z

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

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



# 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:*

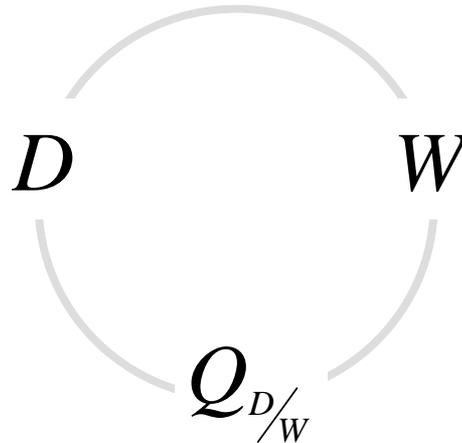
**Pour les calculs dans le modèle formel**

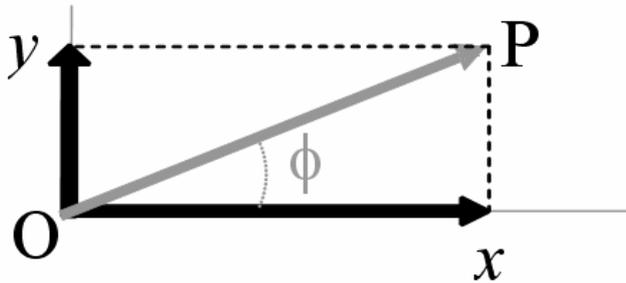
**3 nombres:** le numérateur  $D$ , le dénominateur  $W$  et le quotient  $Q_{D/W}$

**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

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

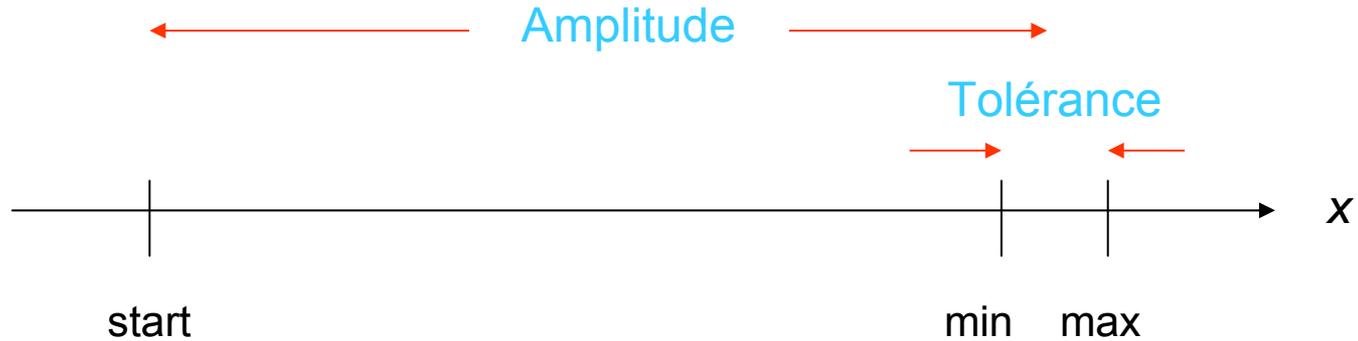
### **Spécification polaire de l'écriture $D/W$ :**

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



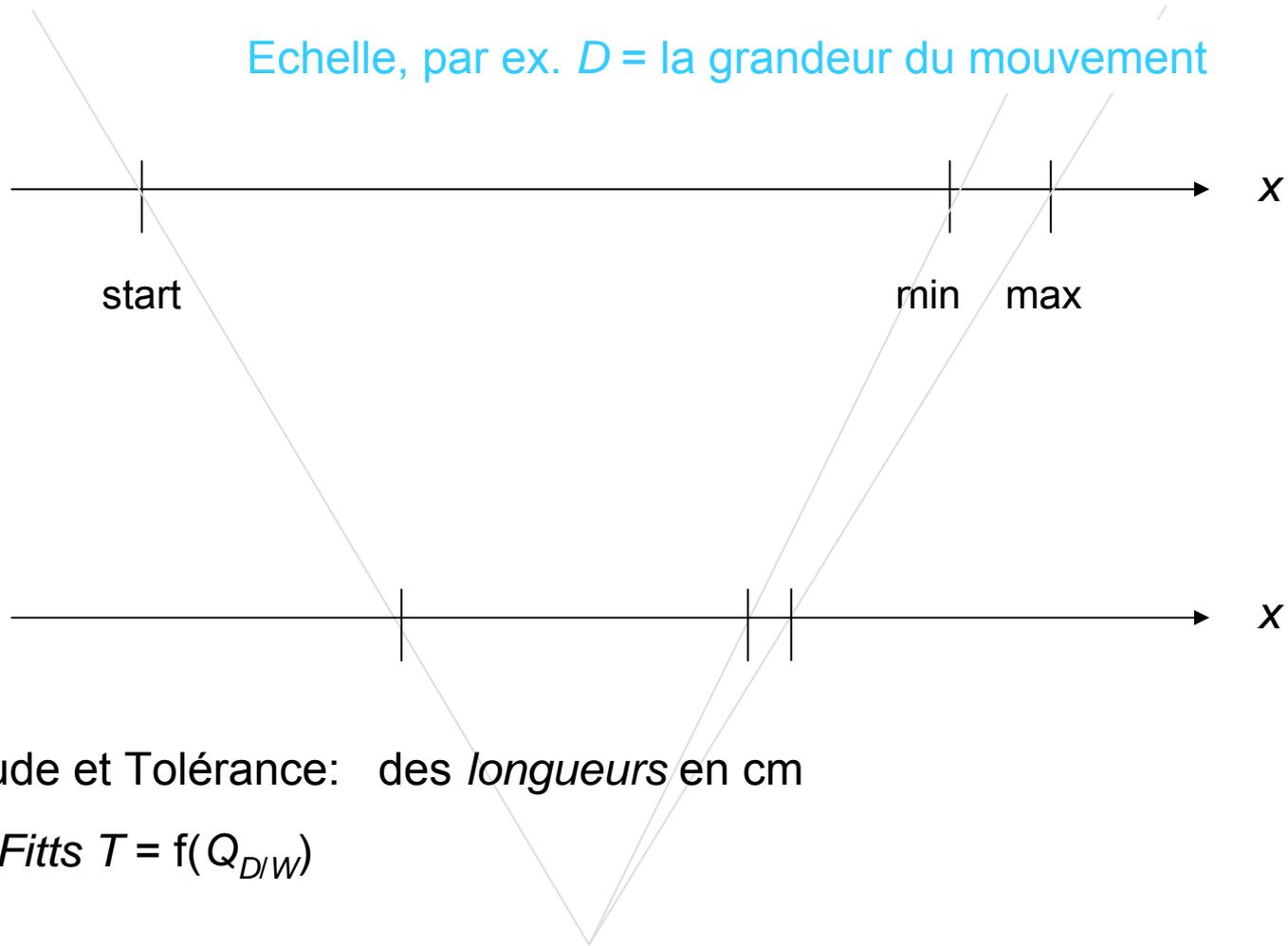
Amplitude et Tolérance: des *longueurs* en cm

*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)

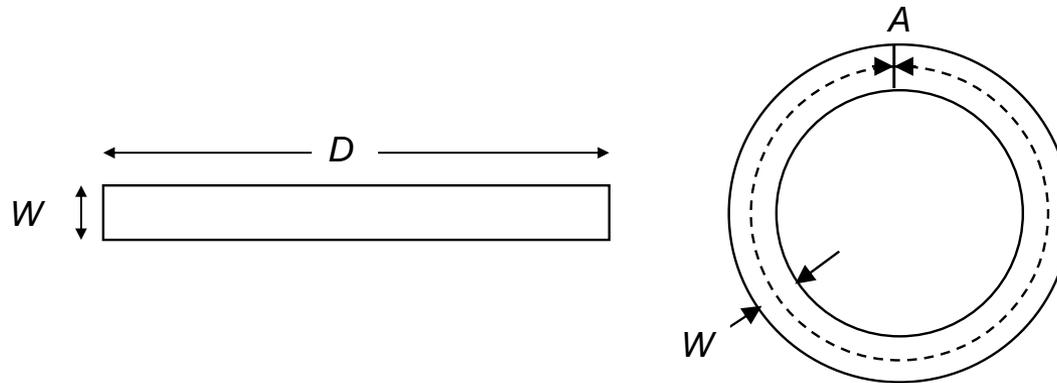
### Loi d'Accot & Zhai

Deux entités causales:  $D$  et  $W$ , dimensionnellement des longueurs

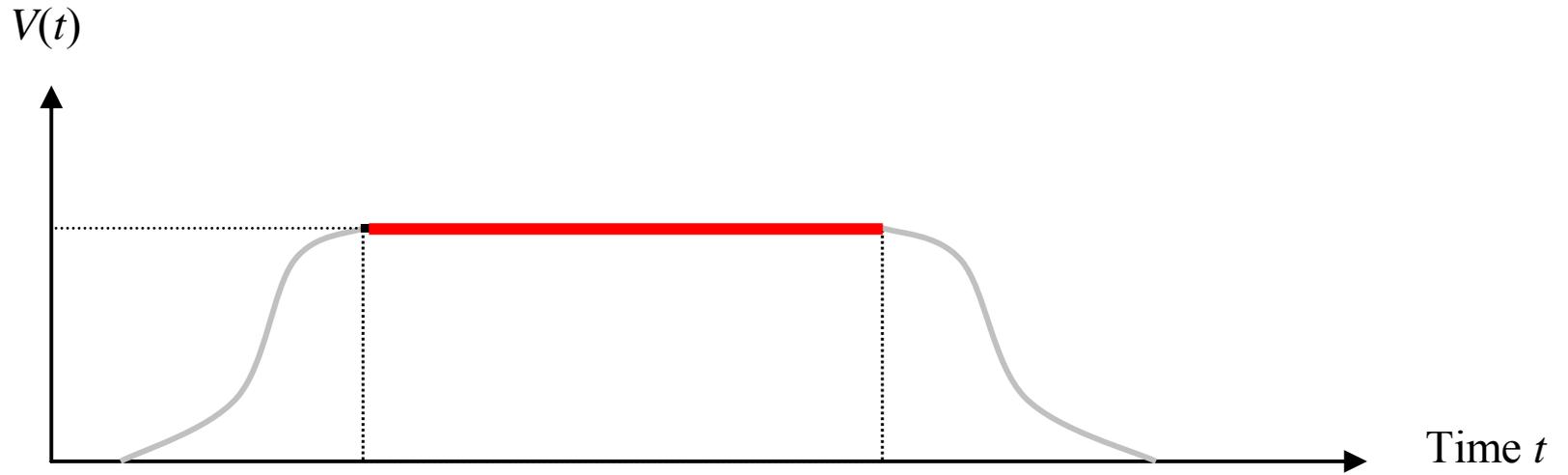
$$T = f(D, W)$$

Les deux opérands de la division (à effectuer)

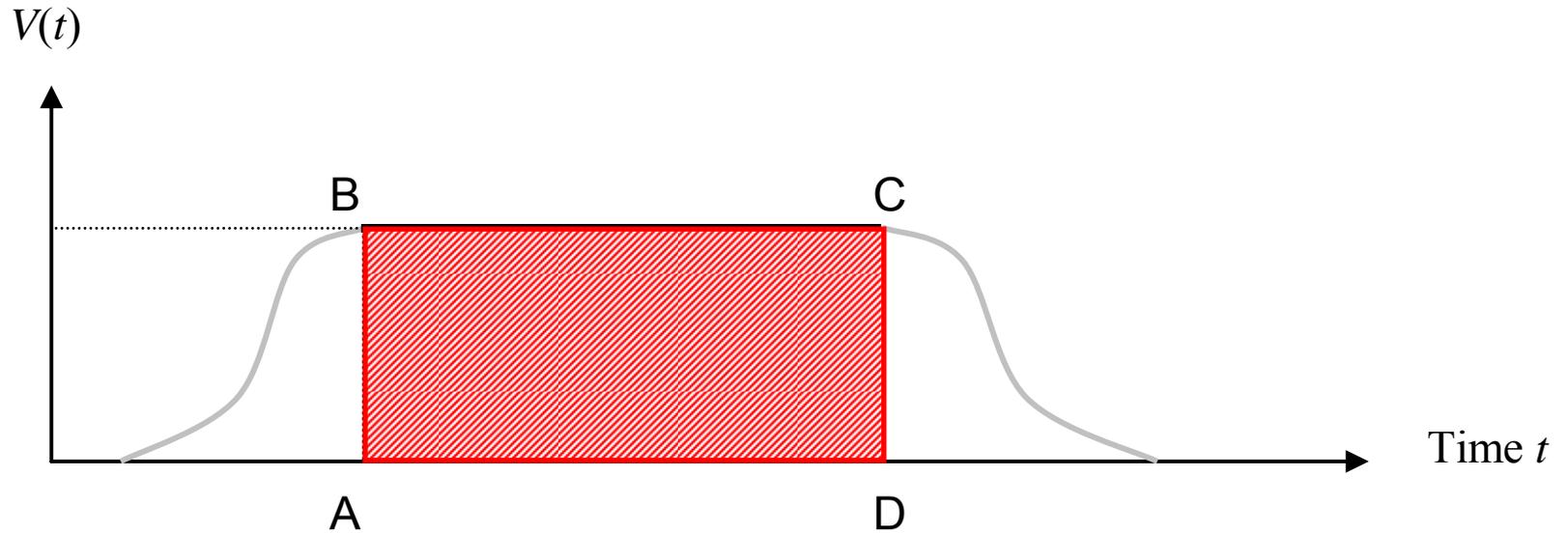
# Mouvement canalisé d'Accot & Zhai (à $W$ constant)



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



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

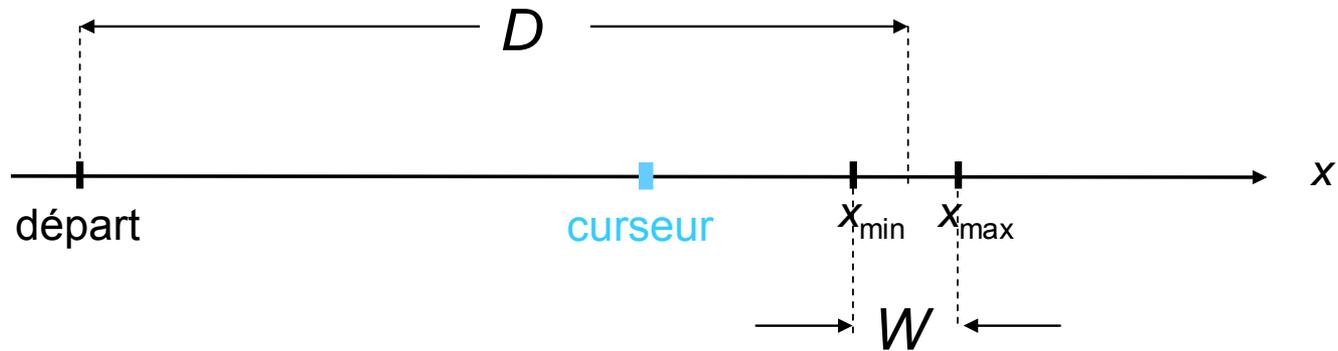
# Interpétation cartésienne de la loi d'A&Z

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

ceux que représentent les opérandes  $D$  et  $W$

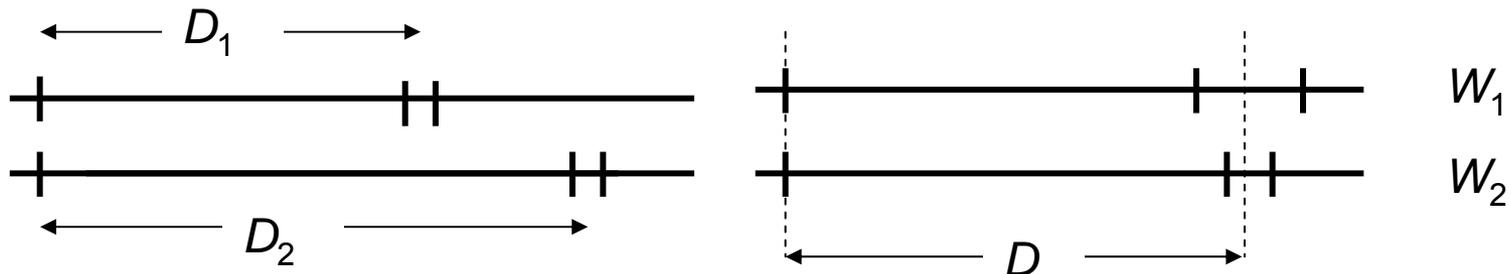
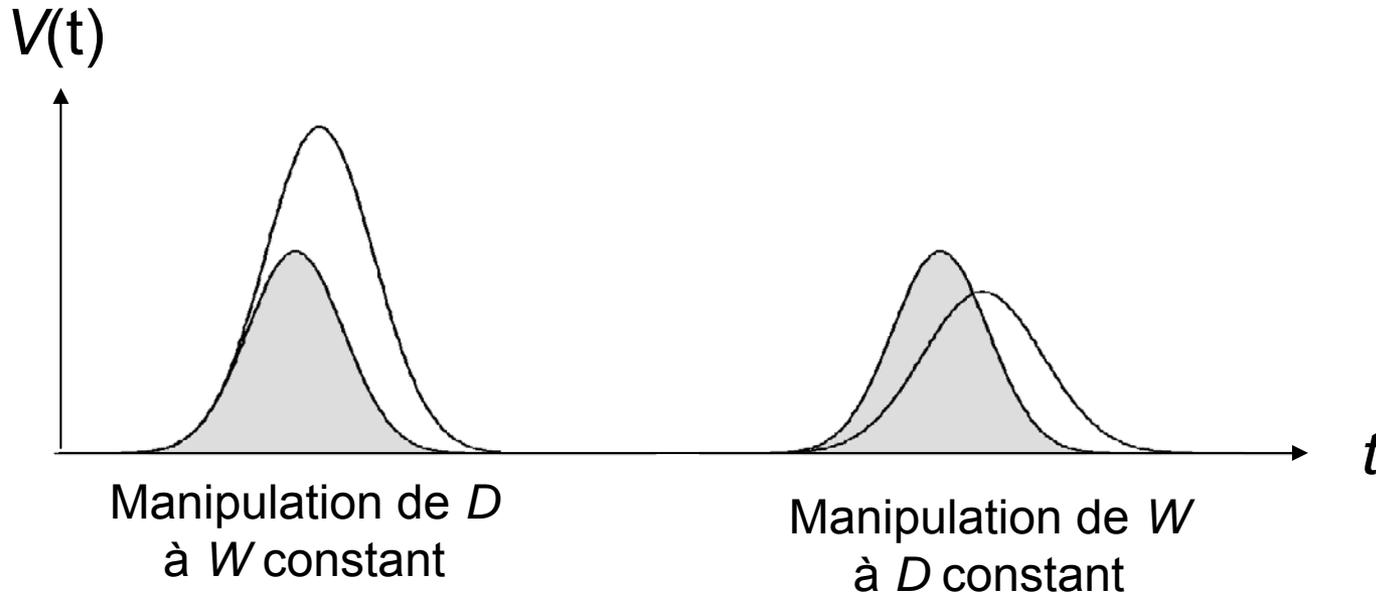
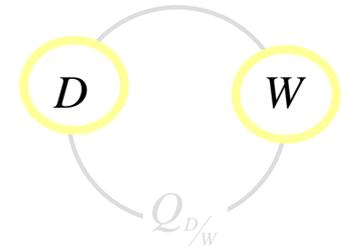
- Donc  $T = f(D/W)$  doit se comprendre comme  $T = f(D, W)$
- Or on n'a que 2 DL!
- Donc du point de vue théorique le quotient  $Q_{\frac{D}{W}}$ , égal à l' $ID$  d'A&Z et caractérisant la forme du chemin, ne peut pas participer à l'explication théorique

# Mouvement de pointage de Fitts



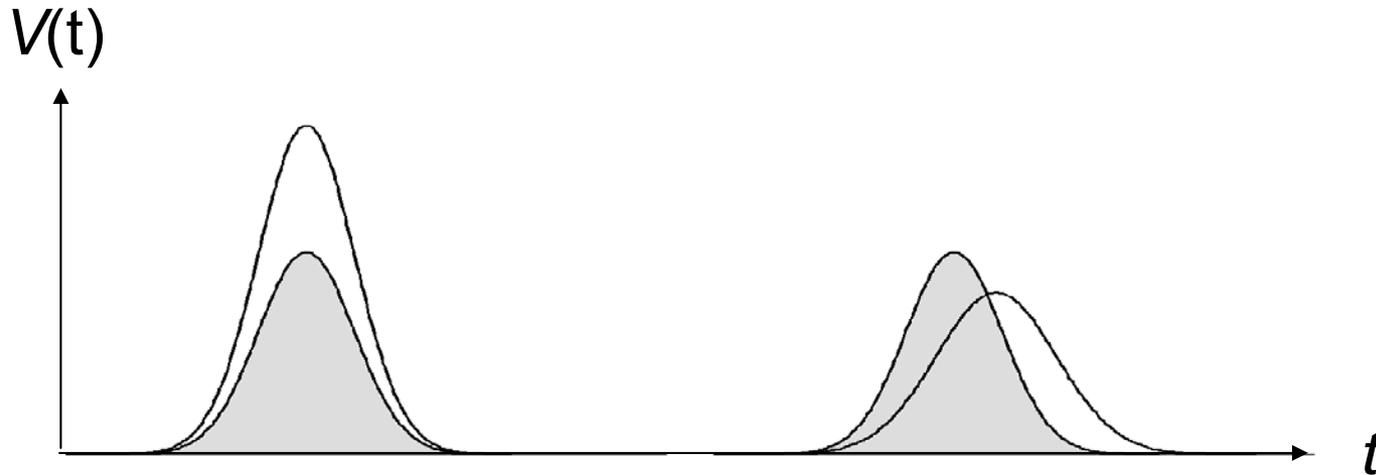
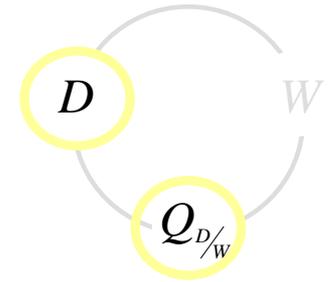
$$T = a \log_2 \left( \frac{D}{W} + 1 \right) + b$$

# Tentative option 1: Distance $D$ et tolérance $W$



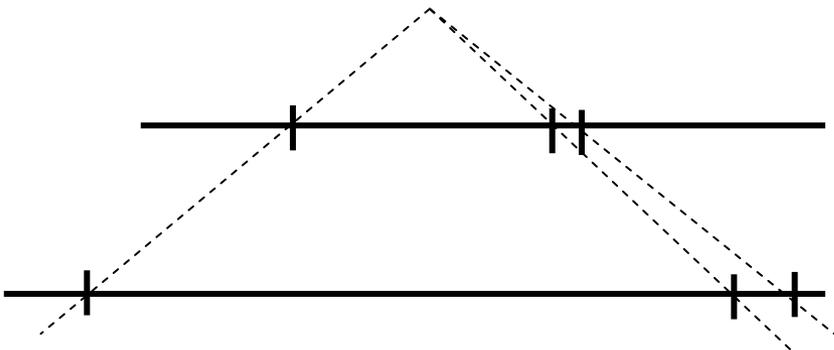
- Aucun effet simple de  $D$  ou de  $W$
- Effet de  $W$  quasi-immédiat !

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



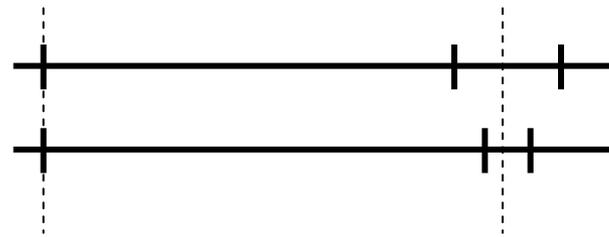
Manipulation sélective de l'échelle  $D$ , à quotient  $D/W$  constant

Manipulation du quotient, à échelle  $D$  constante



Pas d'effet sur  $T$

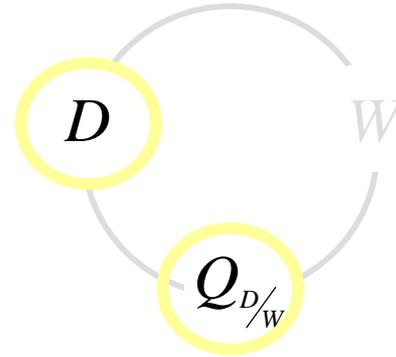
Loi d'invariance d'échelle



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  $l/D$  (log du quotient de  $D/W$ )

Effet de  $D$

Effet de  $W$

## Hypothèse de compensation proportionnelle

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

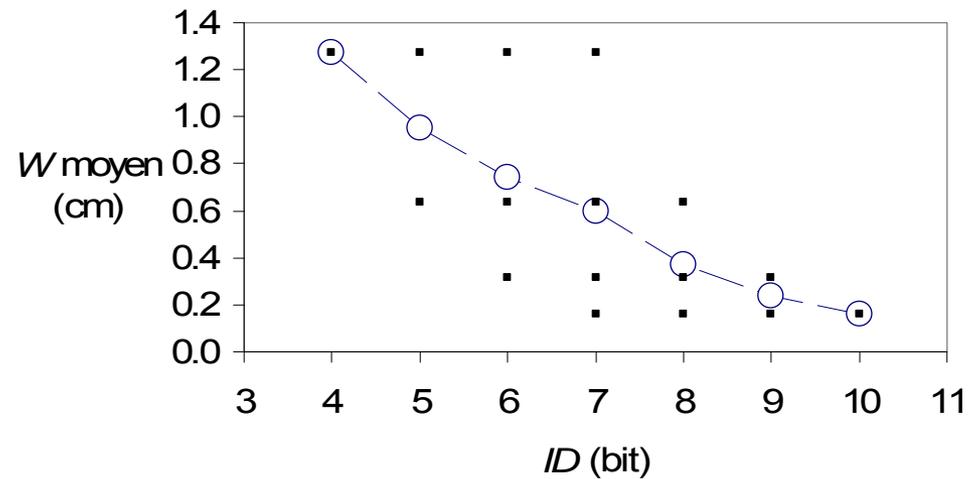
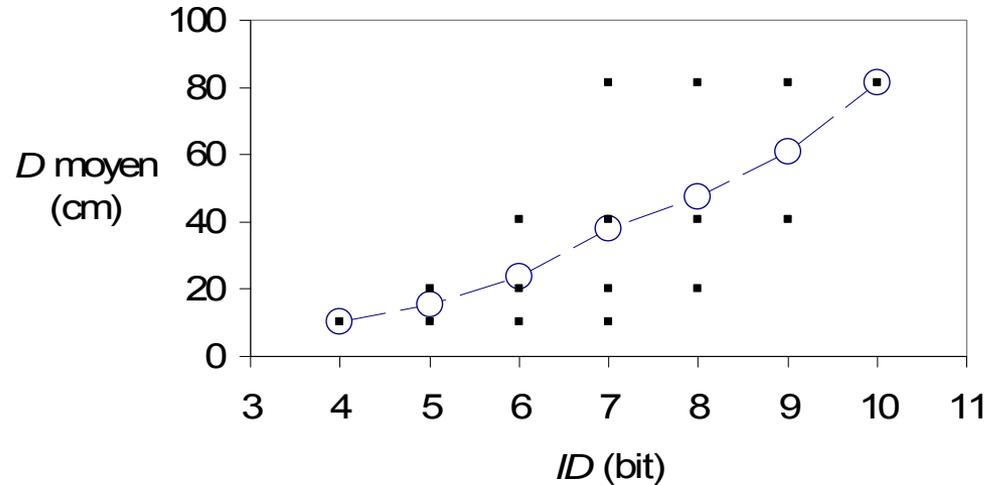
“The purpose of this analysis was to test whether target distance and target width has proportionally compensatory effects, as implied by Fitts’ law. If such compensatory effects hold, then  $T$  should vary directly with  $D/W$ , and neither  $D$  nor  $W$  should have any residual effect on  $T$  beyond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

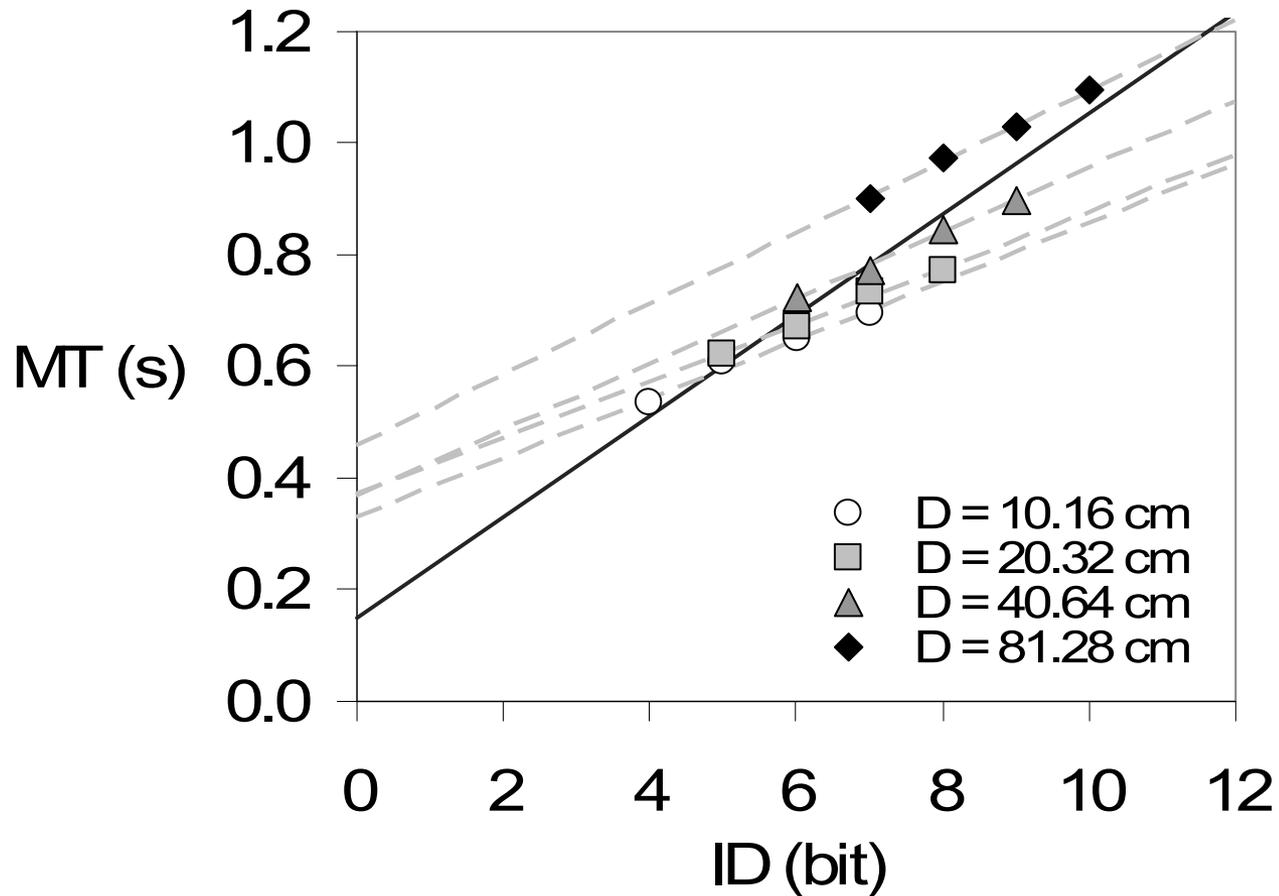
# Erreurs classiques de mesure expérimentale

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:  $T = f(D, W)$