



# UE 261.A

## Apprentissage moteur

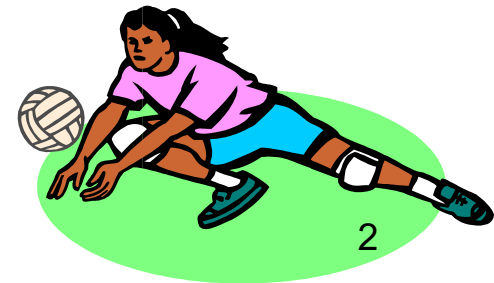
*K. Torre*

2023-2024

# APPRENTISSAGE MOTEUR

**L'étude des processus sensoriels, cognitifs et moteurs associés à la répétition motrice qui contribuent à l'amélioration de la performance**

- Sont importants pour l'apprentissage des habiletés motrices:
  - La motricité naturelle sur laquelle les habiletés se forment
  - Le transfert d'apprentissage
  - Types de session de pratique (massé, distribué, variable, fixe...)
  - Types d'instructions (explication, démonstration, découverte...)
  - Feedback (retour d'information, /résultat ou /manière)
- 2 questionnements:  
**Apprentissage moteur ? Contrôle moteur ?**
- Expertise = stade ultime



## Bibliographie générale

Schmidt, R.A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.

La Rue, J. & Ripoll, H. (2004), *Manuel de Psychologie du Sport, 1. Les Déterminants de la Performance Sportive*. Paris : Editions Revue EPS.

Temprado, J.J. & Montagne, G. (2001). *Les coordinations perceptivo-motrices*. Paris: Armand Colin.

Delignières, D. (1998). Apprentissage moteur: Quelques idées neuves. *Revue E.P.S.*, 271, 61-66.

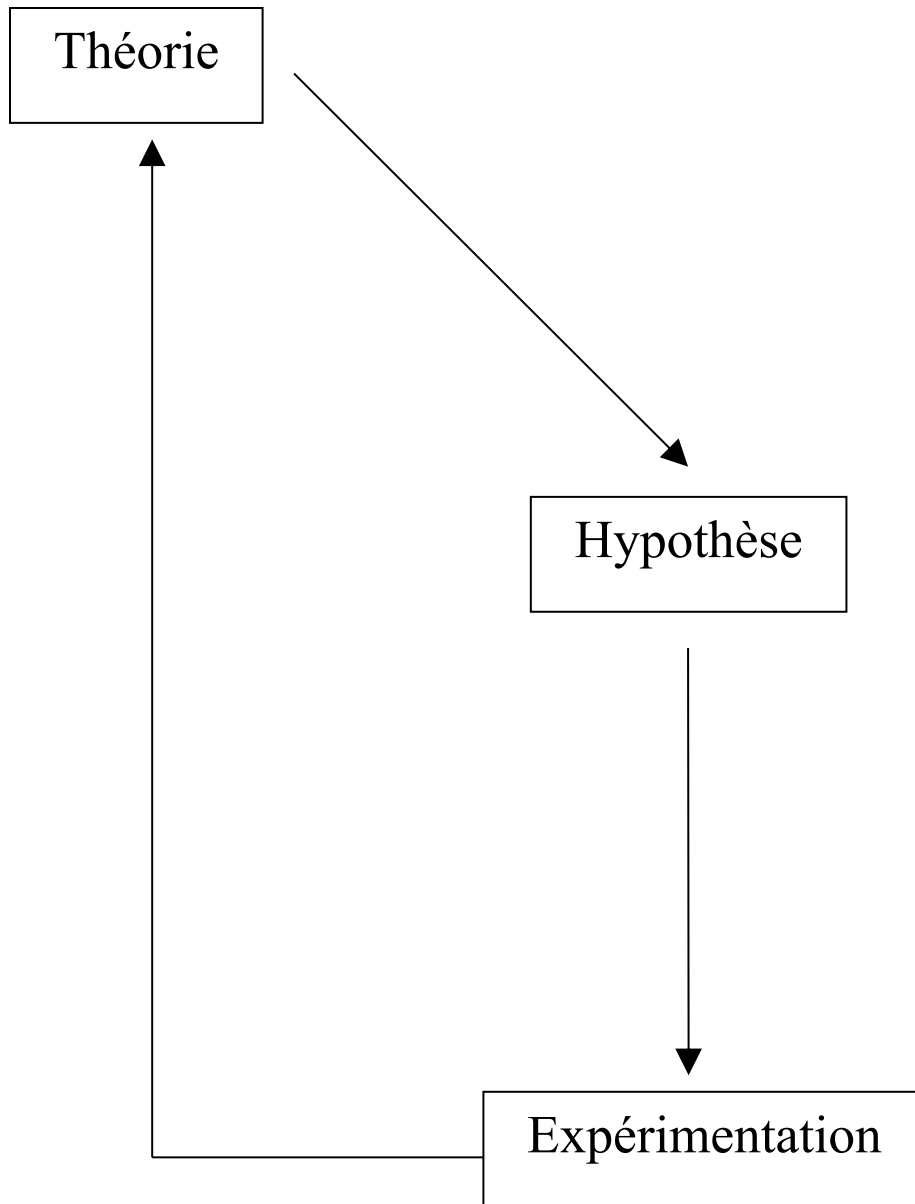
Bertsch, J & Le Scanff, C (1995). *Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissage*. Paris: PUF.

Durand, M. (1987). *L'enfant et le sport*. Paris: PUF.

Marin, L., & Danion, F. (2005). *Neurosciences : Contrôle et apprentissage moteur*. Paris : Ellipse

## Les objectifs de ce cours

1. Passer en revue les principales théories scientifiques relatives à la production du comportement moteur et à l'apprentissage des habiletés motrices
2. Comprendre comment les chercheurs construisent le savoir scientifique, au travers de la mise à l'épreuve expérimentale de leurs théories

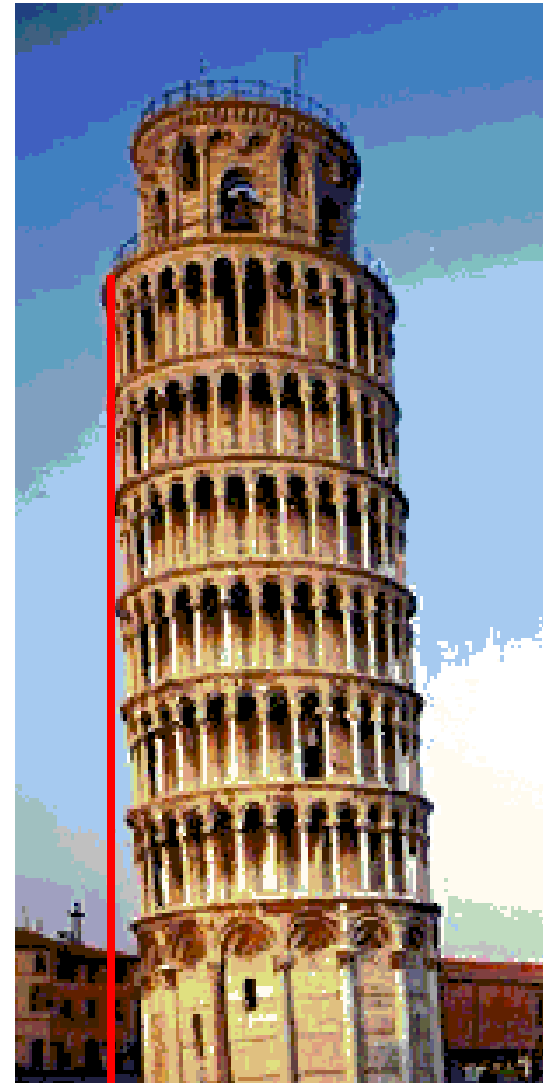


L'administration de la  
preuve dans les sciences  
expérimentales

# Galilée

La durée de la chute est  
indépendante du poids

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad \longrightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$



## Les objectifs de ce cours

1. Passer en revue les principales théories scientifiques relatives à la production du comportement moteur et à l'apprentissage des habiletés motrices
2. Comprendre comment les chercheurs construisent le savoir scientifique, au travers de la mise à l'épreuve expérimentale de leurs théories
3. Comprendre comment ces savoirs peuvent éclairer les interventions des professionnels de l'éducation et de l'entraînement

# Plan du cours

## Introduction : définitions

1. Habileté et traitement de l'information
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficacité
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances



# Plan du cours

## Introduction : définitions

1. Habileté et traitement de l'information
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficacité
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances

Performance = Aptitudes + Habileté + Effort

2 sens...

Talent

Savoir-faire

Motivation

Don

Apprentissage

Stratégies

Qualités

...

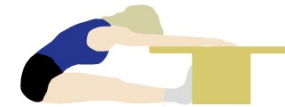
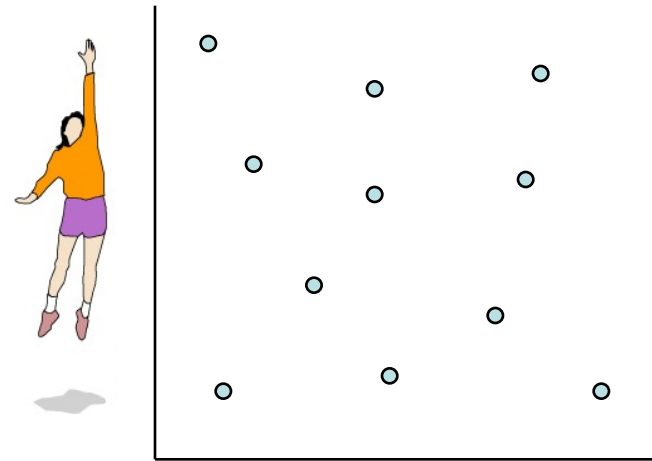
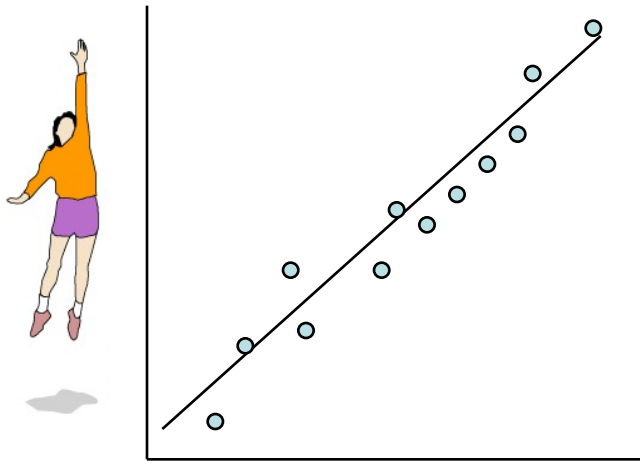
# Les aptitudes

## Les qualités physiques

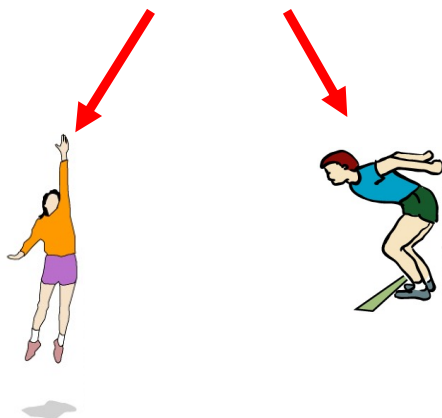
Qu'est-ce que le talent? Peut-on dire qu'une personne est « douée »?

Le talent est-il général, ou particulier à des domaines ou des situations précises?

Combien de talents, ou d'aptitudes peut-on distinguer chez une personne?



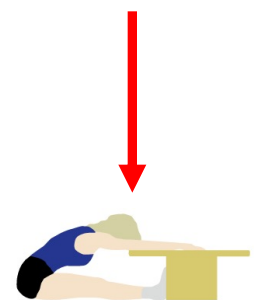
aptitude1

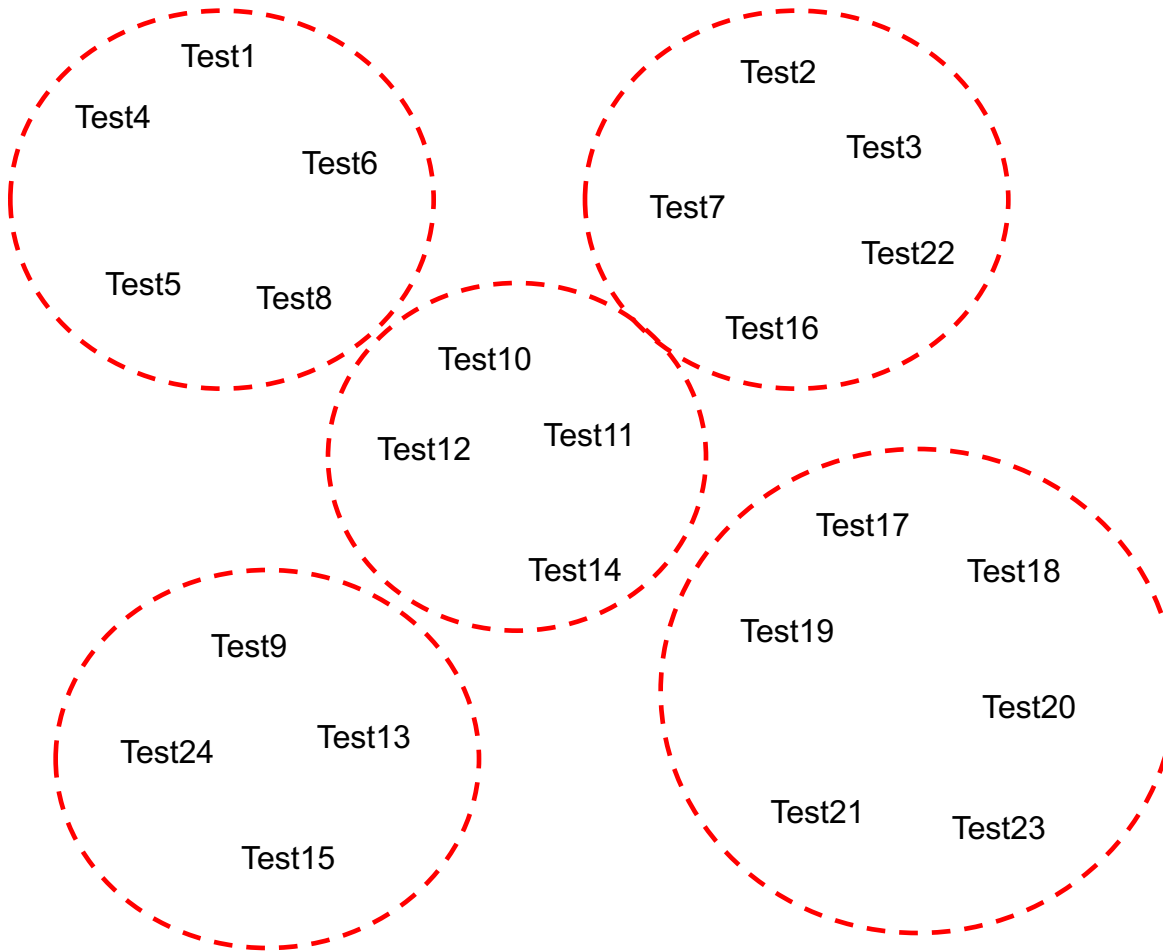


aptitude1



aptitude2





# Listing des aptitudes identifiées par Fleischman

<i>intellectuelles</i>	1. Compréhension du langage oral	<i>cognitives</i>	27. Dextérité digitale
	2. Compréhension du langage écrit		28. Vitesse poignet-main
	3. Expression orale		29. Vitesse de mouvement des mbres
	4. Expression écrite		30. Attention sélective
	5. Facilité d'idéation		31. Partage de l'attention
	6. Originalité		32. Force statique
	7. Mémorisation		33. Force explosive
	8. Sensibilité à l'erreur		34. Force dynamique
	9. Raisonnement mathématique		35. Force du tronc
	10. Vitesse de calcul mental		36. Souplesse statique
	11. Raisonnement inductif		37. Souplesse dynamique
	12. Raisonnement déductif		38. Coord. corporelle globale
	13. Organisation des informations		39. Equilibre corporel global
	14. Souplesse de classification		40. Endurance cardio-respiratoire
	15. Vitesse de catégorisation		41. Vision rapprochée
	<i>perceptives</i>		16. Abstraction des catégories
17. Orientation spatiale		43. Discrimination des couleurs	
18. Visualisation mentale		44. Vision nocturne	
19. Vitesse perceptive		45. Vision périphérique	
<i>Psycho- motrices</i>	20. Précision du contrôle	<i>perceptives</i>	46. Vision de la profondeur
	21. Coord. pluri-segmentaire		47. Sensibilité à la luminosité
	22. Temps de réaction de choix		48. Acuité auditive générale
	23. Anticipation-coïncidence		49. Attention auditive
	24. Temps de réaction simple		50. Localisation sonore
	25. Contrôle bras-main		51. Acuité d'audition du langage
	26. Dextérité manuelle		52. Clarté du discours

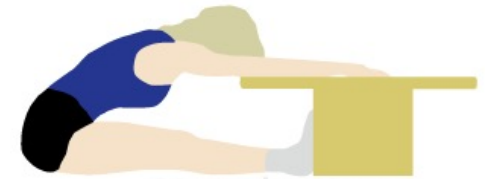
# Tests unifactoriels



Equilibre



Force du tronc



Souplesse



Force dynamique  
membres sup



Endurance



Force explosive  
membres inf

→ Étalonnage des normes

## Test de force explosive des membres inférieurs



	<b>Hommes</b>	<b>Femmes</b>
<b>rating</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>
excellent	> 70	> 60
very good	61-70	51-60
above average	51-60	41-50
average	41-50	31-40
below average	31-40	21-30
poor	21-30	11-20
very poor	< 21	< 11

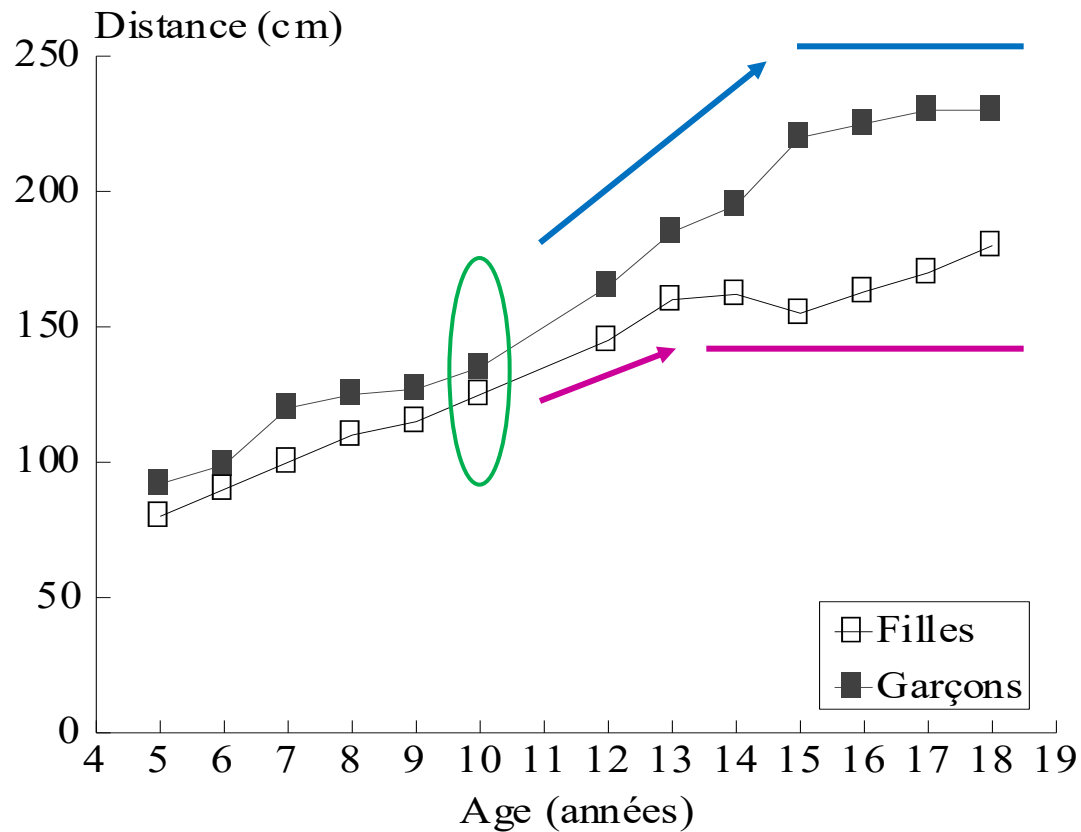


## Les aptitudes

**L'aptitude est considérée comme non spécifique et peu modifiable par entraînement ou apprentissage.**

→ L'aptitude n'est pas spécifique dans le sens où elle n'est pas attachée à une tâche précise, mais est sensée favoriser la performance dans l'ensemble des tâches supposées la solliciter à des degrés divers.

→ L' aptitude favorise l'apprentissage dans certaines tâches, mais on considère qu'elle n'est pas fondamentalement modifiée par la pratique.



Evolution selon l'âge et le sexe des performances dans un test de saut en longueur sans élan.

Durand (1987) d'après les données de Fleischman (1964) et Williams (1982)

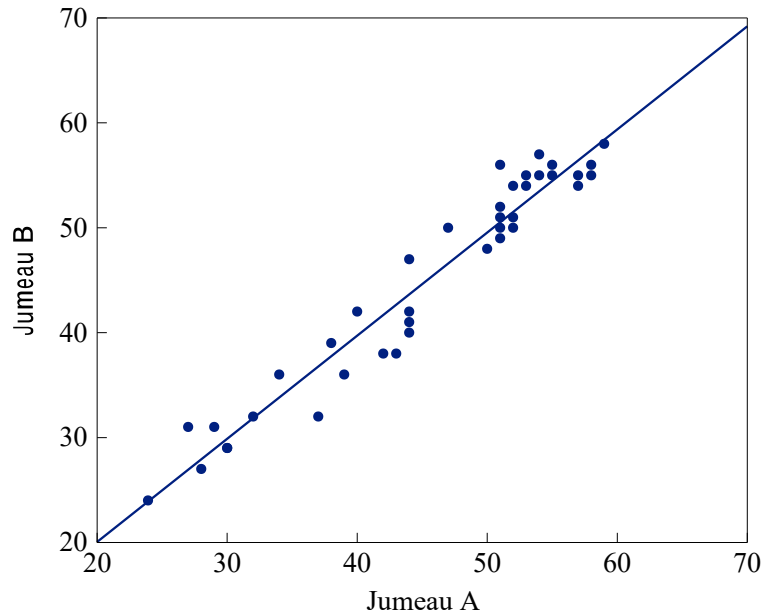
## Age de stabilisation de différentes aptitudes physiques (d'après Famose et Durand, 1988)

	Garçons	Filles
Force statique	Adulte	Adulte
Force du tronc	17-18 ans	16-17 ans
Force dynamique	17-18 ans	12-13 ans
Force explosive	16-17 ans	Adulte
Coordination générale	15 ans	13-14 ans

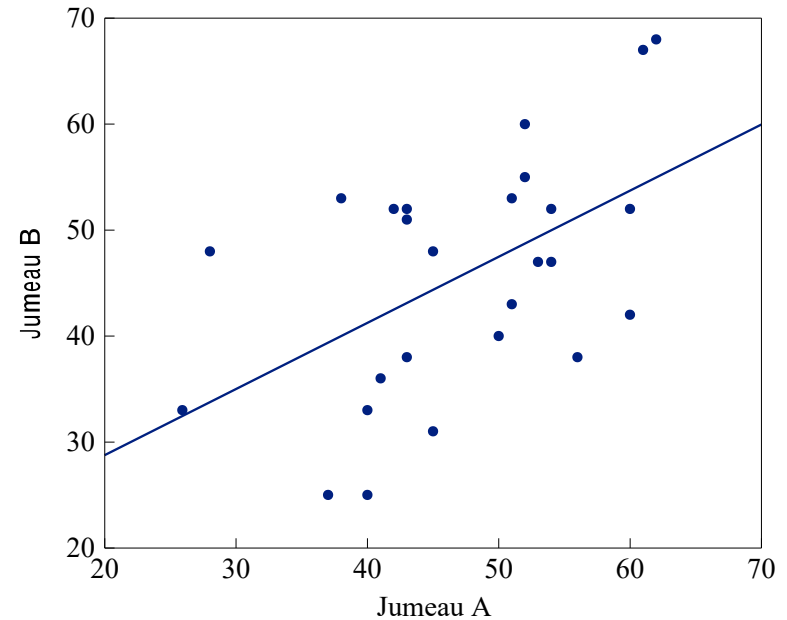
→ Améliorer une aptitude? Peut être possible, mais il faut se dépêcher...

→ Adultes: progrès observés dus à l'apprentissage, pas à l'évolution des aptitudes...

## Jumeaux monozygotes



## Jumeaux dizygotes



Corrélations entre les valeurs de  $VO_2\text{max}$  en fonction de l'âge mesurées chez des jumeaux monozygotes (gauche,  $r=.97$ ) et chez les jumeaux dizygotes (droite,  $r=.52$ ).

*Données d'après Klissouras (1971), et Klissouras et al. (1973).*

## Influence de l'hérédité sur certaines aptitudes.

VO2max	93.4%	Klissouras (1971)
FCmax	85.9%	Klissouras (1971)
Type de fibres musculaires	99.5%	Komi et coll. (1977)
Puissance musculaire	99.2%	Komi et coll. (1977)
Temps de réflexe rotulien	97.5%	Komi et coll. (1973)
Temps de réaction	85.7%	Komi et coll. (1973)
Aptitude rythmique	43.0%	Noble (1978)

Pour aller plus loin sur les aptitudes:

Famose, J.P. & Durand, M. (1988). *Aptitude et performance motrice*. Paris: Revue EPS.

# L'apprentissage

1. « Il y a apprentissage lorsqu'un organisme, placé plusieurs fois de suite dans la même situation, modifie sa conduite de façon systématique et durable » (Reuchlin, 1983).
2. L'apprentissage est « le processus neurologique interne supposé intervenir à chaque fois que se manifeste un changement qui n'est dû ni à la croissance, ni à la fatigue » (Fleischman, 1967).

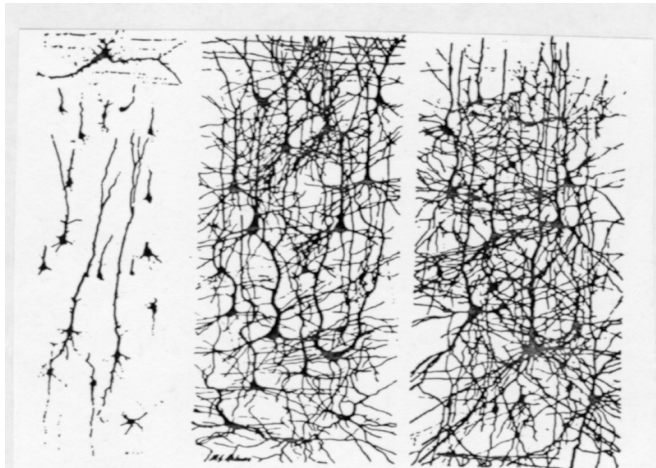
L'apprentissage moteur n'est pas directement observable

- Inférence à partir du comportement observable
- Etude expérimentale dans des conditions contrôlées



# Substrats neuronaux

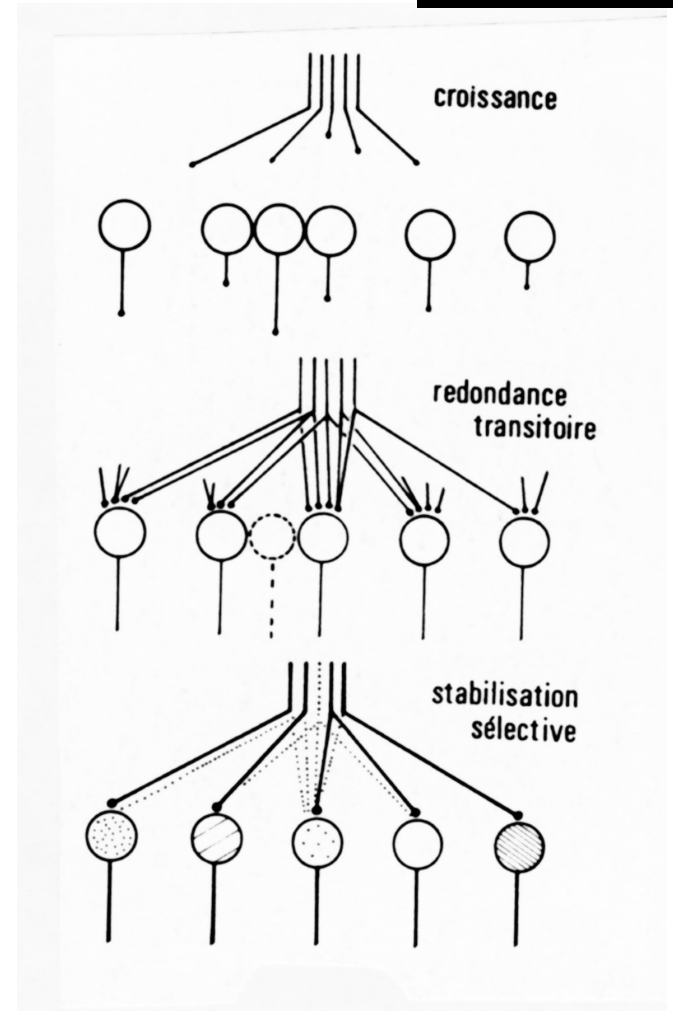
## Coordinations neuronales



Naissance      16 mois      2 ans

Scholl, 1975

- Labilité des connexions pendant la croissance
- Redondance synaptique (transitoire)
- Stabilisation synaptique
- Dégénérescence, régression, mort cellulaire



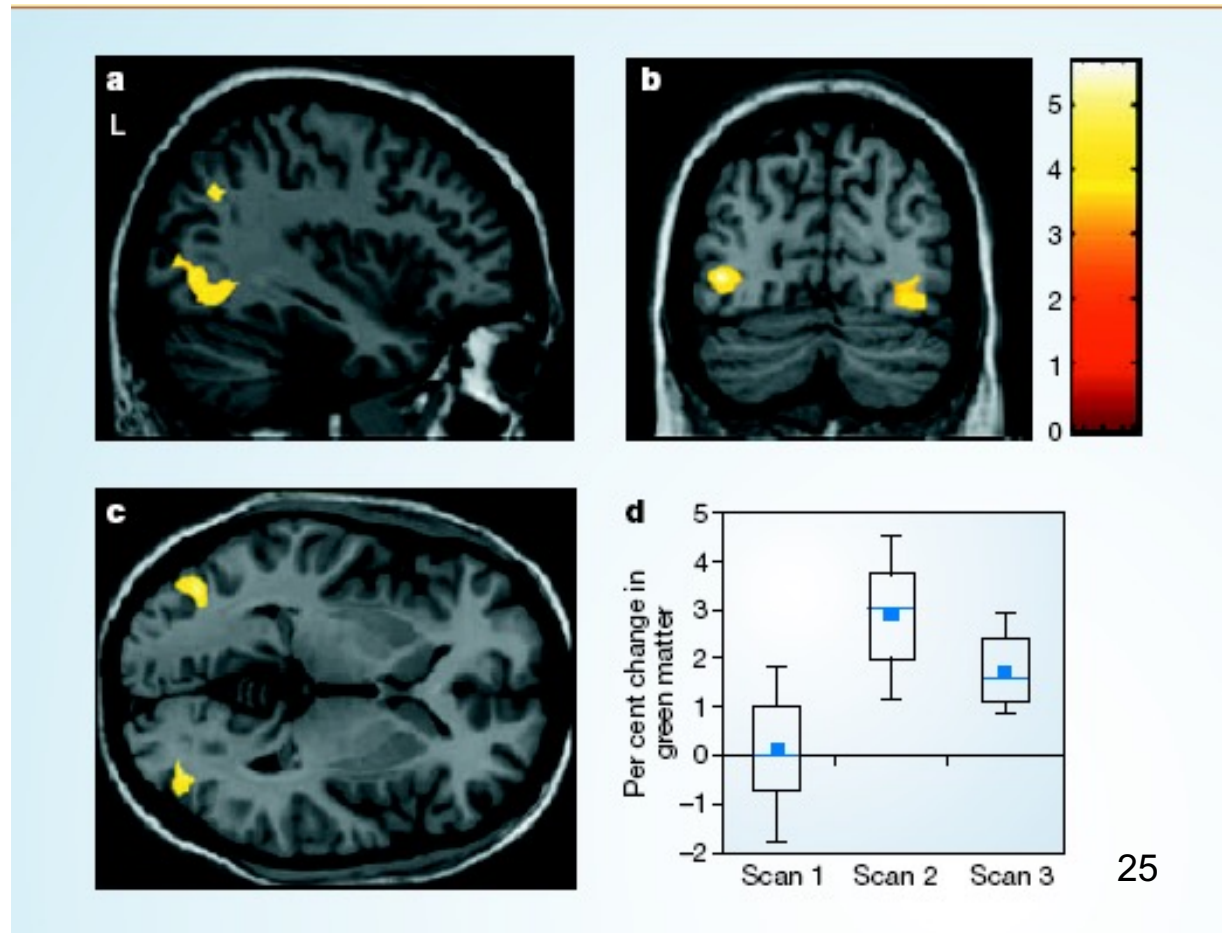
Changeux, 1983



# Changes in grey matter induced by training

NATURE | VOL 427 | 22 JANUARY 2004 | www.nature.com/nature

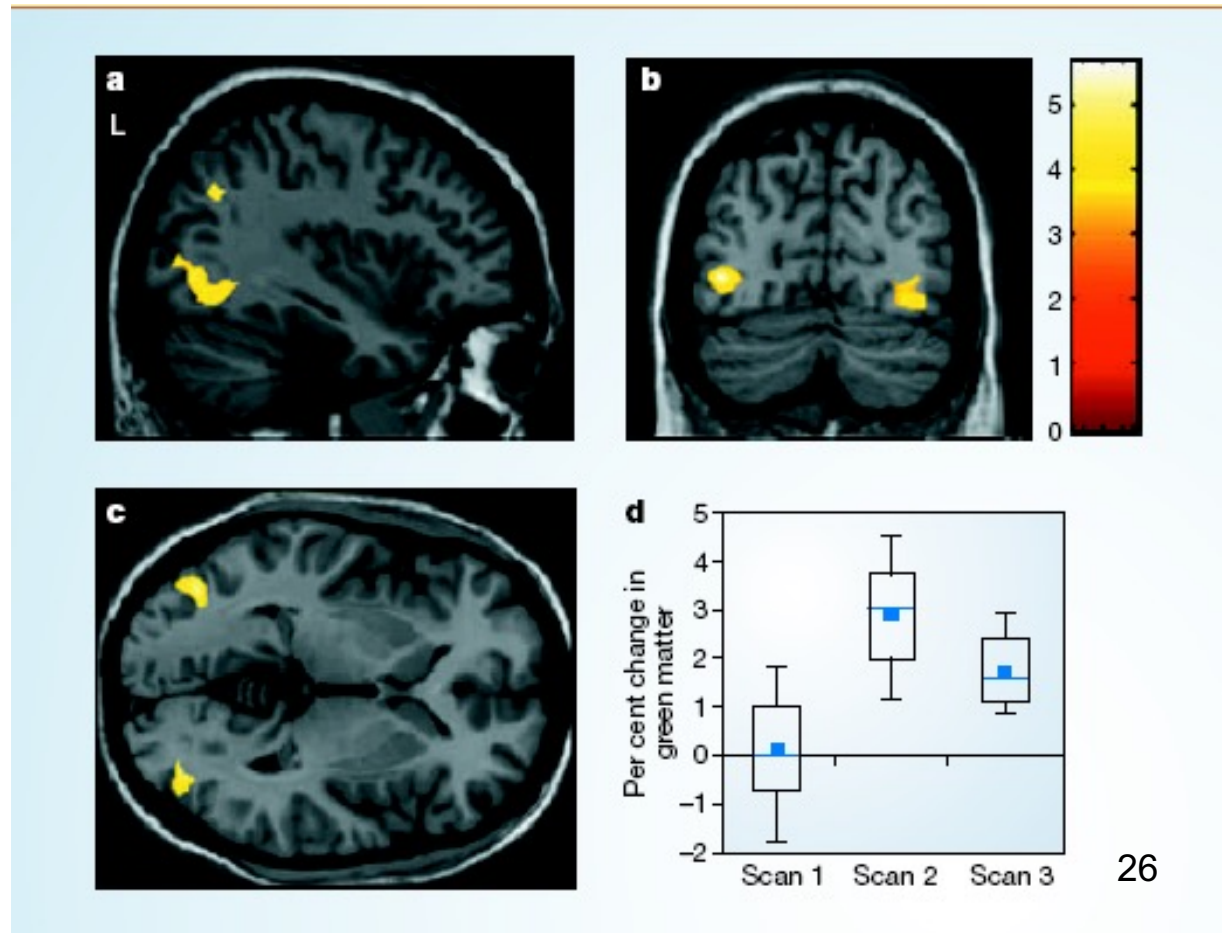
Bogdan Draganski\*, Christian Gaser†,  
Volker Busch\*, Gerhard Schuierer‡,  
Ulrich Bogdahn\*, Arne May\*



# Changes in grey matter induced by training

NATURE | VOL 427 | 22 JANUARY 2004 | www.nature.com/nature

Bogdan Draganski\*, Christian Gaser†,  
Volker Busch\*, Gerhard Schuierer‡,  
Ulrich Bogdahn\*, Arne May\*



# Apprentissage et Habileté

L'habileté est le produit de l'apprentissage

L'habileté est la "capacité [..] à élaborer et à réaliser une réponse efficace et économique pour atteindre un objectif précis" (Durand, 1987).

L'habileté est la capacité à réaliser une tâche

# Habilité et tâche motrice

**Une tâche est définie comme un but à atteindre dans des certaines conditions**

Le but: franchir la barre

Les conditions matérielles:  
la hauteur de la barre  
la nature du tapis de réception  
la nature de l'aire d'élan

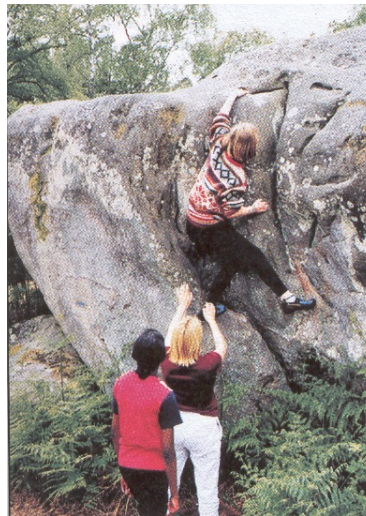
Les conditions procédurales: le style du saut



# Habilité et tâche motrice

## Famose (1983) distingue 3 catégories de tâches motrices

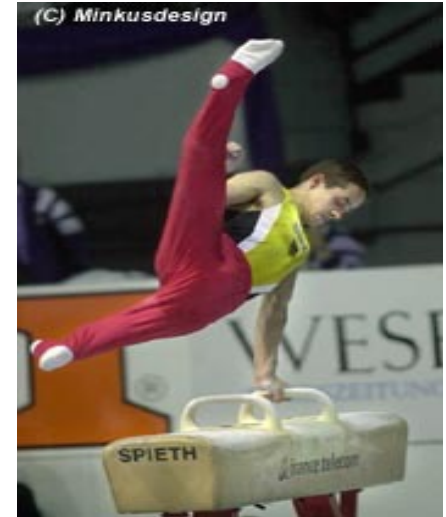
- **les tâches définies:** le but, les conditions matérielles et procédurales sont précisées
- **les tâches semi-définies:** seuls le but et les conditions matérielles sont précisées
- **les tâches non définies:** seul le but est précisé



# Habiletés stratégiques vs techniques

(French & Thomas, 1987):

**Habiletés techniques:** Habiletés pour lesquelles le problème à résoudre est la mise en jeu d'une coordination sensori-motrice spécifique permettant d'atteindre le but (e.g., habileté gymnique). Ces habiletés sont contrôlées selon un mode plutôt implicite. **Apprentissages sensori-moteurs**



**Habiletés stratégiques:** Habiletés caractérisées par la présence d'incertitude. Les participants doivent prendre des décisions relatives au sous-butts successifs à réaliser. Ces habiletés mettent en jeu des bases de connaissance de haut niveau et le raisonnement conscient.

**Apprentissages cognitifs**

# Habiletés fermées vs ouvertes (Gentile, 1972):

**Habiletés fermées:** Habiletés réalisées en l'absence d'incertitude (événementielle), c'est-à-dire dans des conditions environnementales inchangées. **Apprentissage par stabilisation**



**Habiletés ouvertes:** Situation dans lesquelles les conditions environnementales changent au cours du temps de manière imprévisible. Prise de décision (choix) et adaptations doivent être envisagées au cours de l'action. **Apprentissage par adaptation**

# Habiletés topocinétiques / morphocinétiques

(Paillard, 1991)

**Habiletés topocinétiques:** Habileté dont le but est spatialement repérable dans l'environnement (objet à atteindre, barre à franchir). **Aucun intérêt de la démonstration.**



**Habiletés morphocinétiques:** Habileté dont le but est une forme à produire ou à reproduire (pirouette en danse). **Démonstration importante.**

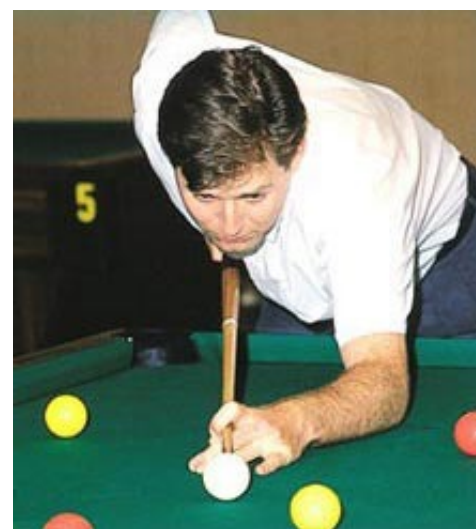


## Habiletés globales



rôle de la vision etc.

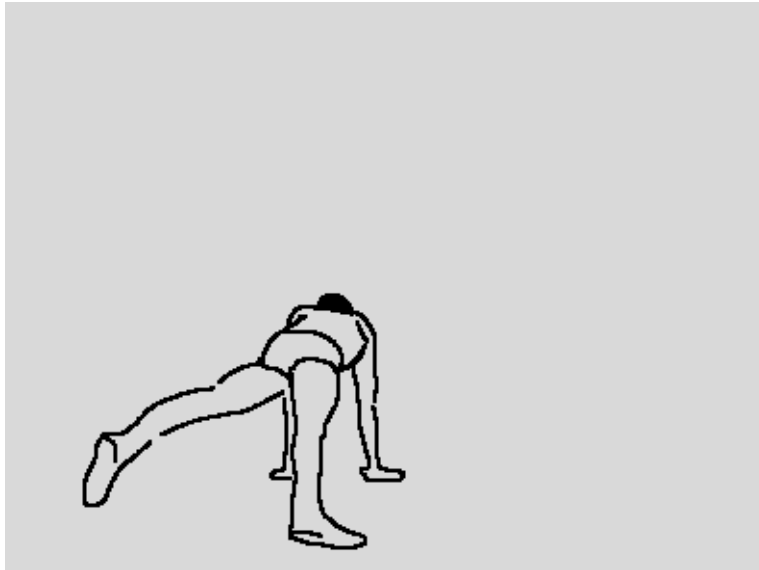
## Habiletés manipulatoires



# Habilités simples / complexes

(Wulf & Shea, 2002)

**Habilités simples:** Habileté nécessitant la maîtrise d'un faible nombre d'éléments ou degrés de liberté (muscles, segments, articulations). **L'acquisition est rapide (quelque essais, une séance de pratique).**



**Habilités complexes:** Habileté nécessitant la maîtrise d'un grand nombre d'éléments ou degrés de liberté (muscles, segments, articulations). **L'acquisition implique de nombreuses sessions de pratique ou essais.**

Pour aller plus loin sur les tâches et les habiletés:

Famose, J.P. (1983). Stratégies pédagogiques, tâches motrices et traitement de l'information. In J.P. Famose, J. Bertsch, E. Champion & M. Durand, *Tâches motrices et stratégies pédagogiques en Education Physique et Sportive* (pp. 9-21). Paris: EPS.

Famose, J.P. (1985). L'habileté motrice: théorie et enseignement. *STAPS*, 12, 31-48.

Famose, J.P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP.

# Plan du cours

Introduction : définitions

1. **Habilité et traitement de l'information**
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficacité
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances

# 1. Habileté et traitement de l'information

## 1.1. La théorie de l'information

1.2. Chronométrie mentale et traitement de l'information

1.3. Les stades de traitement de l'information

1.4. Mémoire à court terme et mémoire à long terme

1.5. Les programmes moteurs et la théorie du schéma

# L'assimilation machinique

(Canguilhem, 1971)

## 3 générations de “machines”

Machines simples	Machines thermodynamiques	Machines informationnelles

# L'assimilation machinique

(Canguilhem, 1971)

Machines simples	Machines thermodynamiques	Machines informationnelles
Leviers, poulies, grues, moulins à vent	Locomotives, machines à vapeur	Ordinateurs

## L'assimilation mécanique

(Canguilhem, 1971)

Machines simples	Machines thermodynamiques	Machines informationnelles
Leviers, poulies, grues, moulins à vent	Locomotives, machines à vapeur	Ordinateurs
Antiquité – XIX <sup>e</sup> siècle	XIX <sup>e</sup> siècle	XX <sup>e</sup> siècle



## L'assimilation machinique

(Canguilhem, 1971)

Machines simples	Machines thermodynamiques	Machines informationnelles
Leviers, poulies, grues, moulins à vent	Locomotives, machines à vapeur	Ordinateurs
Antiquité – XIX <sup>e</sup> siècle	XIX <sup>e</sup> siècle	XX <sup>e</sup> siècle
Biomécanique	Physiologie	Cybernétique

## L'assimilation machinique

(Canguilhem, 1971)

Machines simples	Machines thermodynamiques	Machines informationnelles
Leviers, poulies, grues, moulins à vent	Locomotives, machines à vapeur	Ordinateurs
Antiquité – XIX <sup>e</sup> siècle	XIX <sup>e</sup> siècle	XX <sup>e</sup> siècle
Biomécanique	Physiologie	Cybernétique
<b>L'organisme comme charpente animée</b>	<b>L'organisme transforme l'énergie</b>	<b>L'organisme traite de l'information</b>

# L' évolution des paradigmes en psychologie

## **1. L' introspection**

Le psychologue analyse ses propres états de conscience

On parle de psychologie à la première personne

Ex: Binet (France), Külpe (Allemagne), Titchener (Etats-Unis)

Critique positiviste: Peut-on avoir une approche objective de la subjectivité?

# L' évolution des paradigmes en psychologie

## **2. Le behaviorisme**



Ex: Watson, Skinner (USA), Pavlov (URSS)

# L' évolution des paradigmes en psychologie

## 2. Le behaviorisme



Watson, Skinner (USA), Pavlov (URSS)

# L' évolution des paradigmes en psychologie

## 2. Le behaviorisme



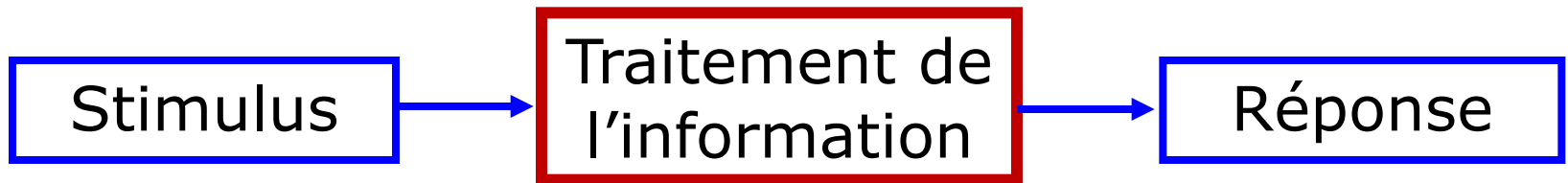
Watson, Skinner (USA), Pavlov (URSS)

→ Loi de l' effet

→ Loi du renforcement

# L' évolution des paradigmes en psychologie

## 3. L' hypothèse cognitiviste



Shannon et la 2<sup>nd</sup> guerre mondiale  
Essor de l'ordinateur...

→ L'information  
quantifiable

## La théorie de l'information

« **Une information** désigne par définition un ou plusieurs événements parmi un ensemble d'événements possibles » (Hebenstreit, 1989). L'apport d'information permet de diminuer l'incertitude

**La quantité d'information** est une grandeur permettant de mesurer l'information. Soit  $N$  le nombre d'événements possibles et  $n$  le sous-ensemble désigné par l'information. On pose par définition:

$$\text{Quantité d'information} = \mathbf{I} = \log_2(N/n) \quad (\text{bits})$$



## La théorie de l'information

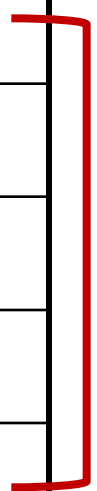
Soit  $N$  le nombre d'événements possibles et  $n$  le sous-ensemble désigné par l'information. **Si  $n = 1$** , on aura les équivalences suivantes:

$$I = \log_2(N/n)$$

La théorie de l'Information **permet de quantifier la « difficulté » de la tâche**

Idée que **la durée de traitement de l'information est proportionnelle à la quantité d'information à traiter.**

N	I
1	0
2	1
4	2
8	3
16	4
32	5



# 1. Habileté et traitement de l'information

1.1. La théorie de l'information

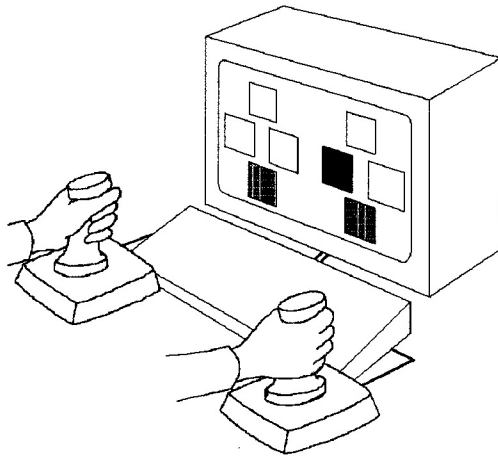
1.2. Chronométrie mentale et traitement de l'information

1.3. Les stades de traitement de l'information

1.4. Mémoire à court terme et mémoire à long terme

1.5. Les programmes moteurs et la théorie du schéma

## Tâches de temps de réaction



Hick (1952)

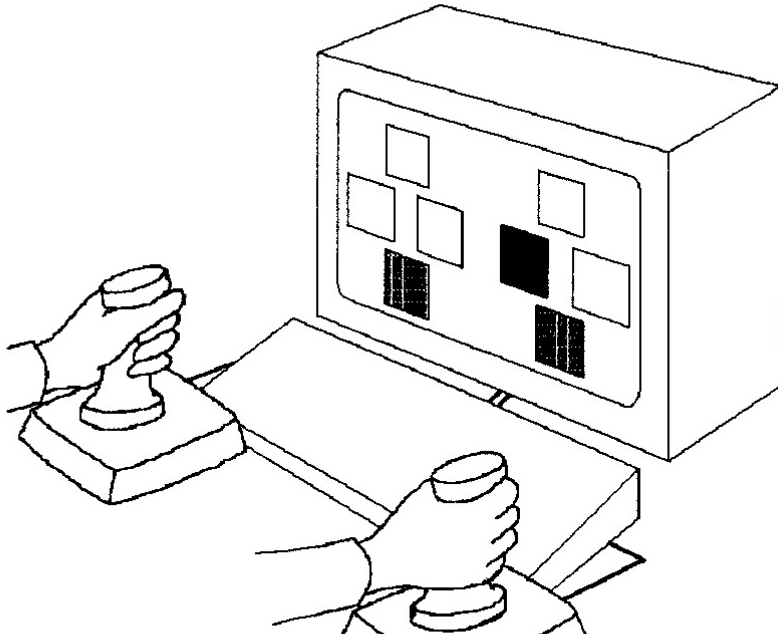
Hyman (1953)

Stimulus

Réponse



Temps de Réaction



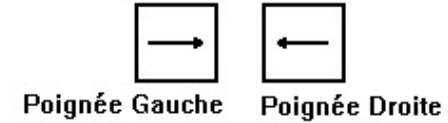
Hypothèse?

Si le SNC fonctionne comme un ordinateur, alors le TR doit être proportionnel à la quantité d'information (I) et non au nombre de choix possibles (N)

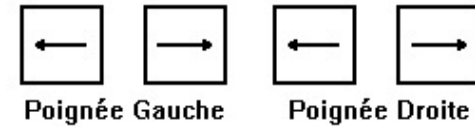
**N=1**  
**I=0**



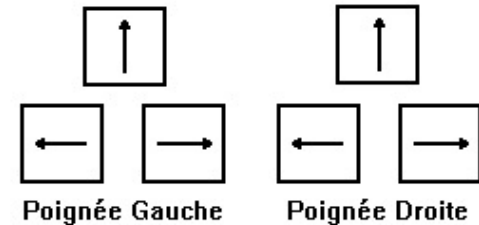
**N=2**  
**I=1**



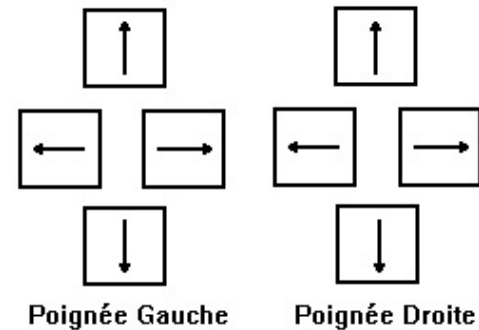
**N=4**  
**I=2**

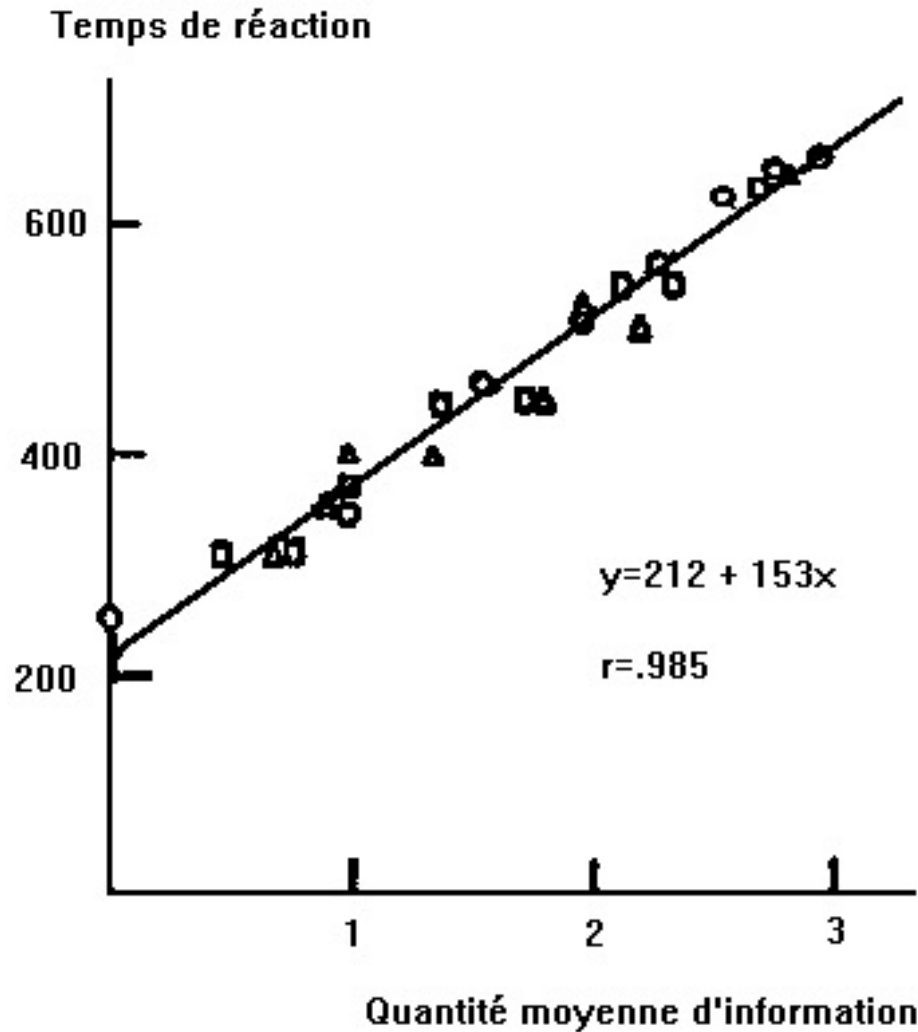


**N=6**  
**I=2.58**



**N=8**  
**I=3**





Relation quantité d'information/temps de réaction, dans des tâches de temps de réaction simple et de choix (données d'après Hyman, 1953)

Le dispositif expérimental de Fitts  
(1954)

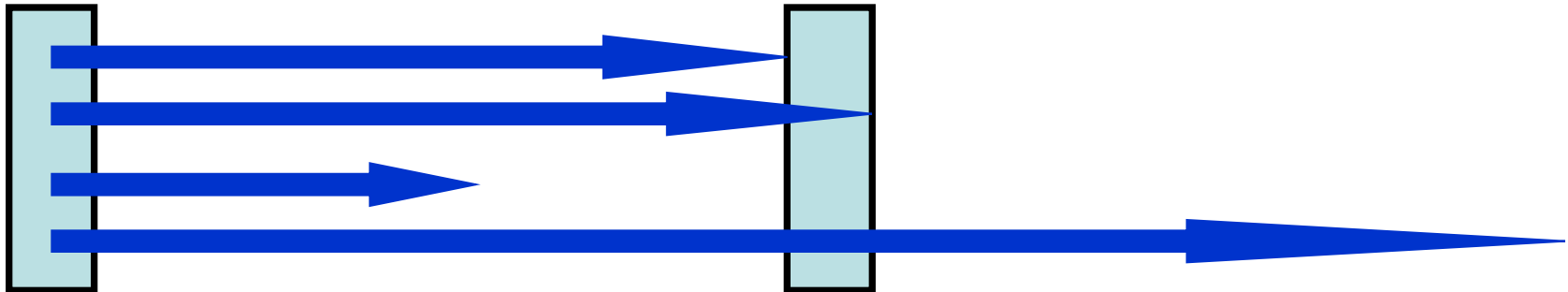


$$Id = \log_2(2A/W)$$

$2A$



$W$



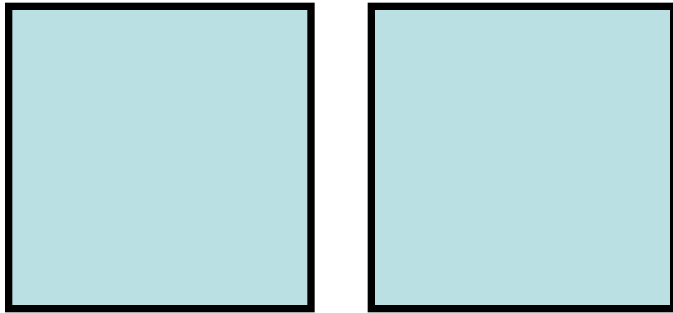
$W$  = événements pertinents

$2A$  = événements possibles <sup>54</sup>

$$Id = \log_2(2A/W)$$

$A = 10cm$

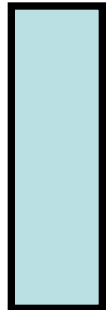
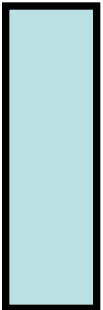
$W = 10cm$



Id = 1

$A = 32cm$

$W = 1cm$



Id = 6

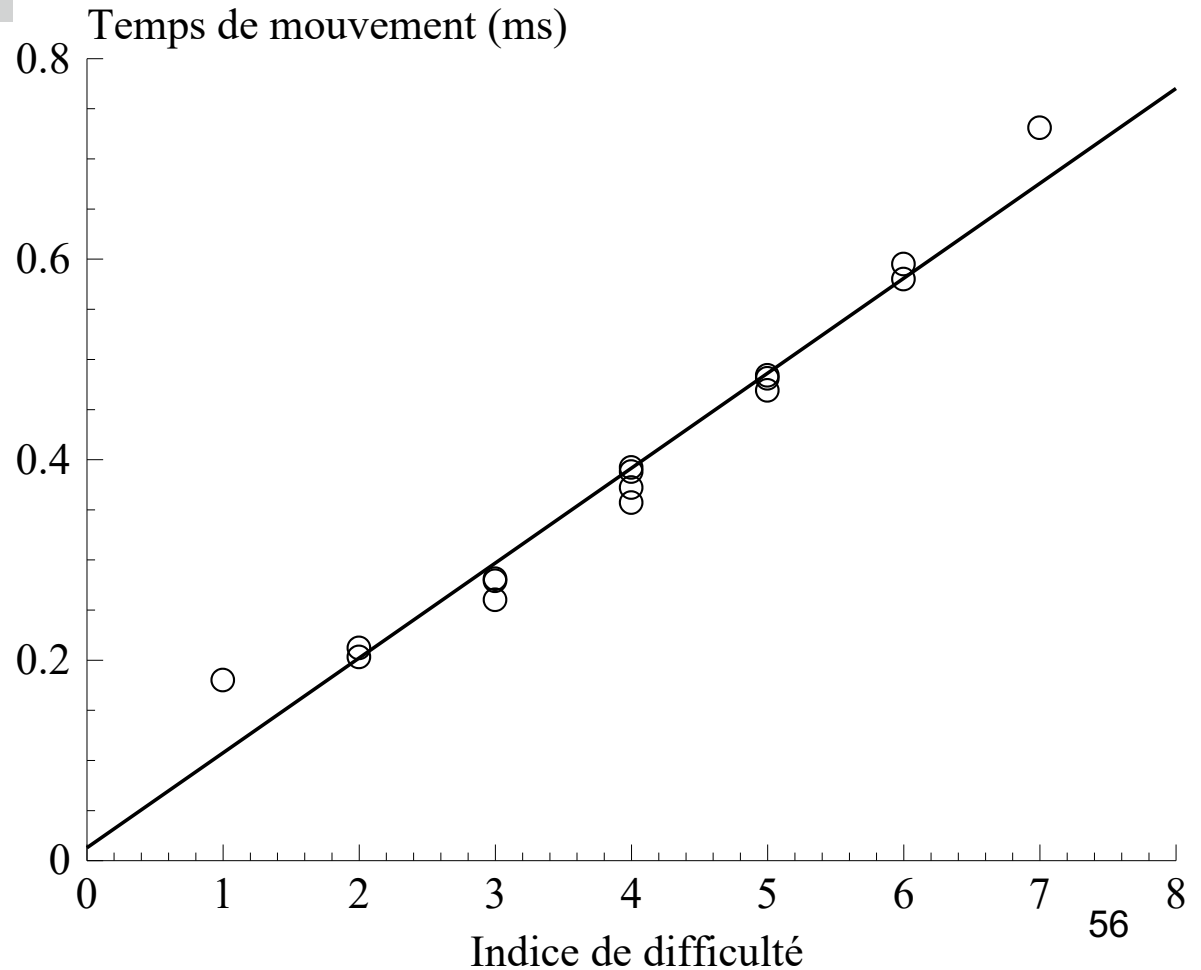
55



Le dispositif expérimental de Fitts  
(1954)

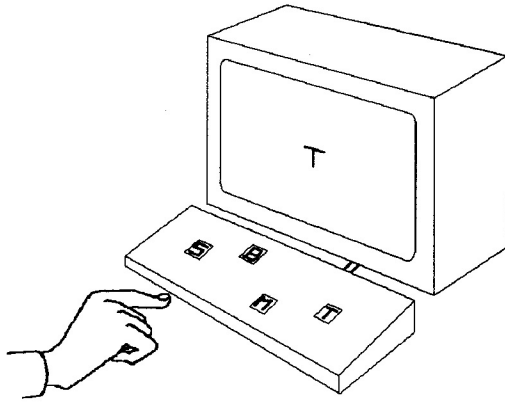
$$Id = \log_2(2A/W)$$

Relation entre indice de  
difficulté et temps de  
mouvement

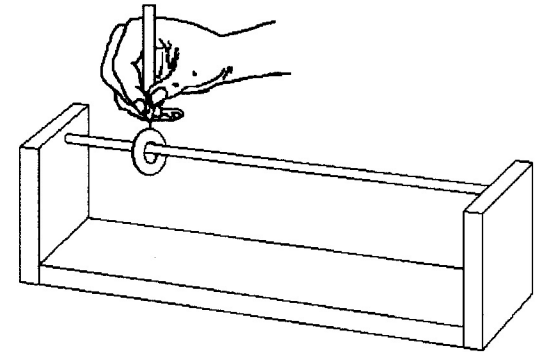




## Situations de laboratoire en chronométrie mentale

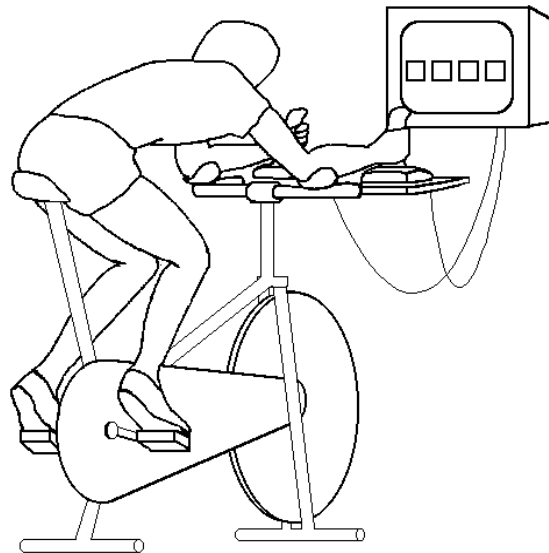


Tâches de  
recherche visuelle



Tâches d'ajustement  
postural

Tâches de temps de  
réaction  
(double tâche)



# 1. Habileté et traitement de l'information

1.1. La théorie de l'information

1.2. Chronométrie mentale et traitement de l'information

1.3. Les stades de traitement de l'information

1.4. Mémoire à court terme et mémoire à long terme

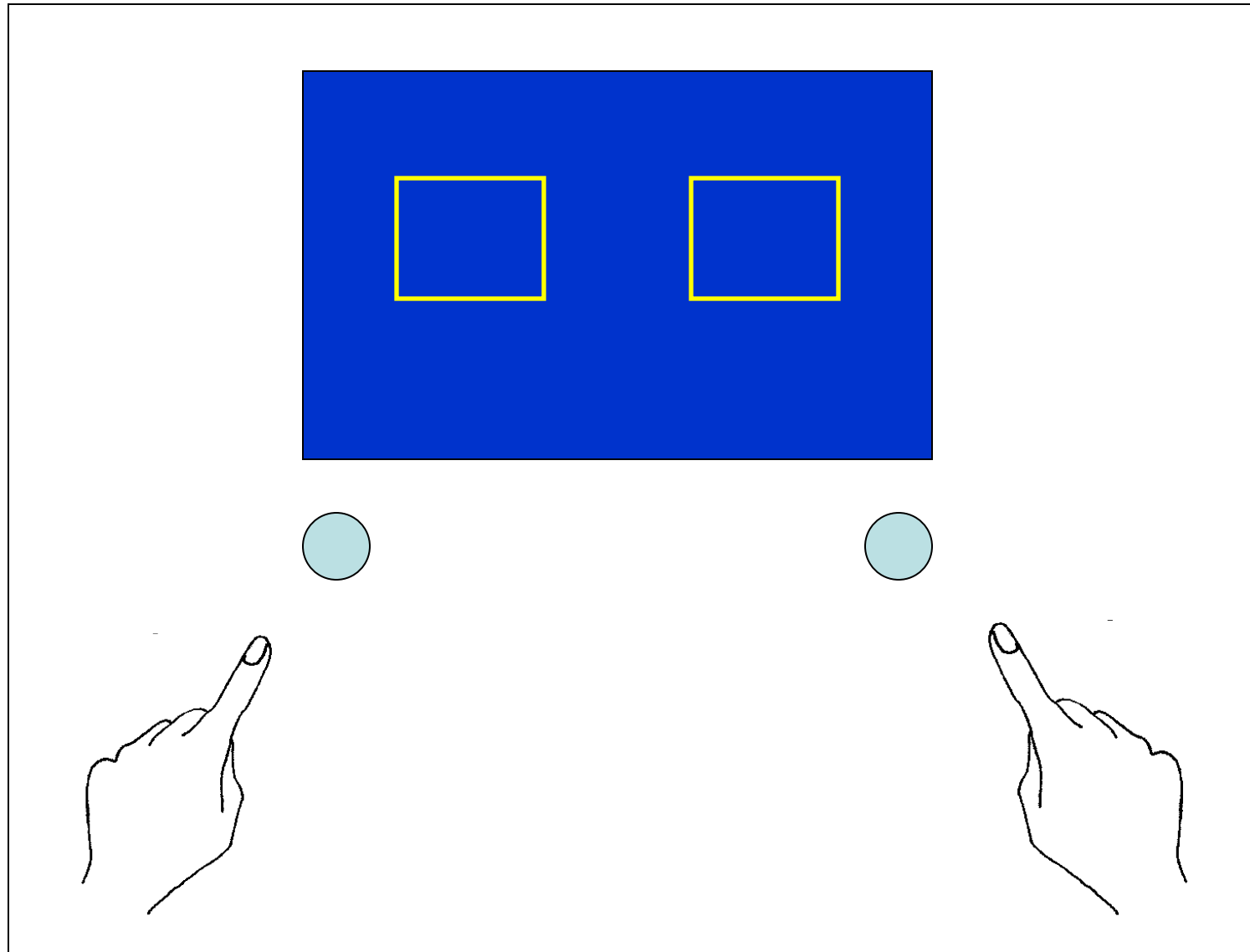
1.5. Les programmes moteurs et la théorie du schéma

Le traitement de l'information est-il réalisé de manière globale et indifférenciée ou comprend-il des opérations ou stades différenciés et spécialisés?

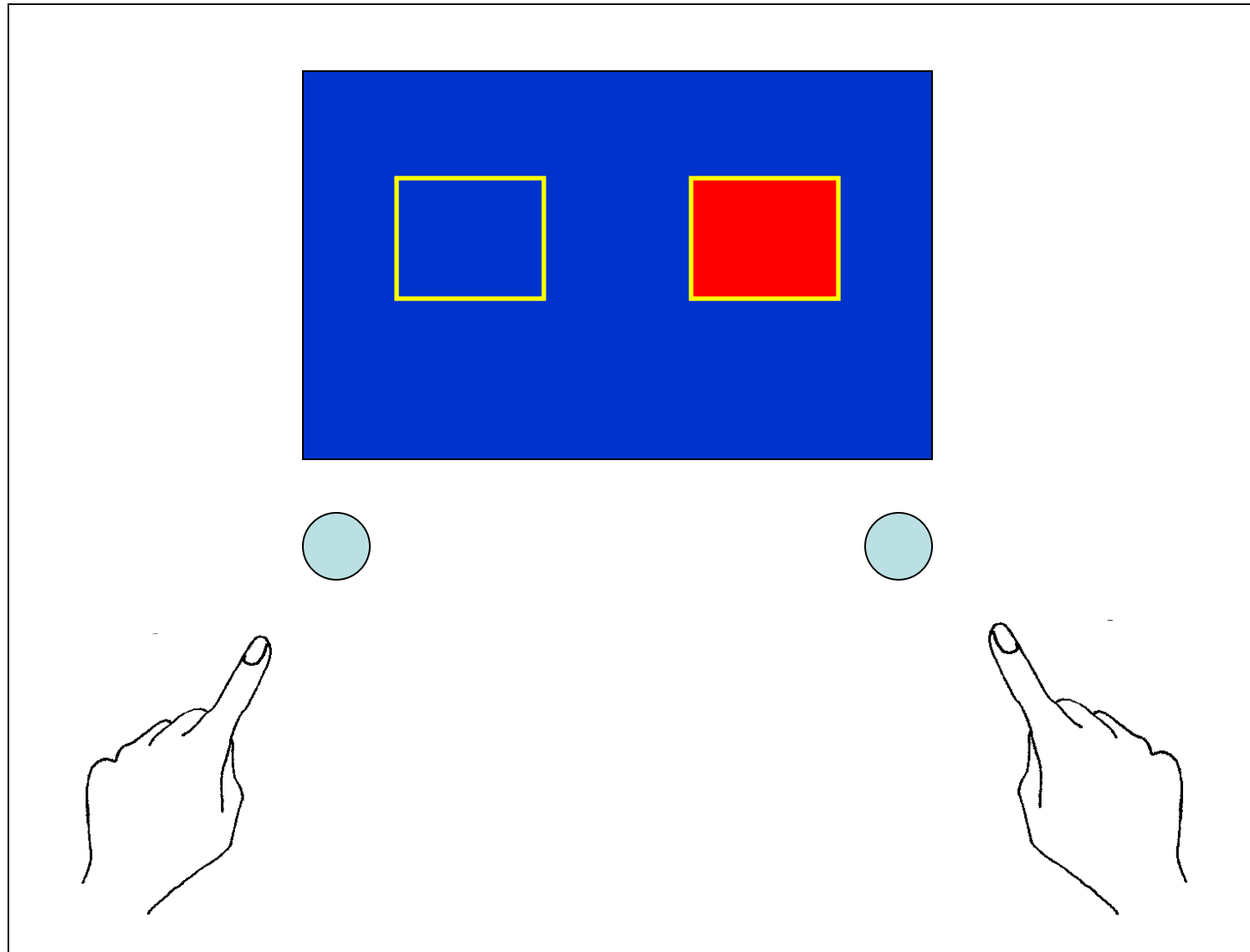
Sternberg (1969) propose une méthode destinée à identifier l'éventuelle présence de stades différenciés:

**la méthode des facteurs additifs**

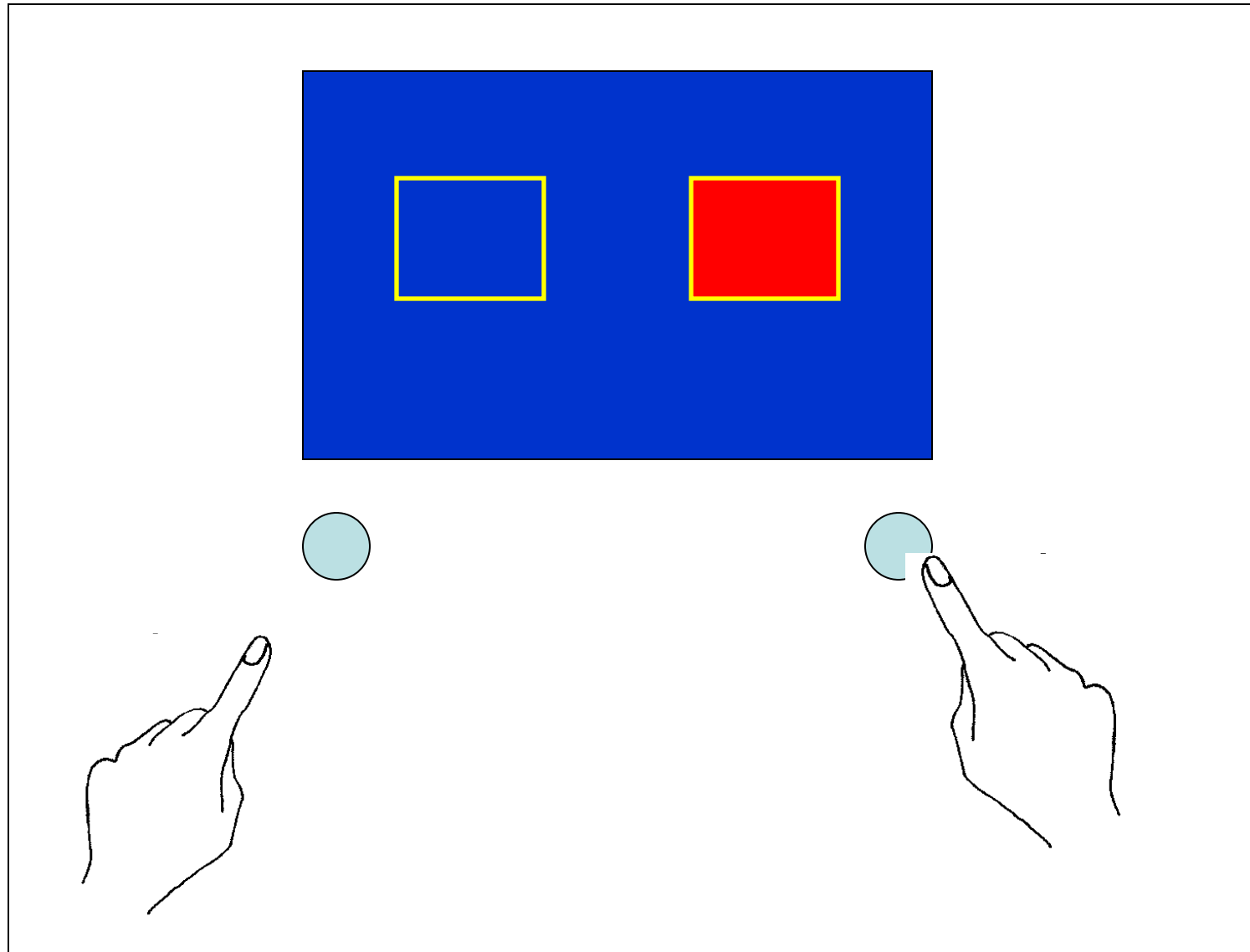
# Signal de haute qualité (HQ)



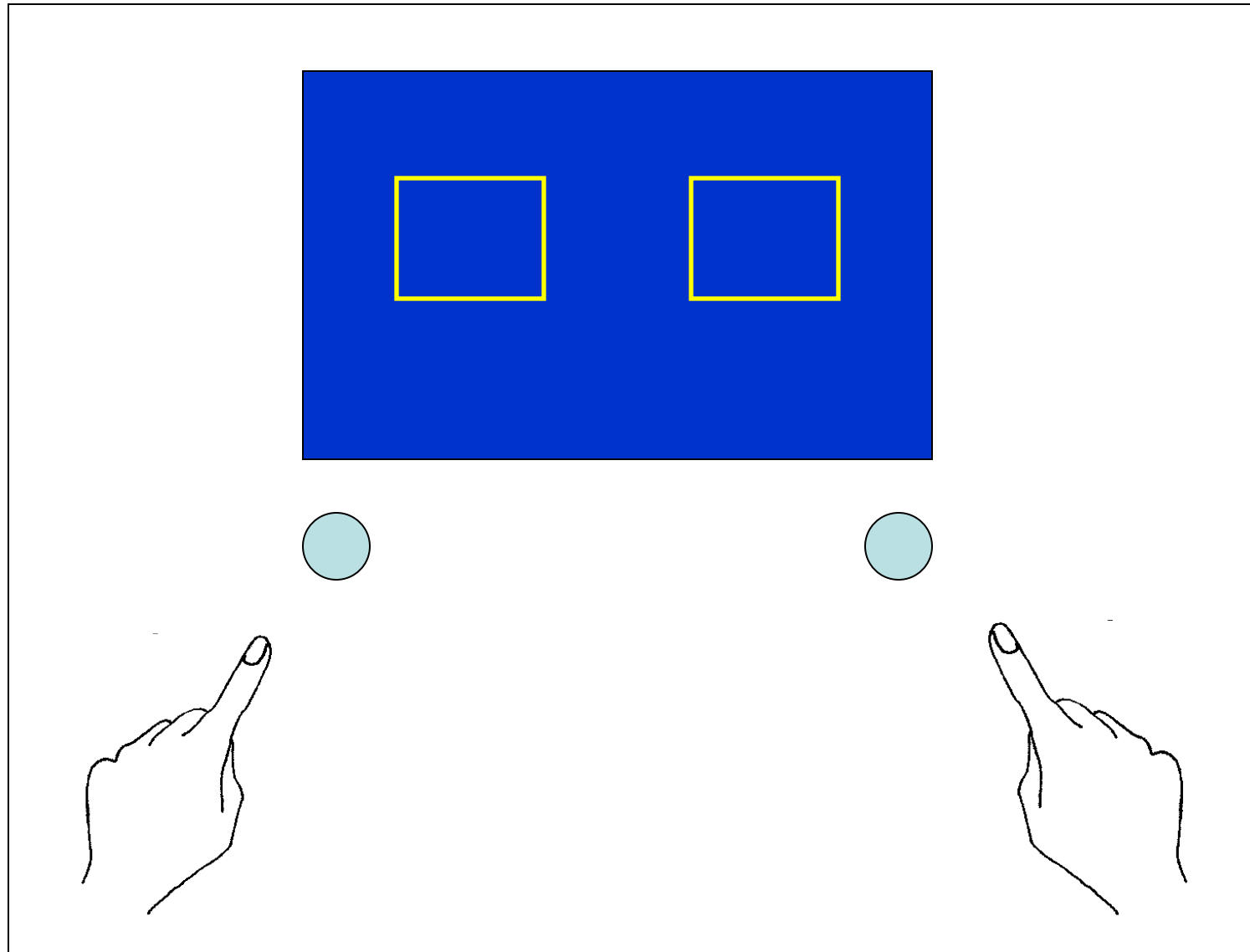
# Signal de haute qualité (HQ)



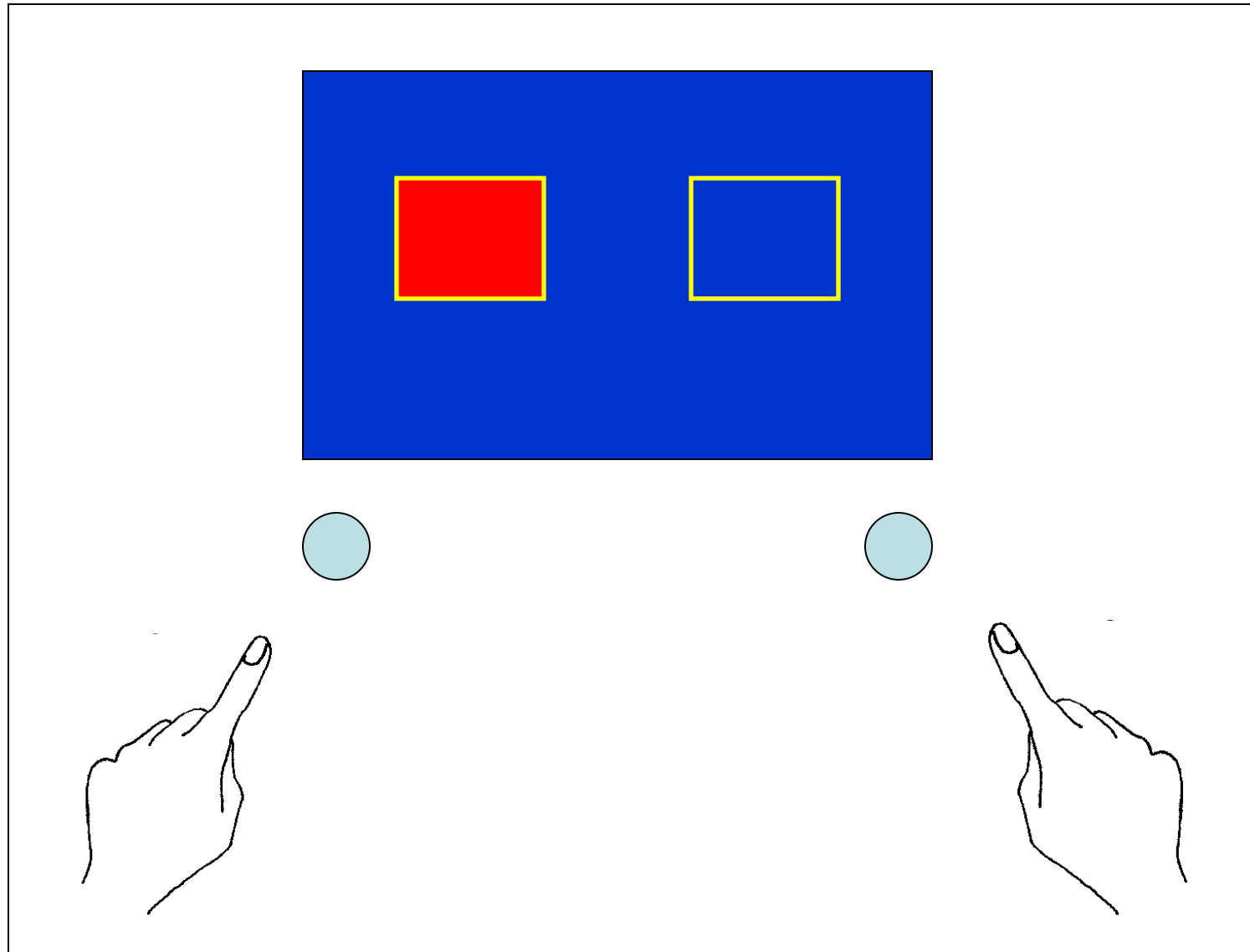
# Signal de haute qualité (HQ)



# Signal de haute qualité (HQ)

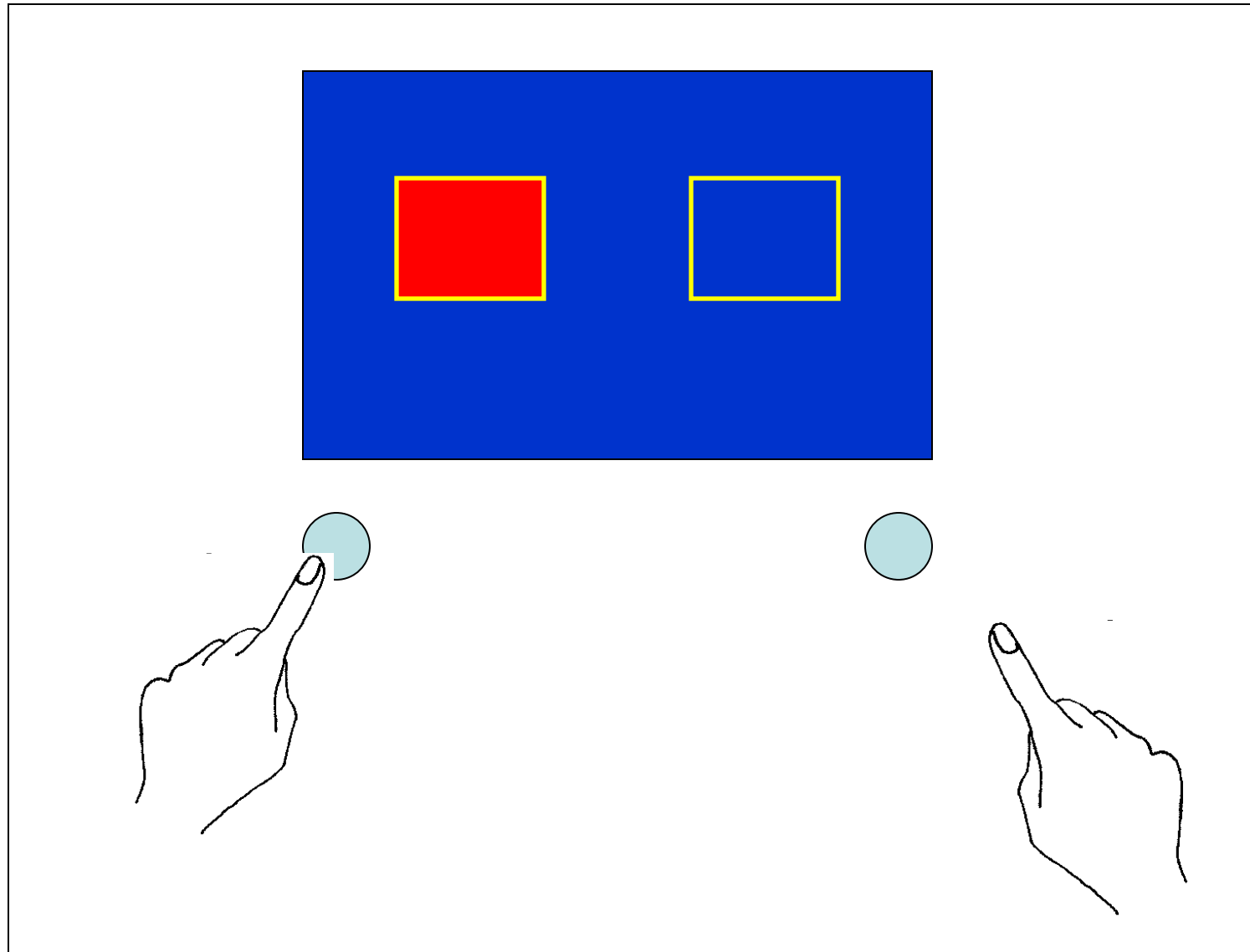


# Signal de haute qualité (HQ)

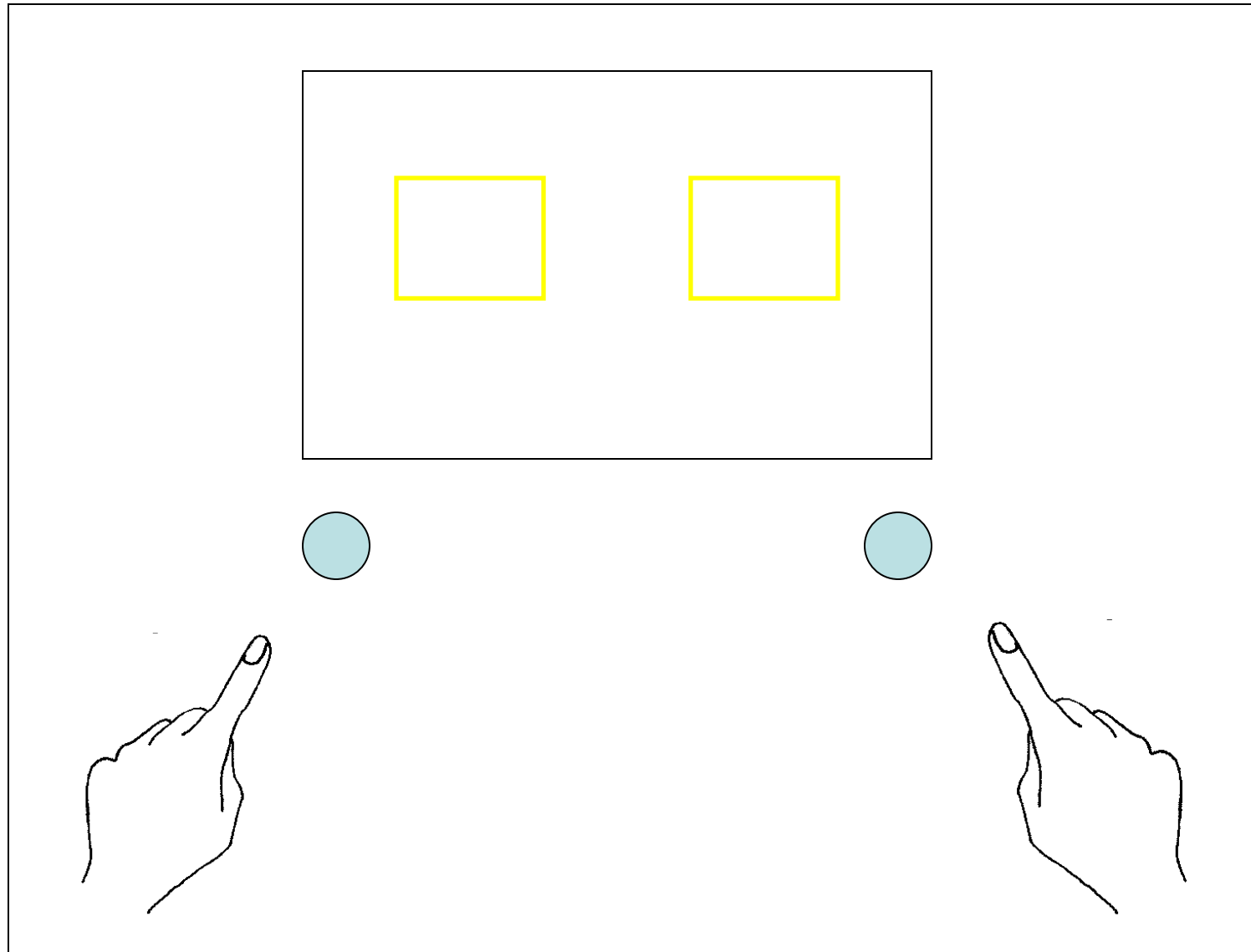




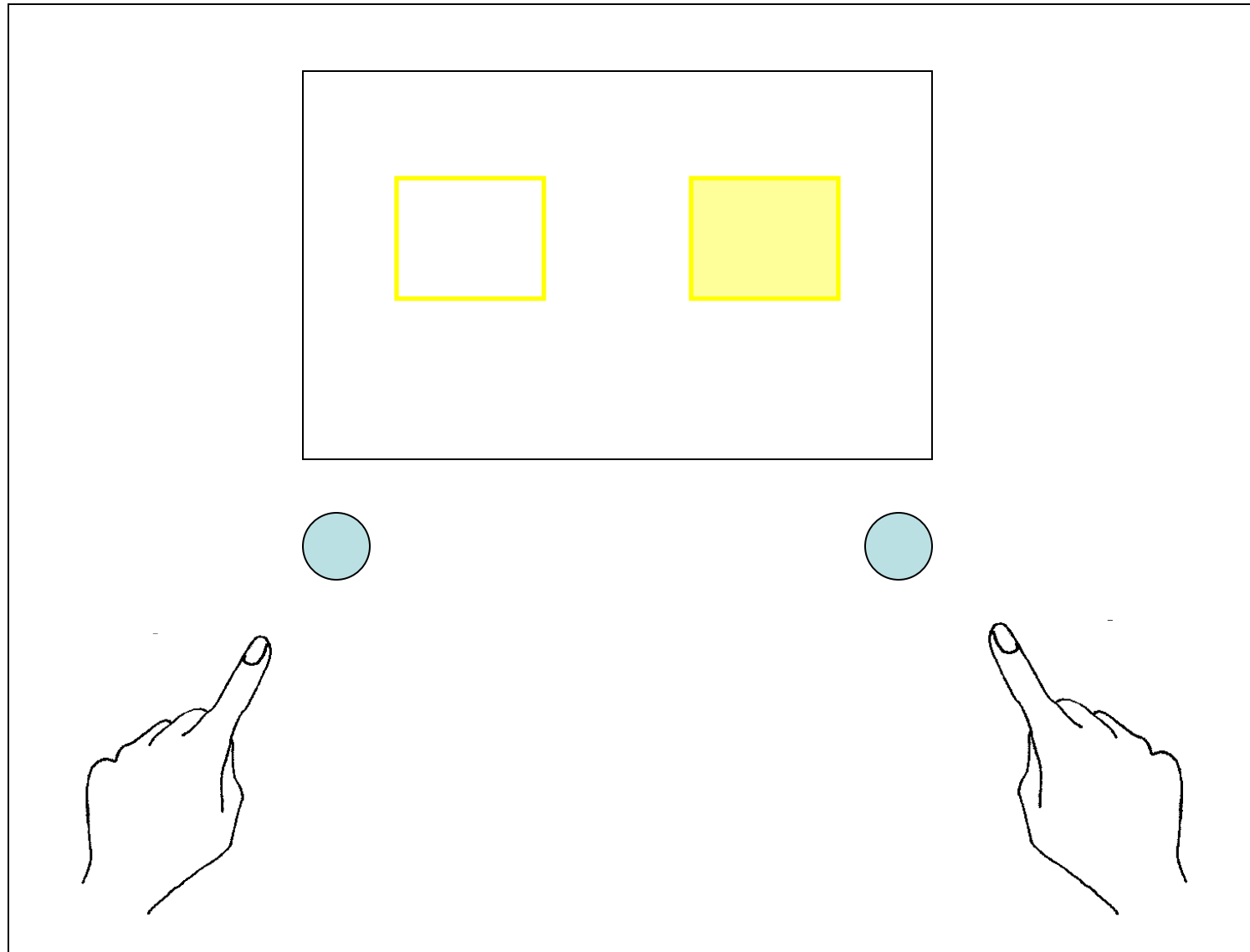
# Signal de haute qualité (HQ)



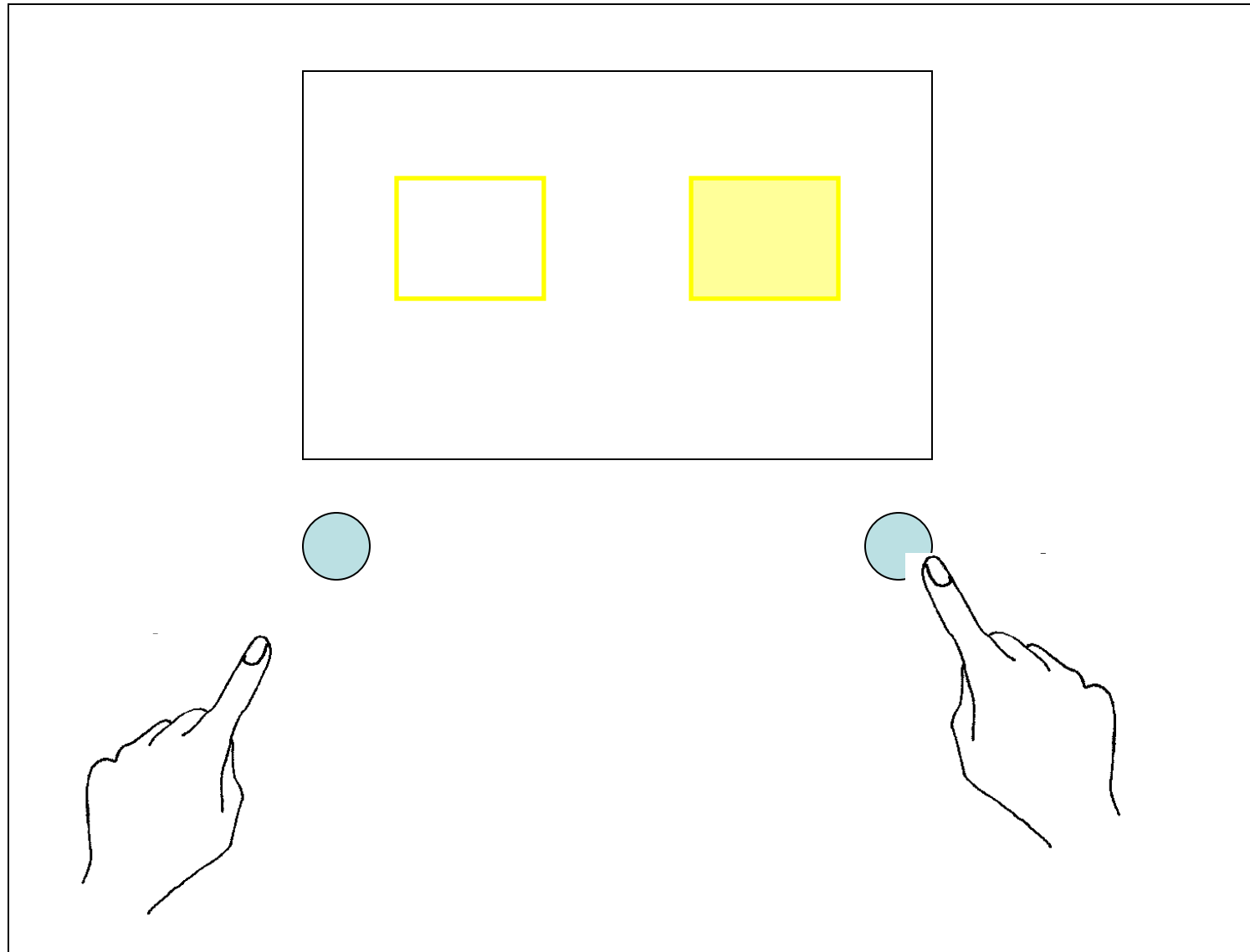
# Signal de faible qualité (FQ)



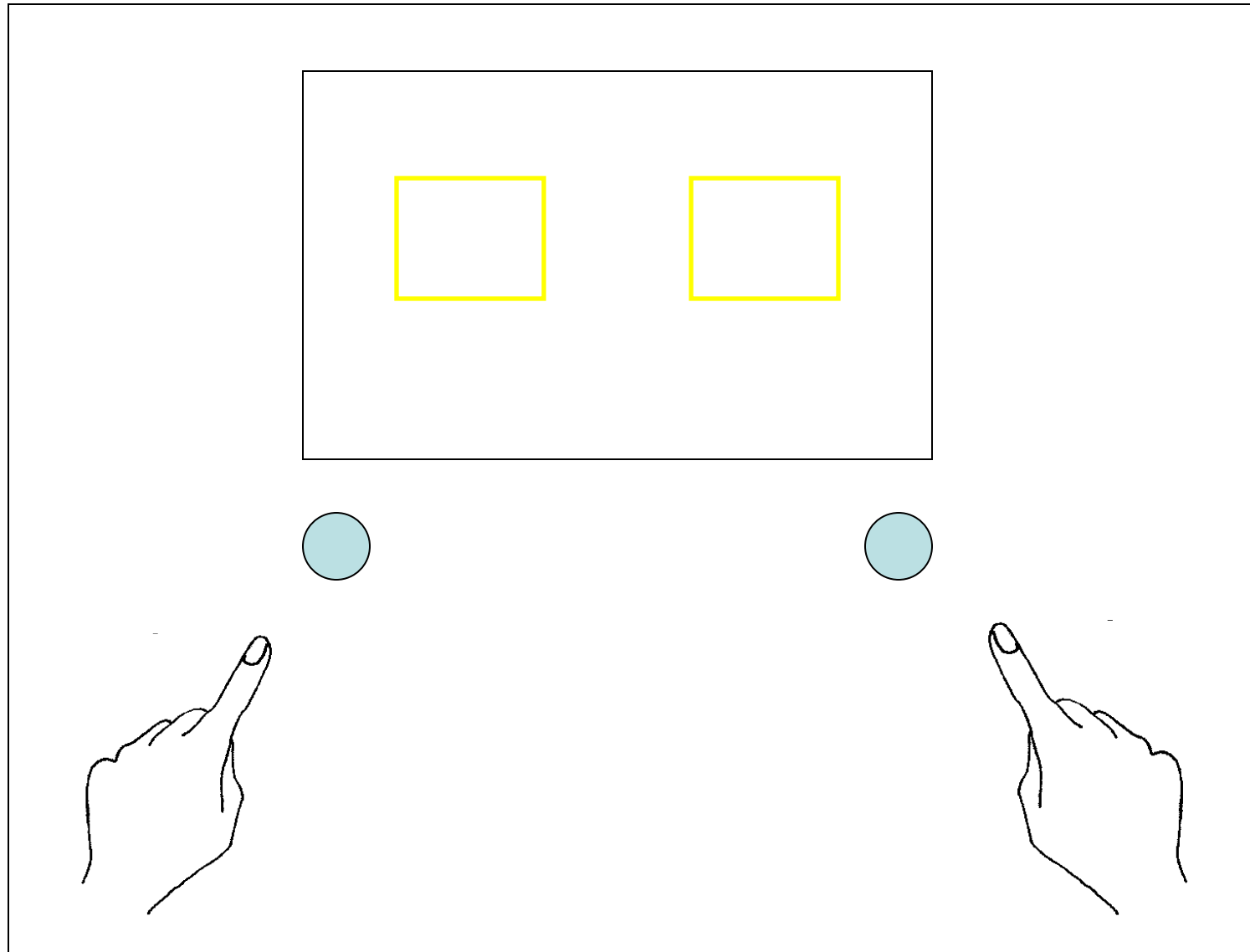
# Signal de faible qualité (FQ)



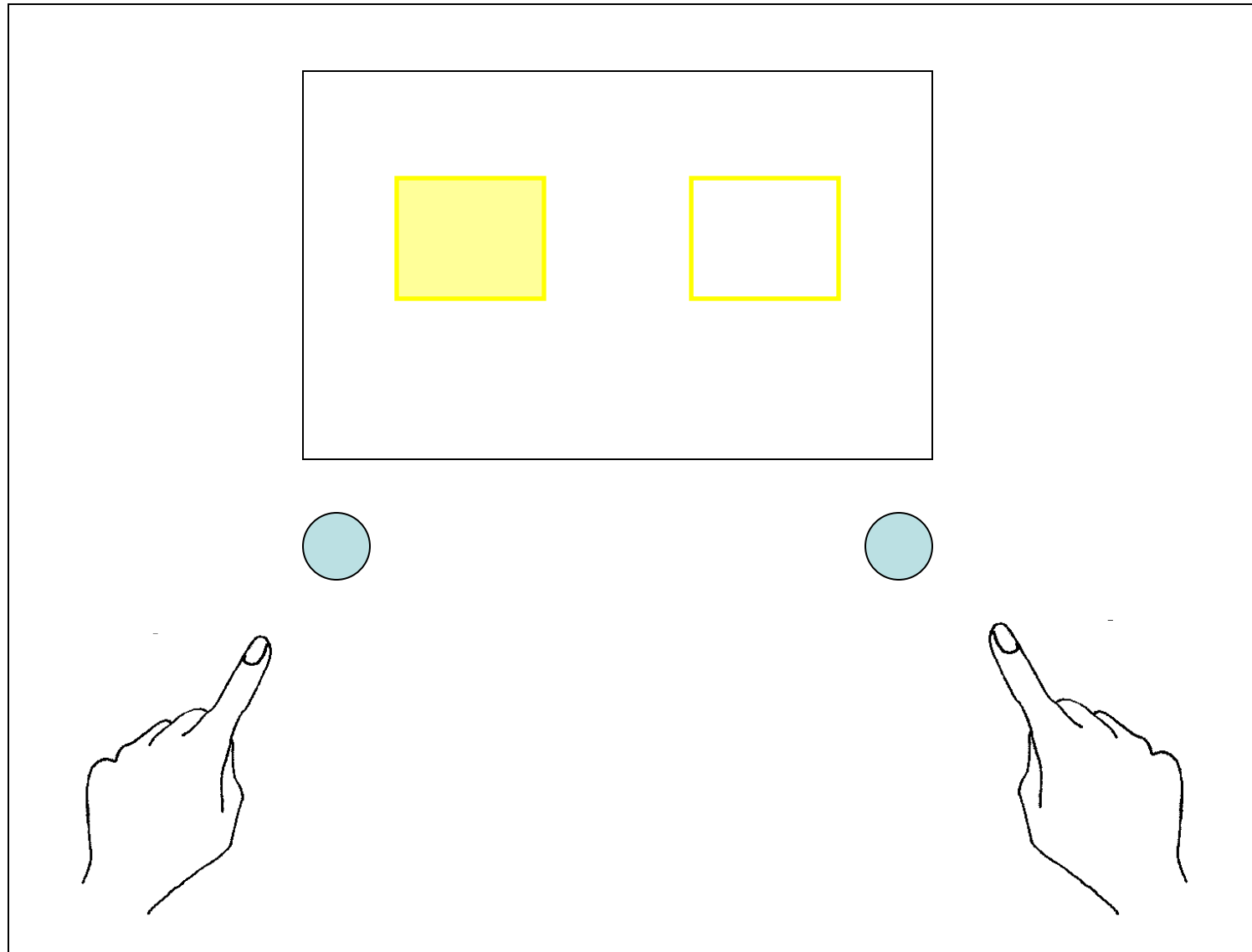
# Signal de faible qualité (FQ)



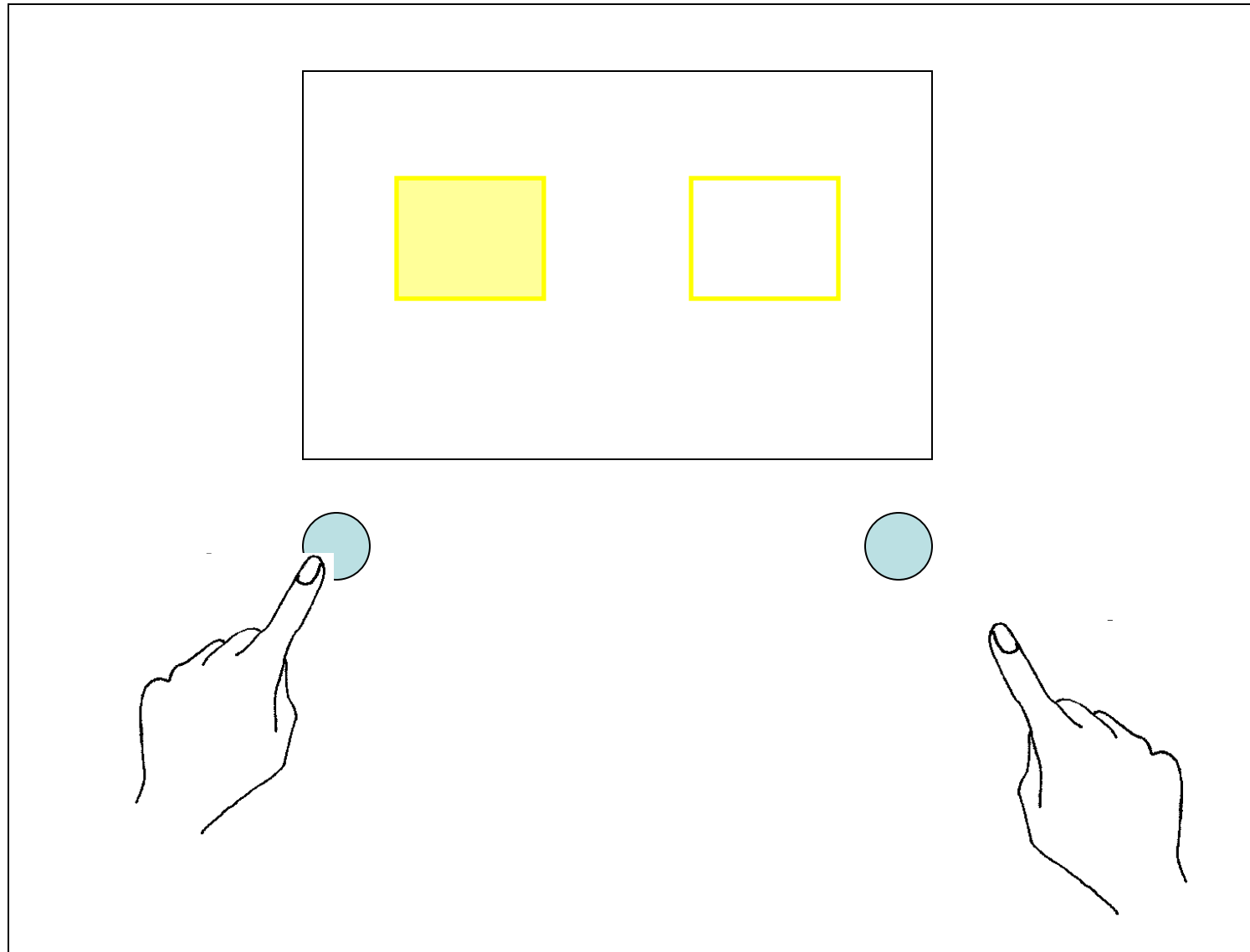
# Signal de faible qualité (FQ)



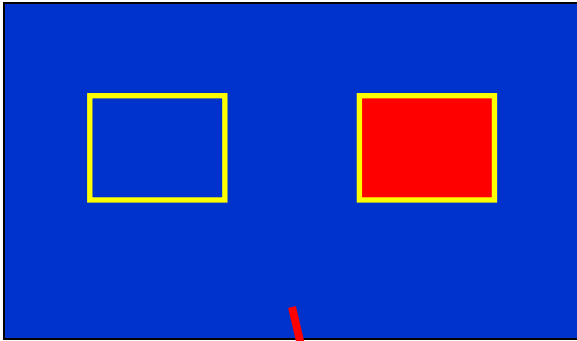
# Signal de faible qualité (FQ)



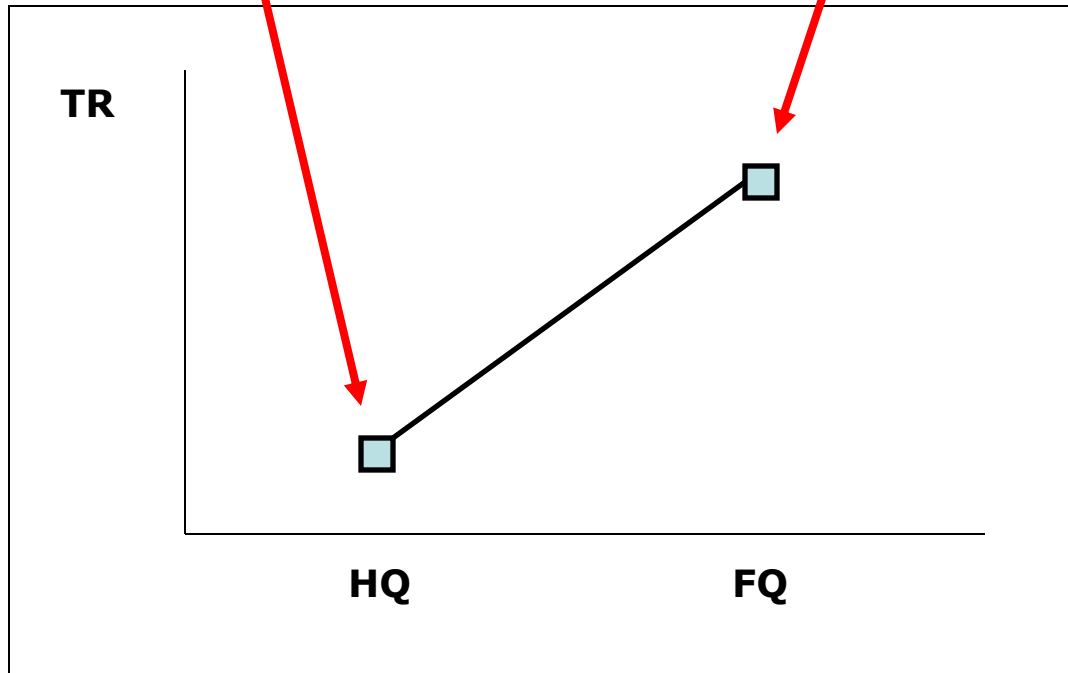
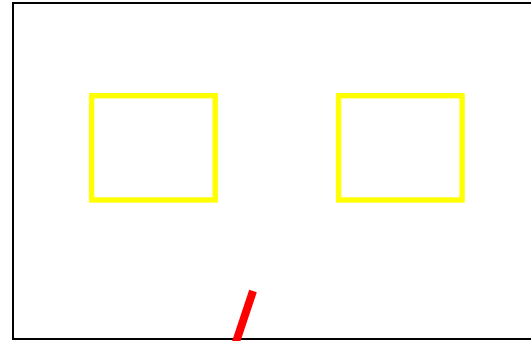
# Signal de faible qualité (FQ)



Haute qualité (HQ)

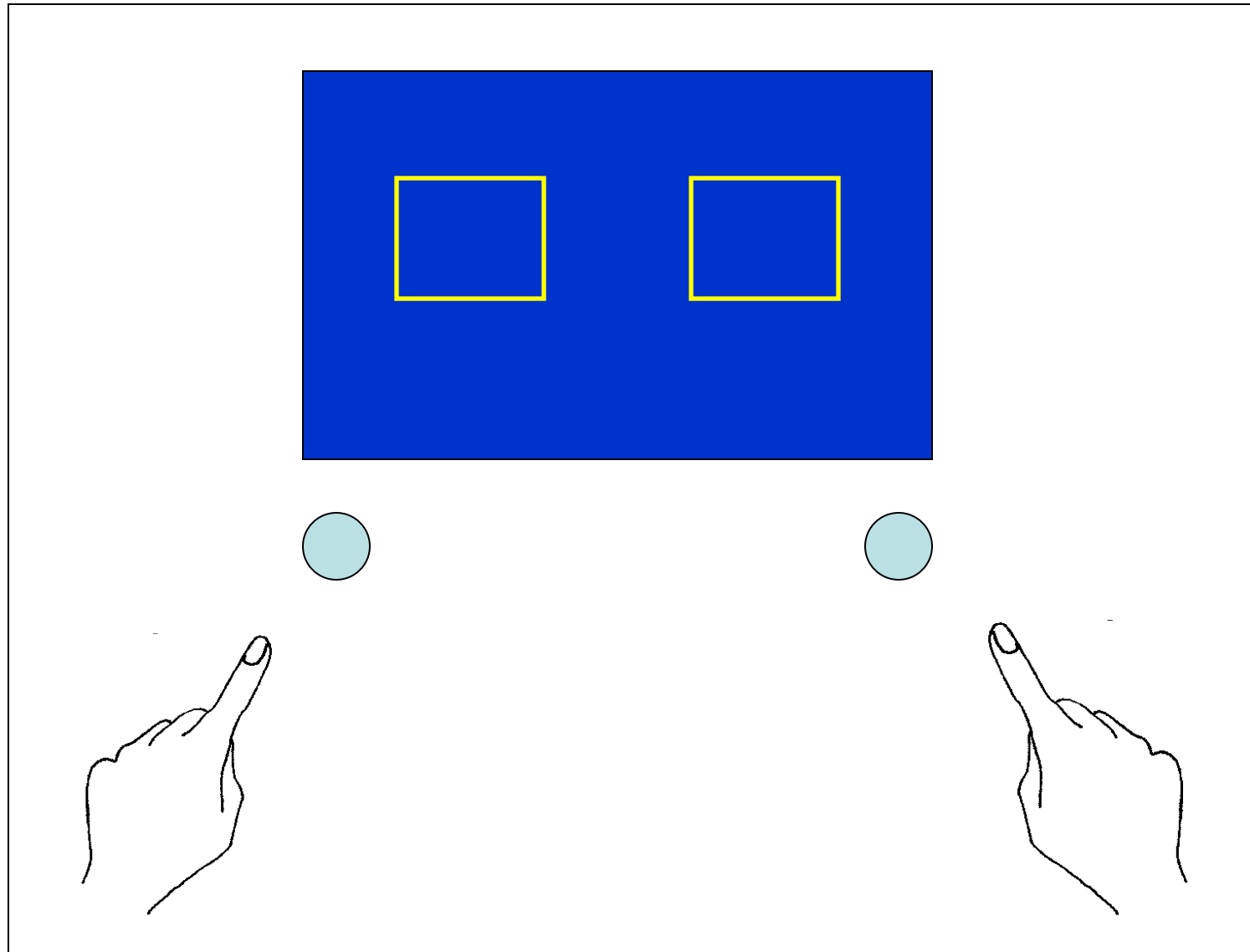


Faible qualité (FQ)

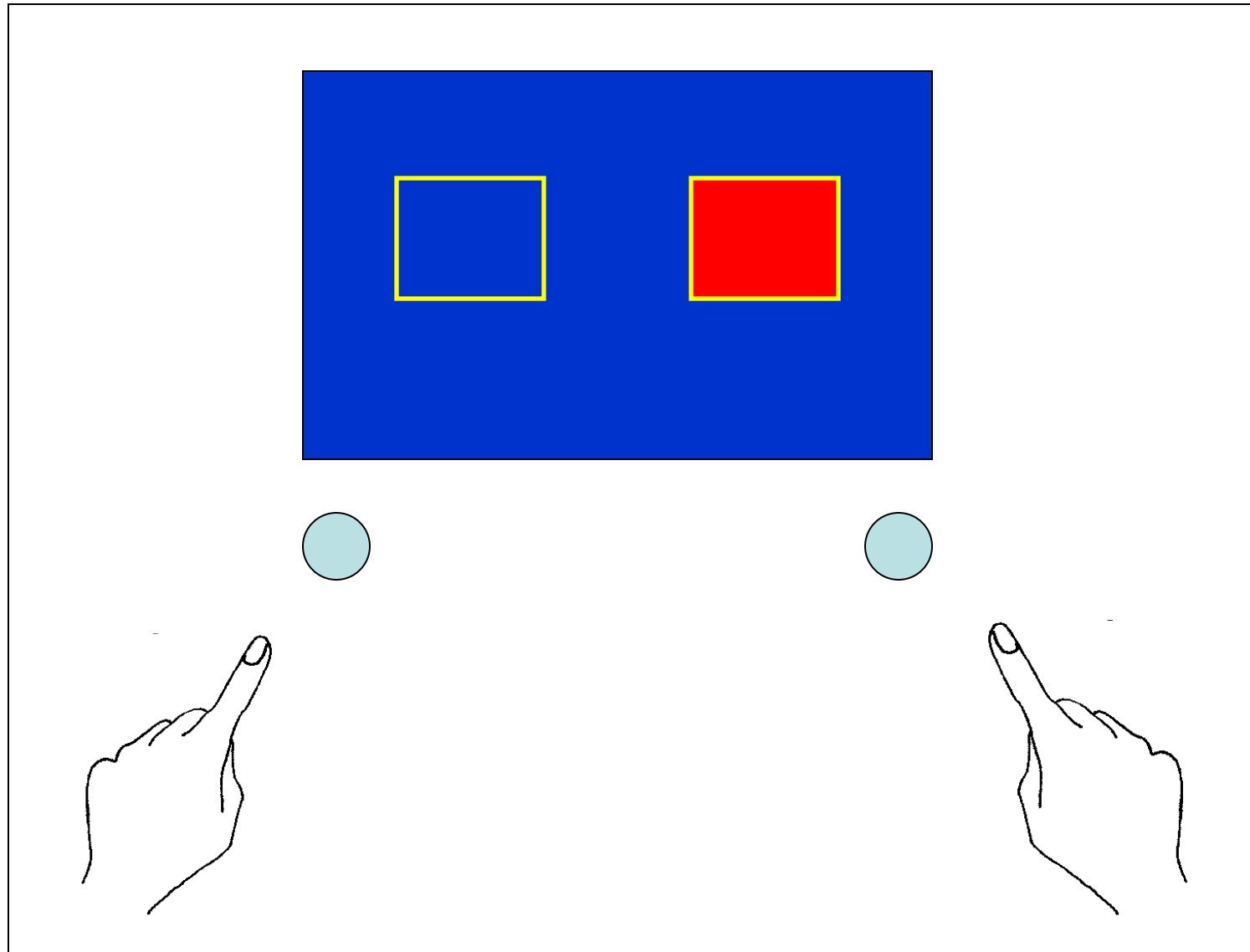




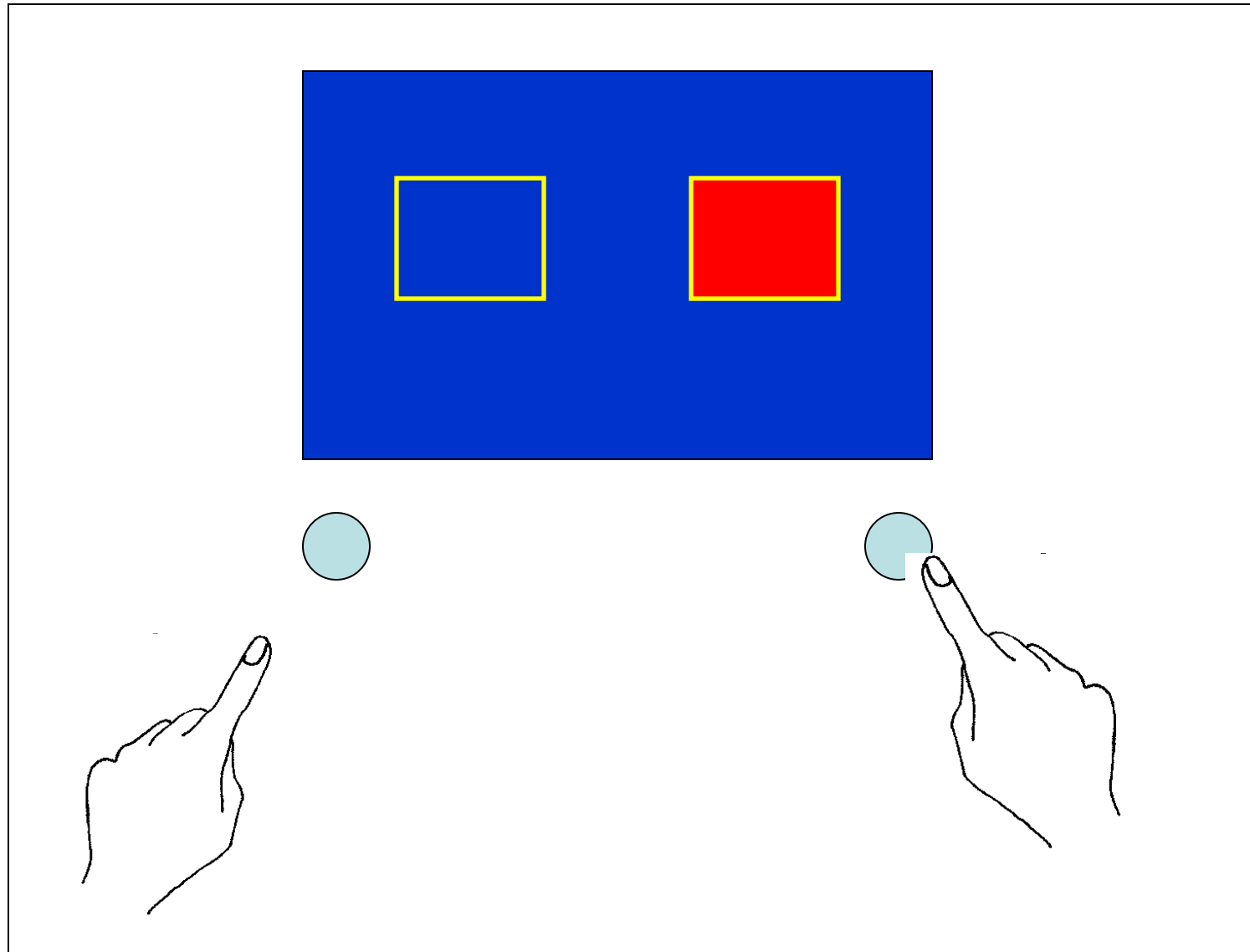
# Tâche compatible (C)



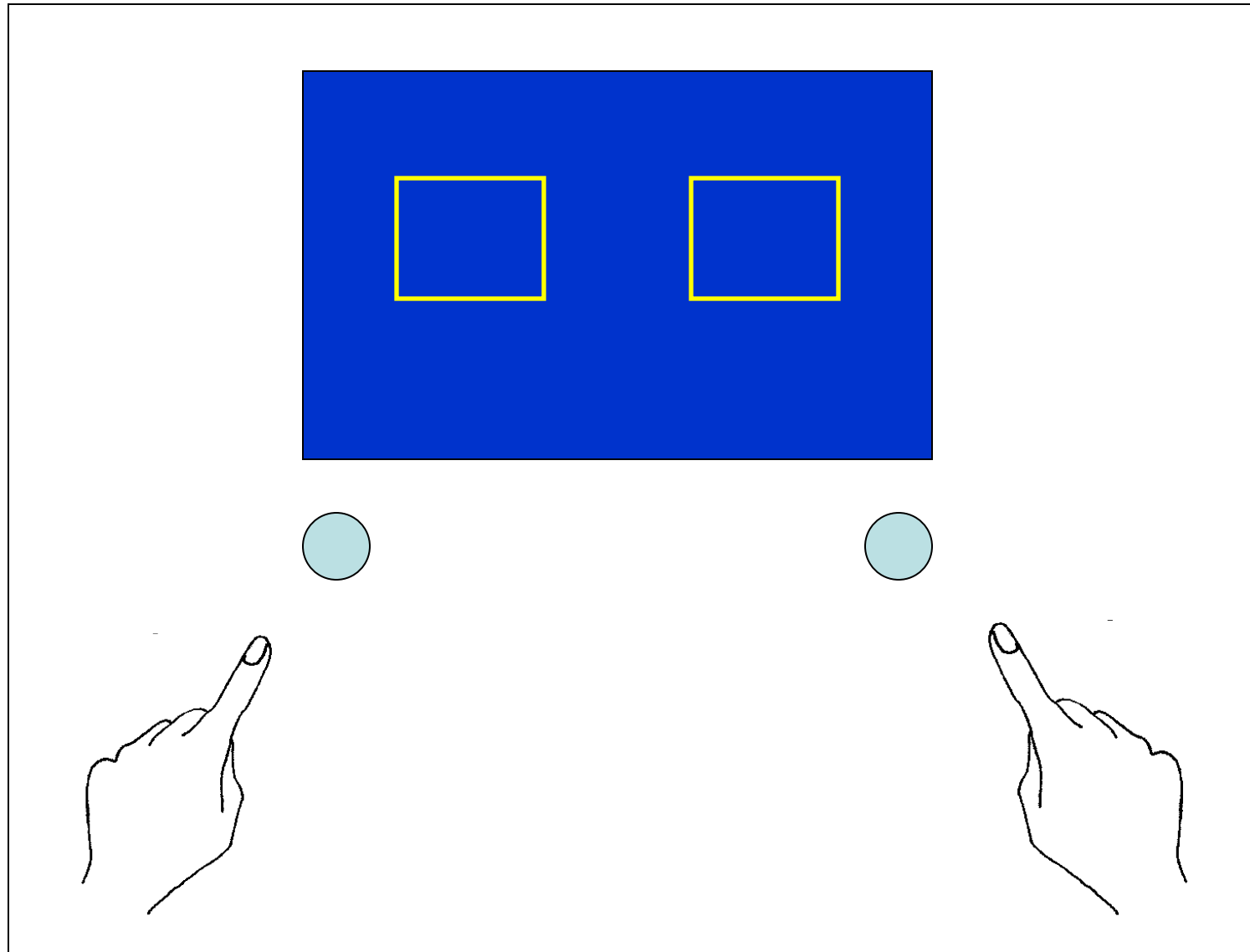
# Tâche compatible (C)



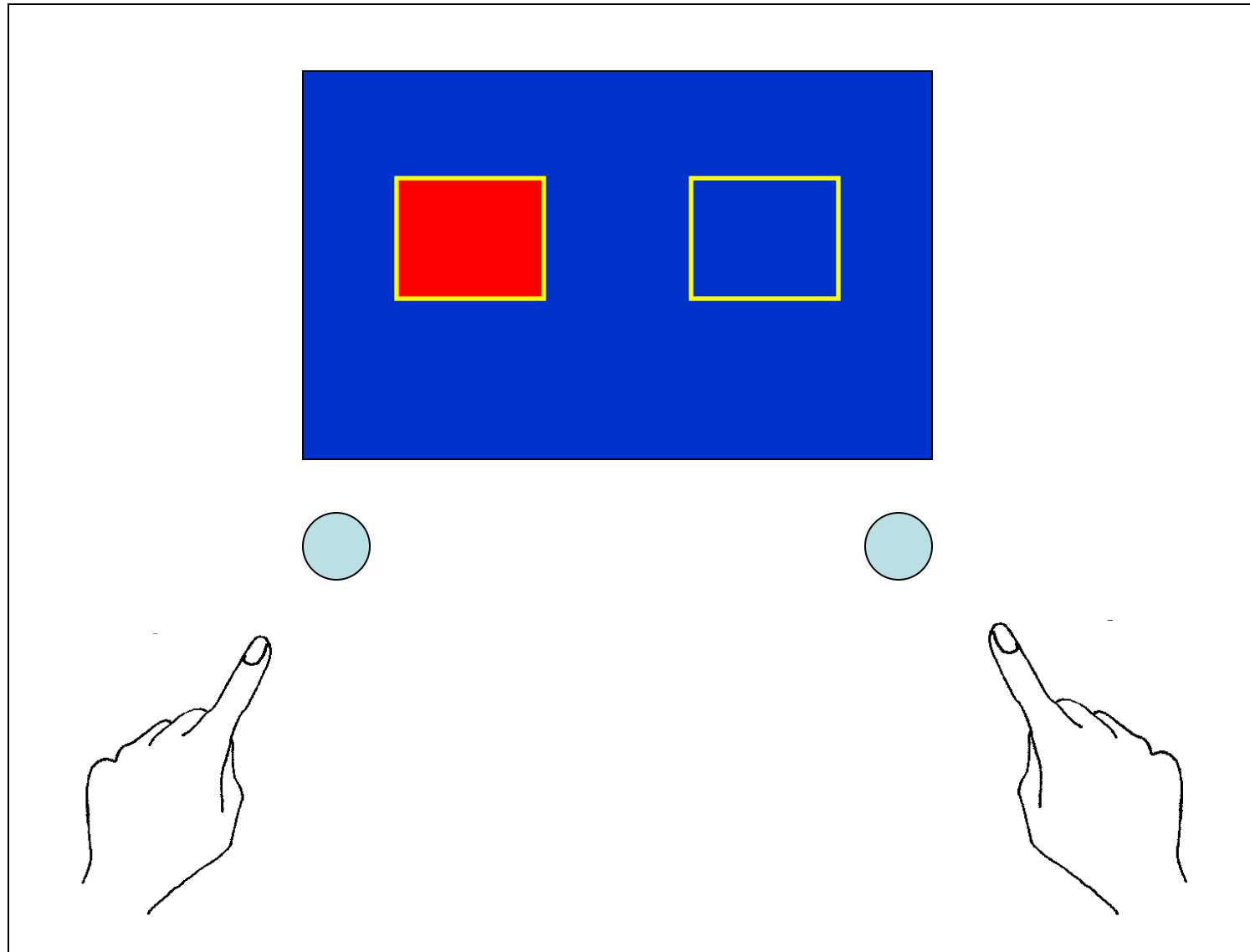
# Tâche compatible (C)



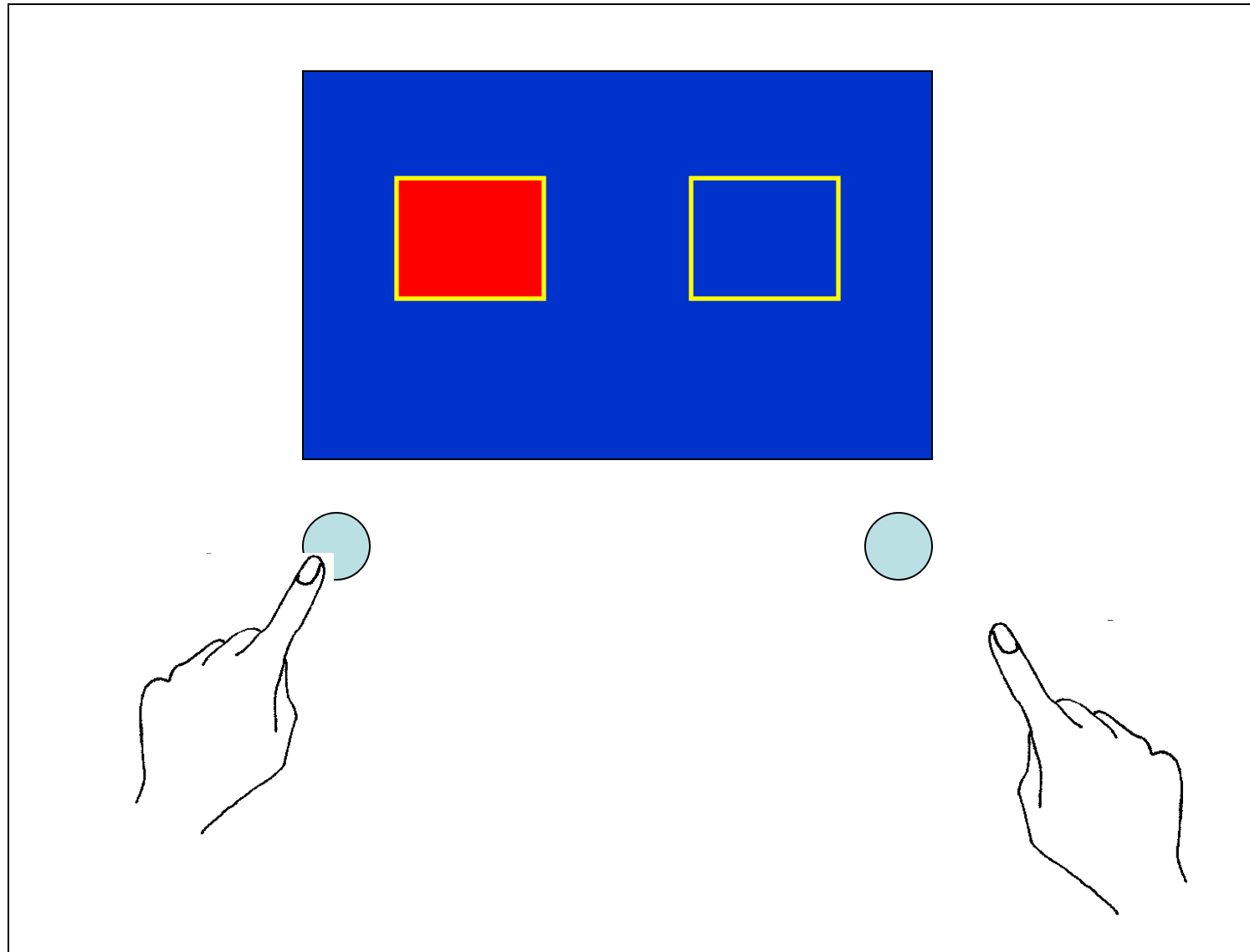
# Tâche compatible (C)



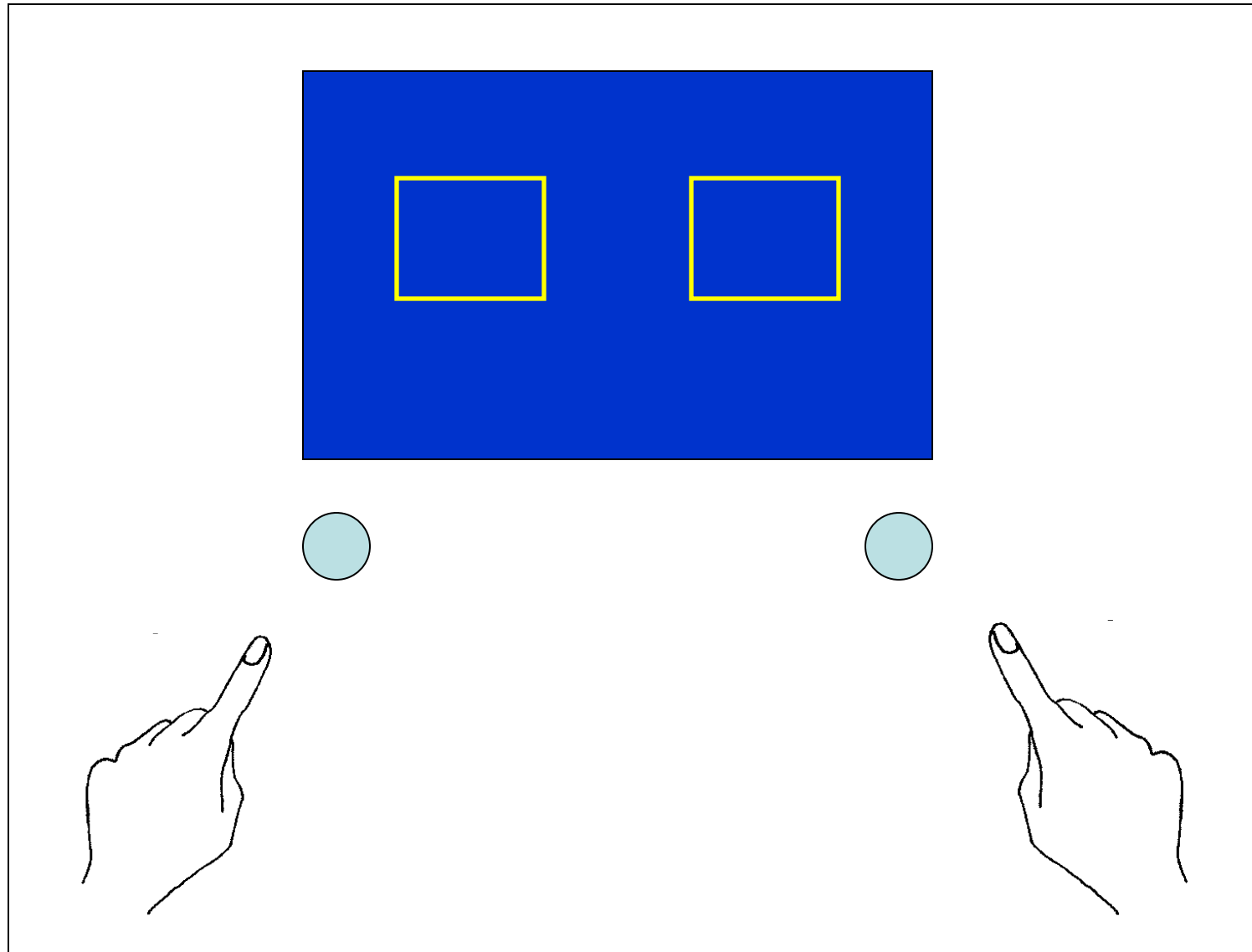
# Tâche compatible (C)



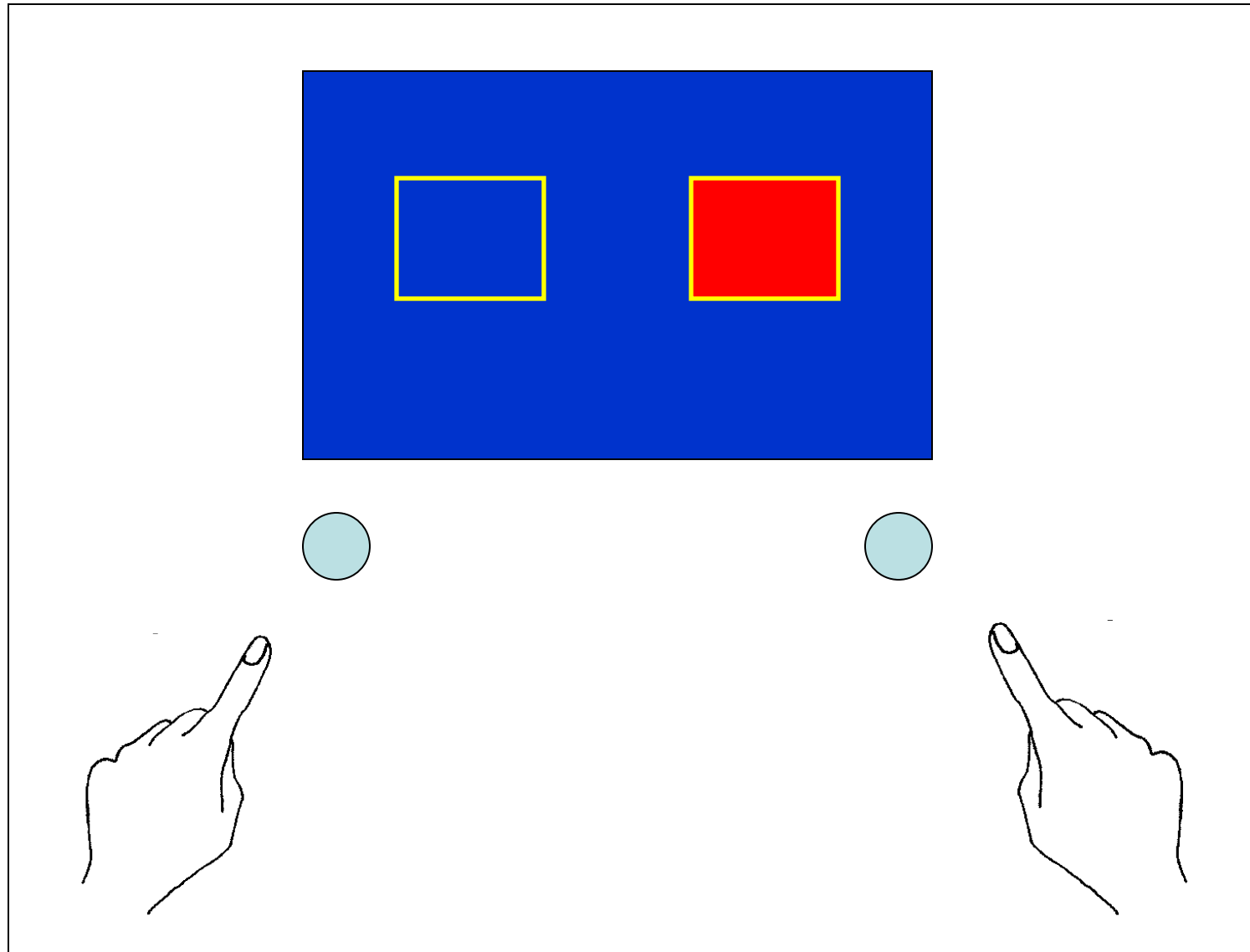
# Tâche compatible (C)



# Tâche non compatible (NC)

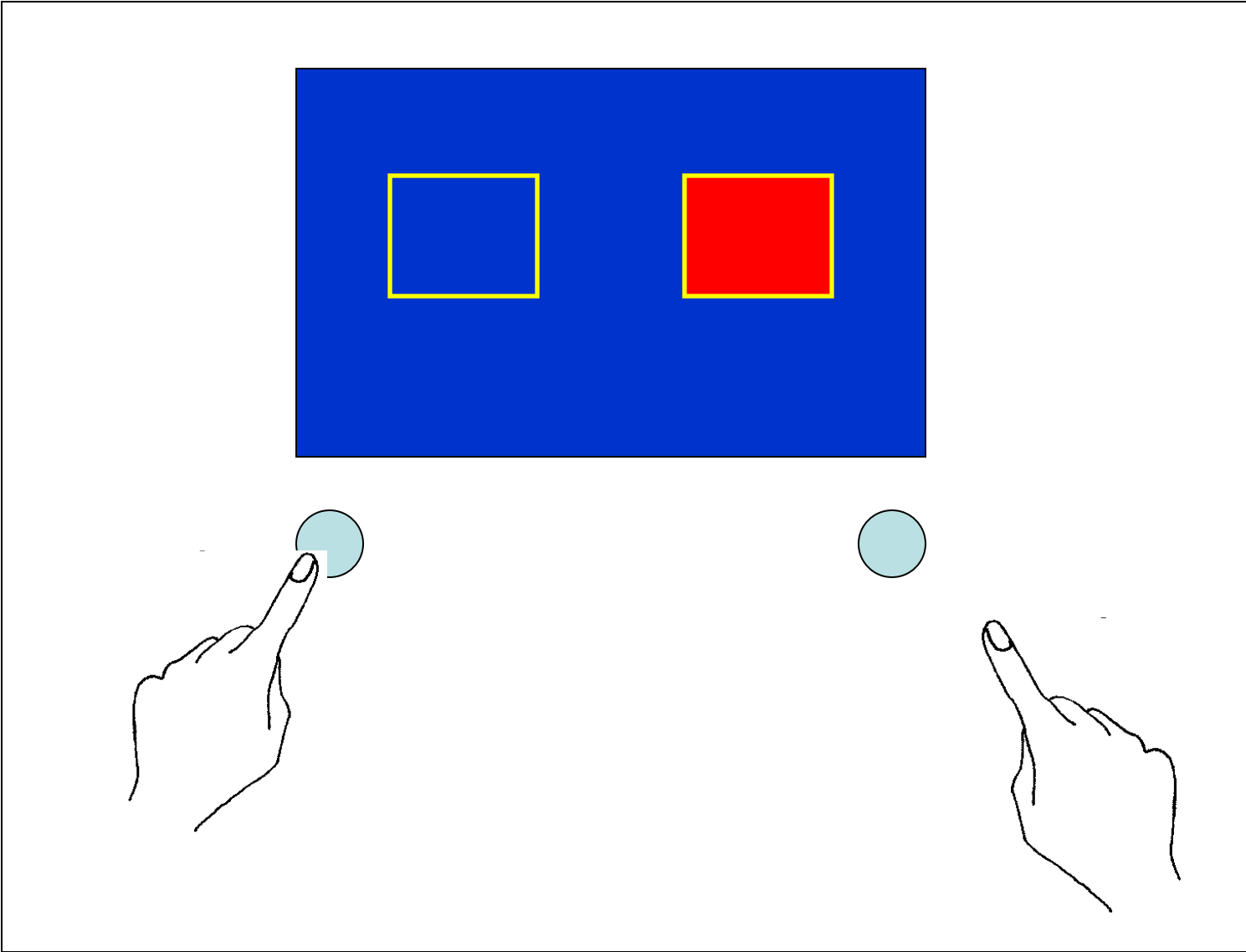


# Tâche non compatible (NC)

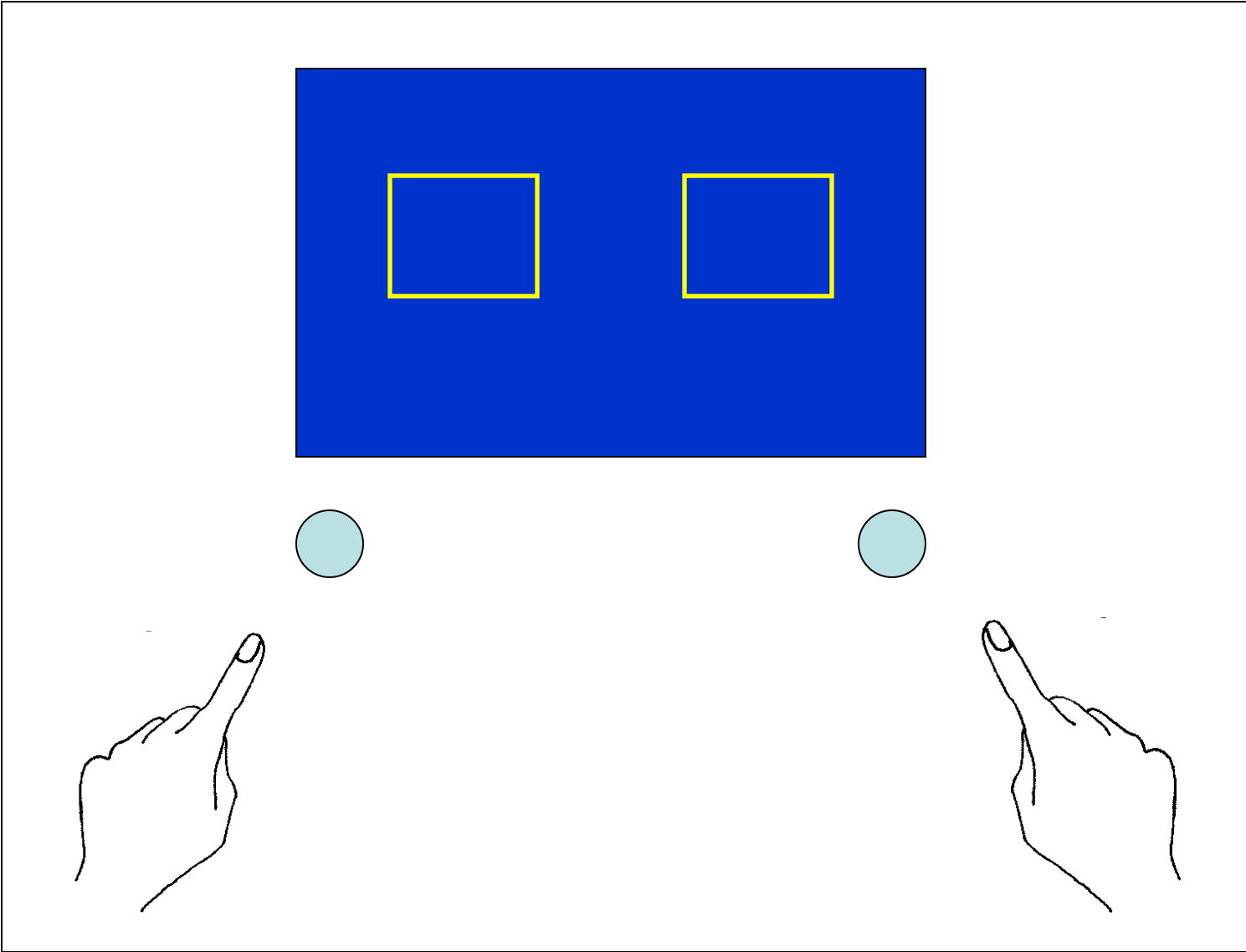




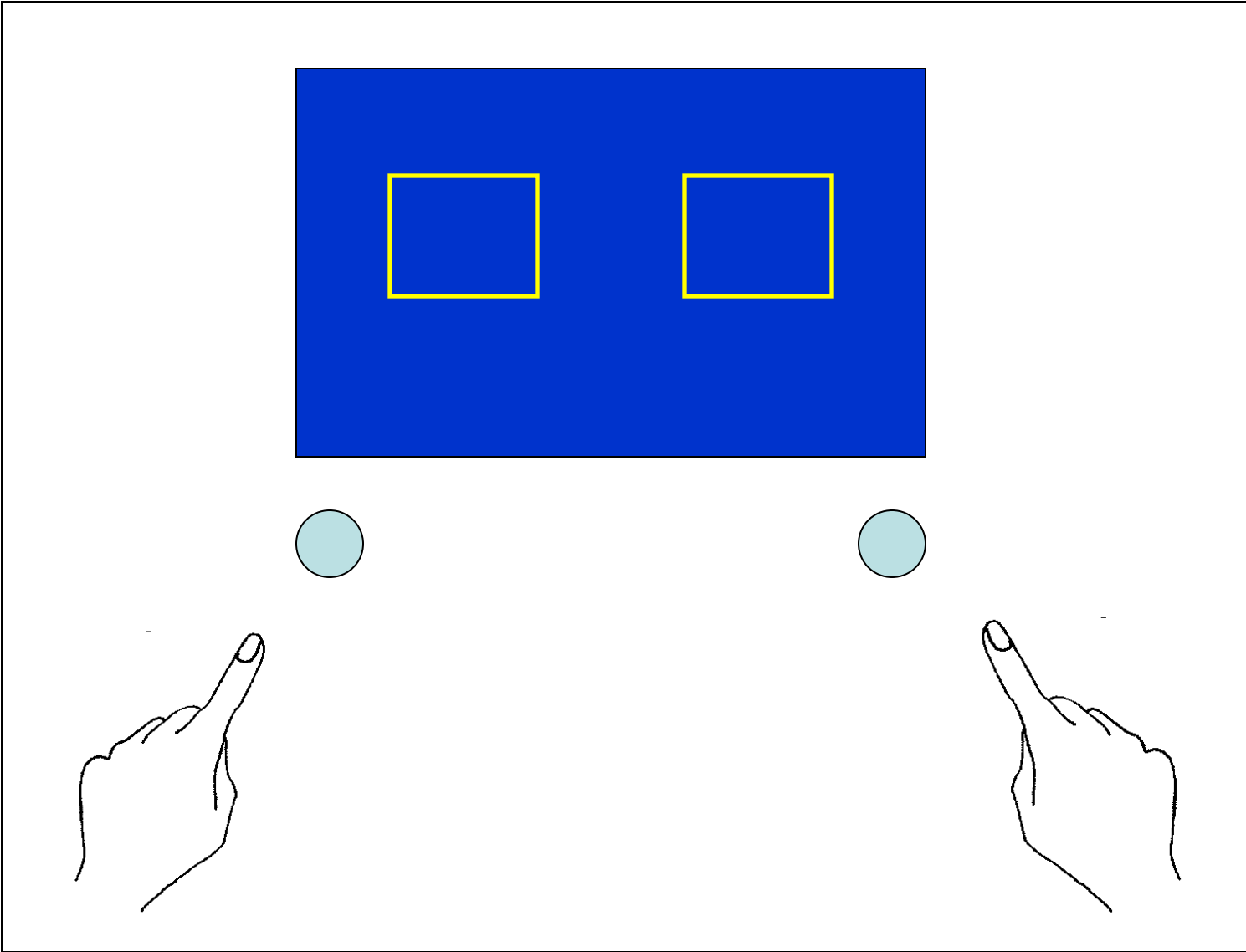
# Tâche non compatible (NC)



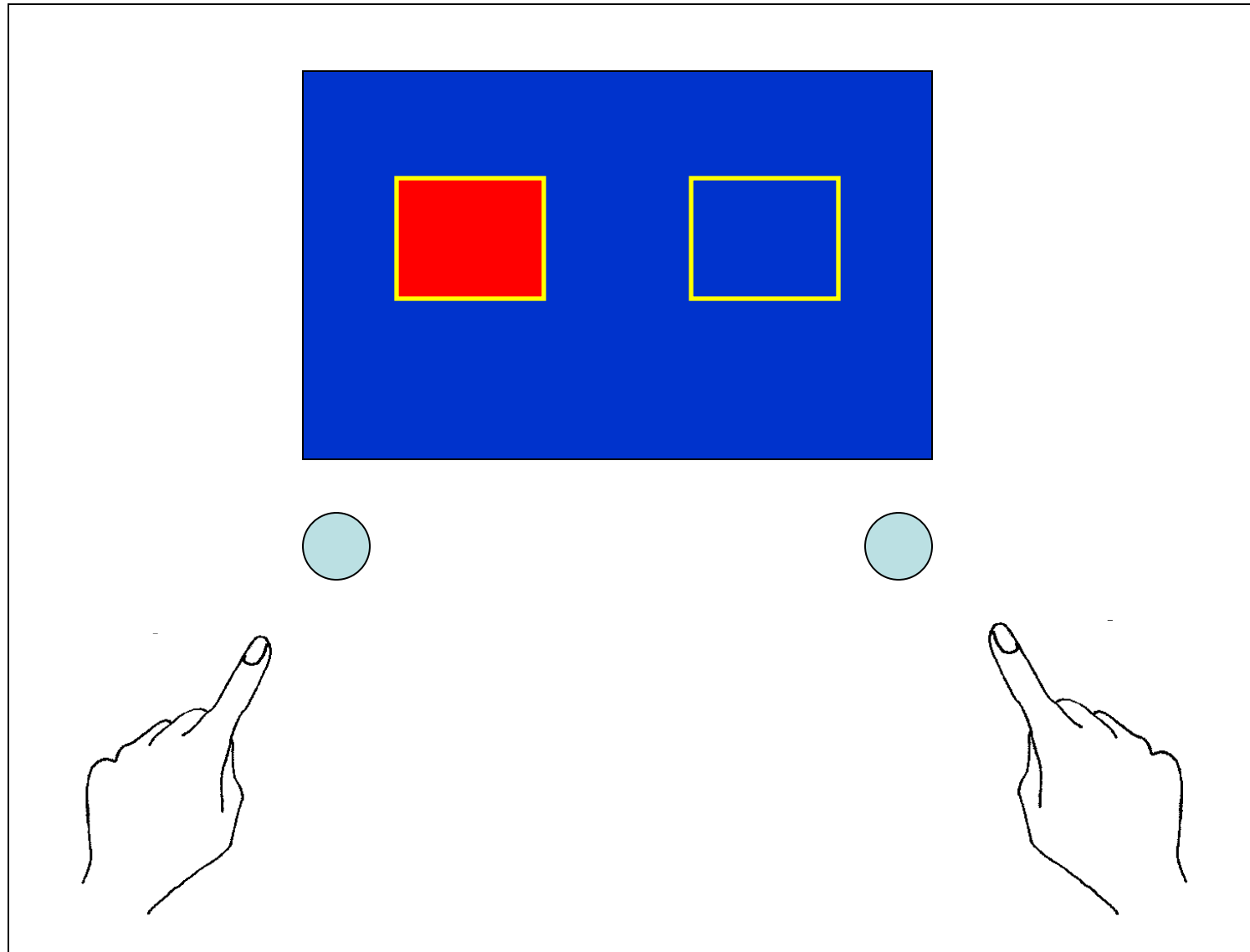
# Tâche non compatible (NC)



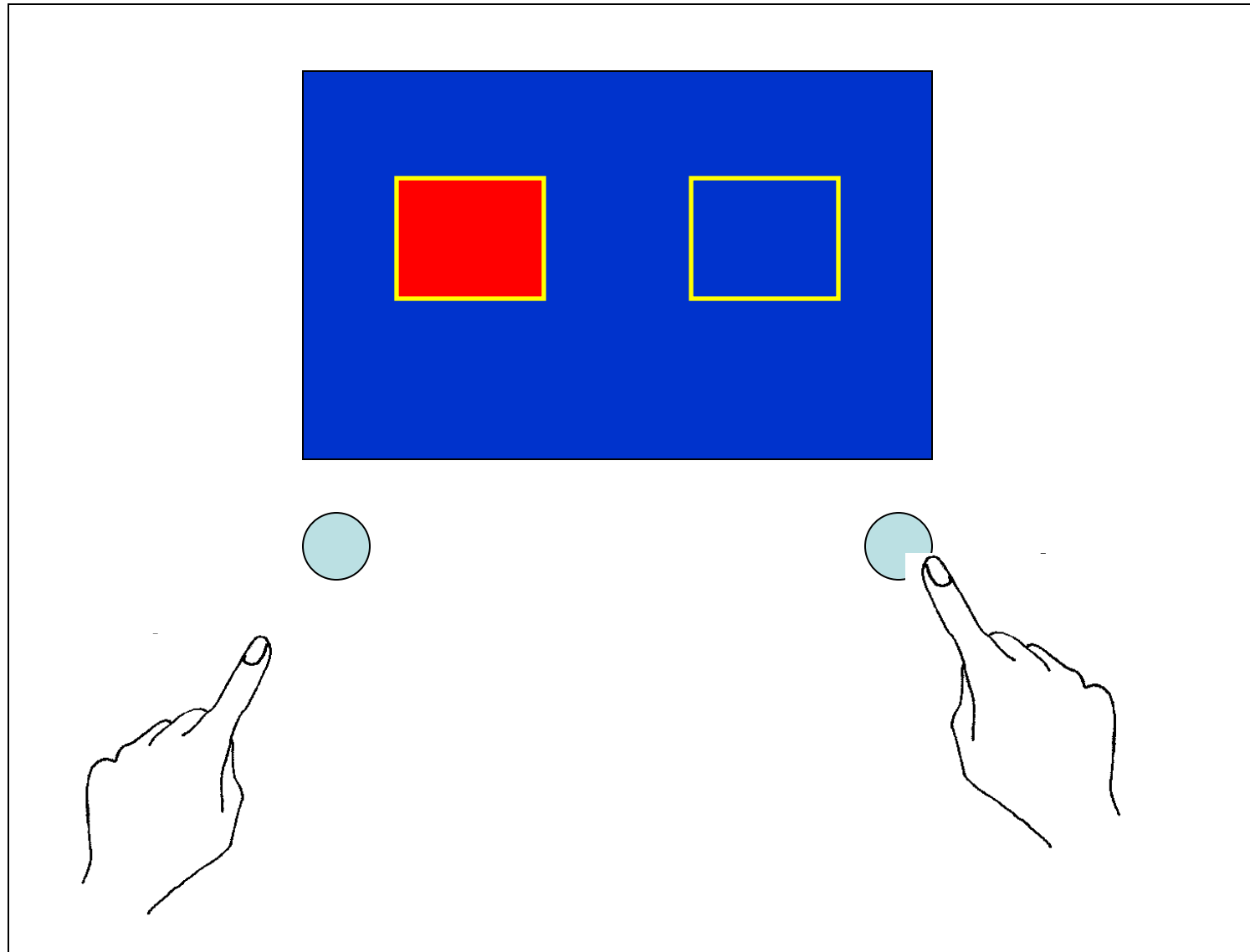
# Tâche non compatible (NC)



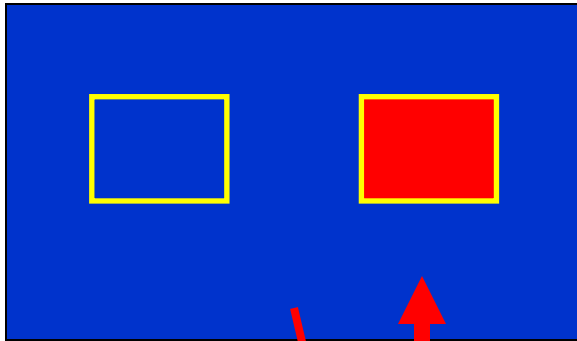
# Tâche non compatible (NC)



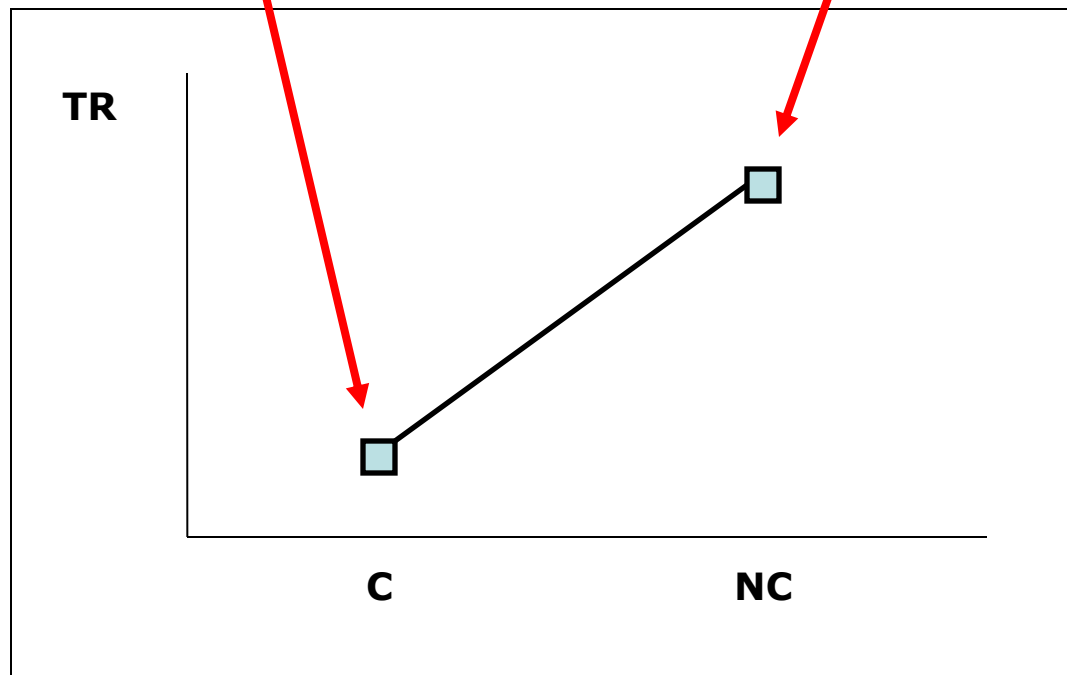
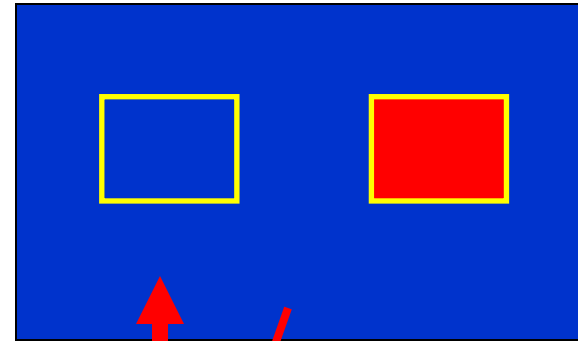
# Tâche non compatible (NC)



Tâches compatibles (C)



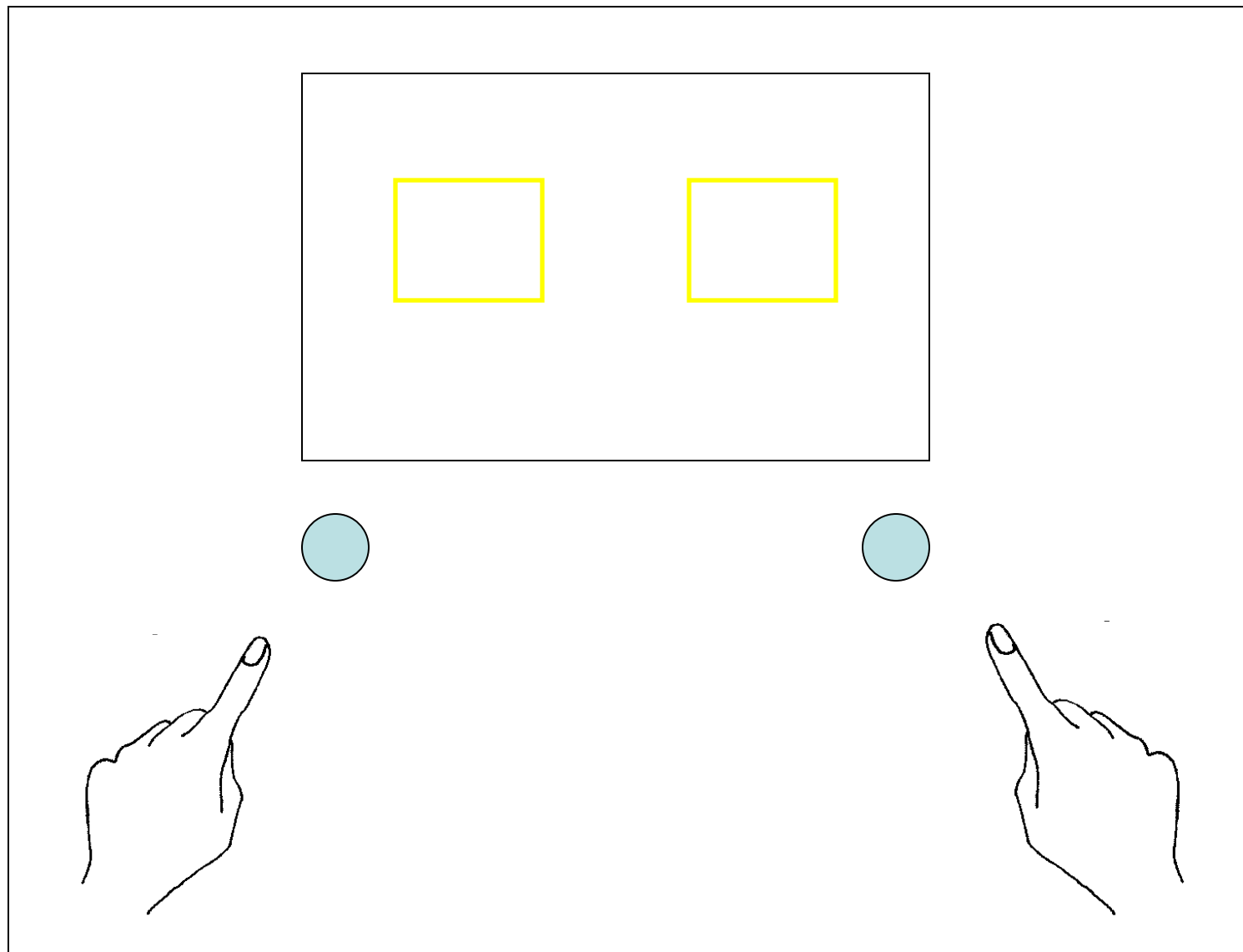
Tâches non compatibles (NC)



→ **Plan expérimental croisé**, exploitant toutes les combinaisons de qualité et de compatibilité du signal

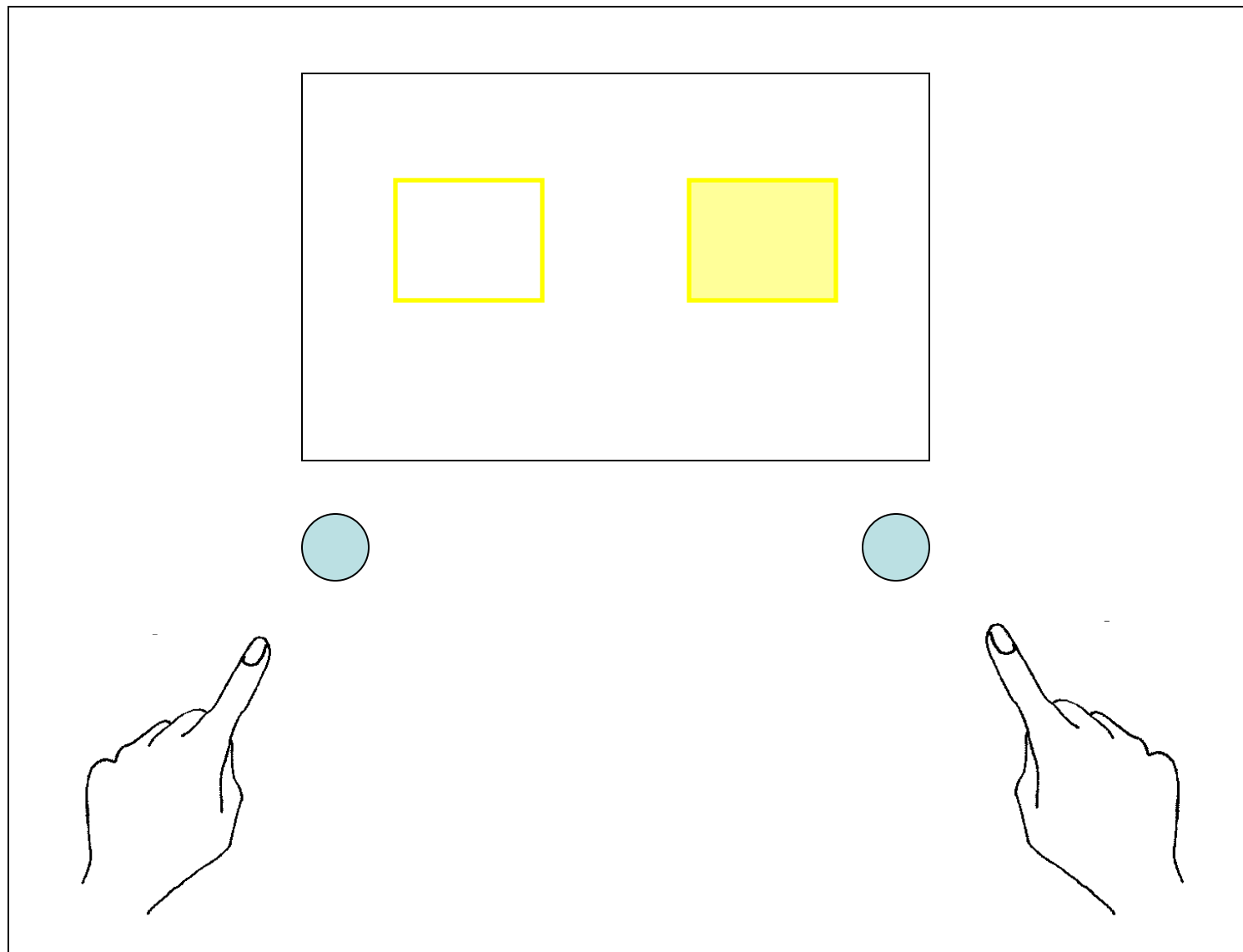
	Haute qualité	Faible qualité
Compatible	C-HQ	C-FQ
Non compatible	NC-HQ	NC-FQ

# Signal de faible qualité-tâche non compatible (FQ-NC)

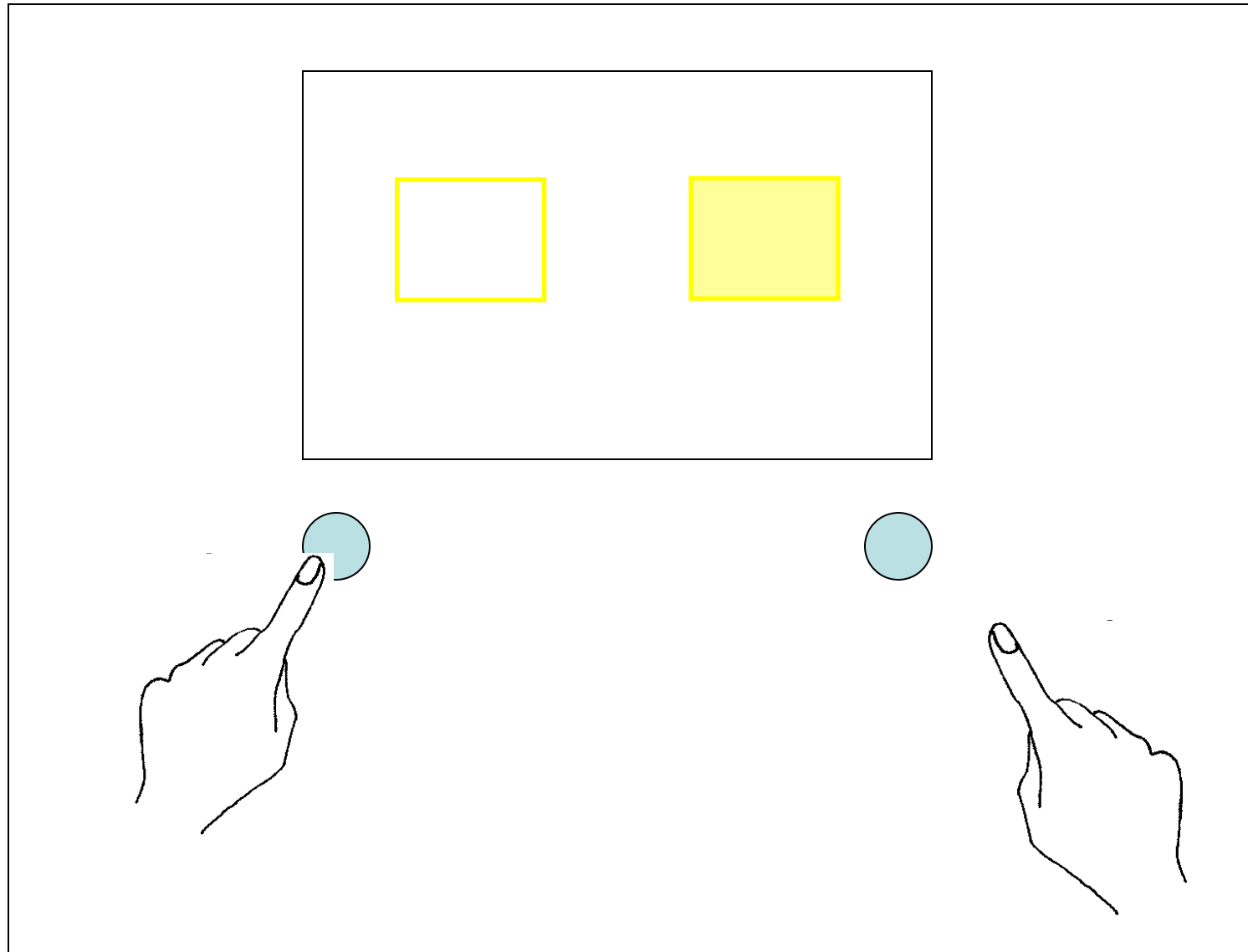




# Signal de faible qualité-tâche non compatible (FQ-NC)



# Signal de faible qualité-tâche non compatible (FQ-NC)



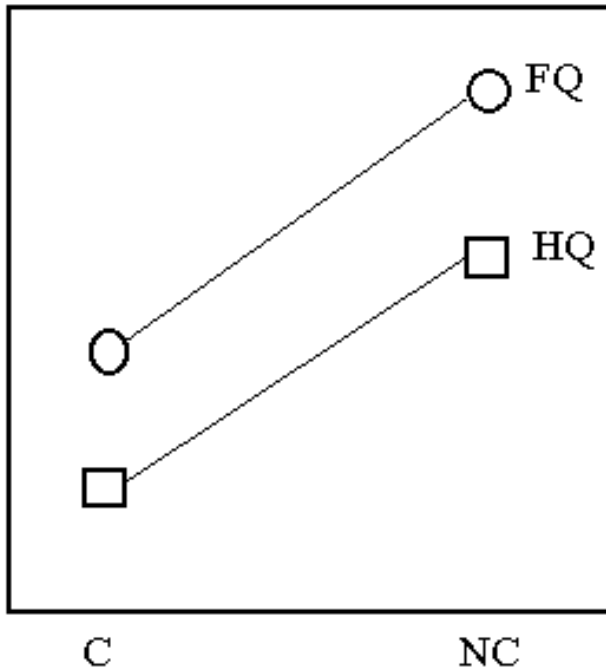
Deux résultats possibles...

**Effet additif**

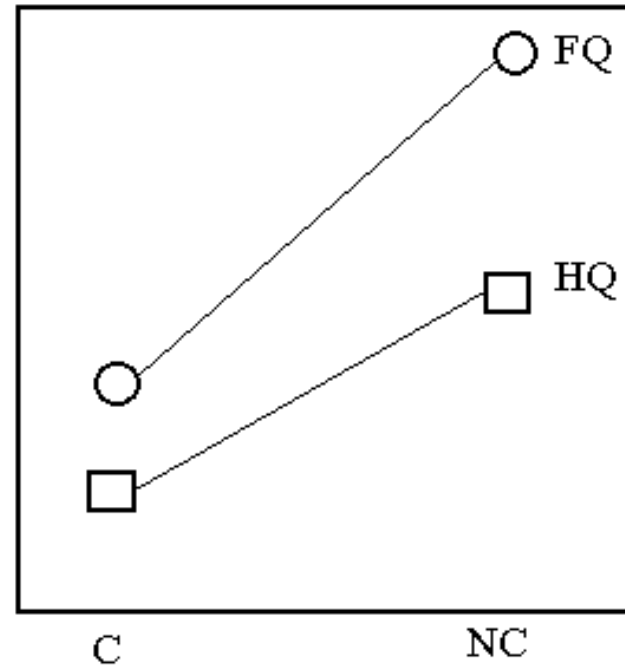
ou

**Effet d'interaction**

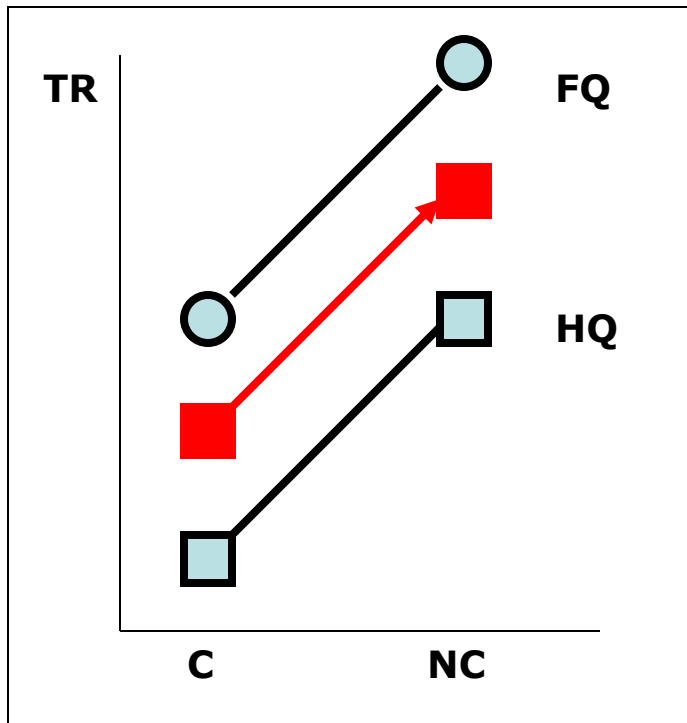
TR



TR

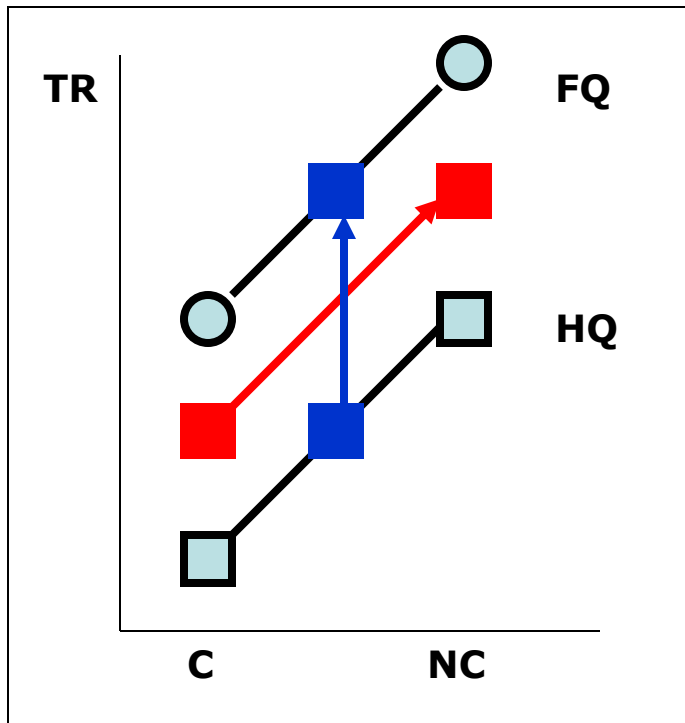


## Effet additif



On retrouve l'effet moyen de la compatibilité quelle que soit la qualité du signal

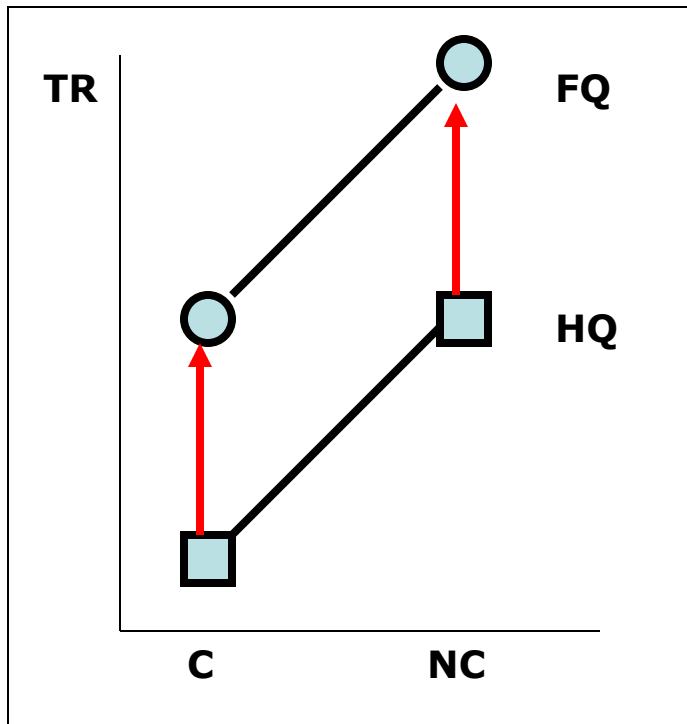
## Effet additif



On retrouve l'effet moyen de la compatibilité quelle que soit la qualité du signal

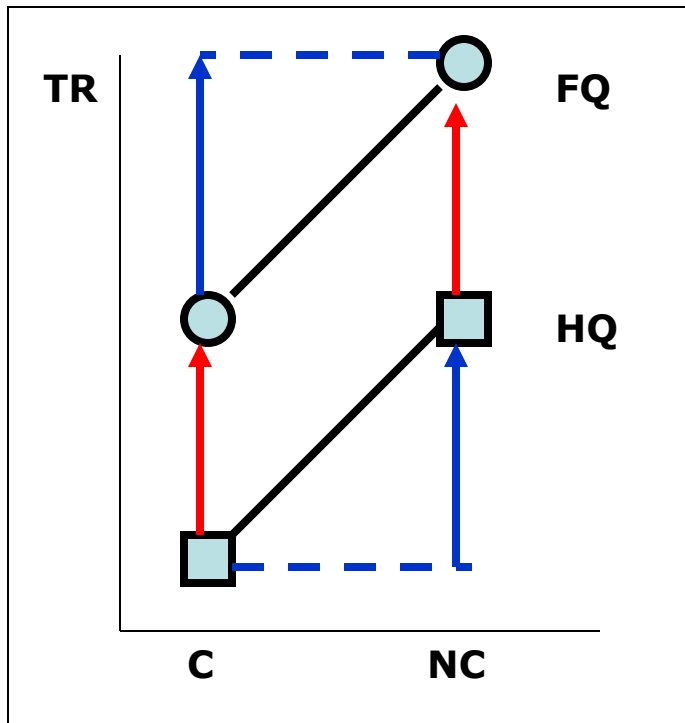
On retrouve l'effet moyen de la qualité du signal quelle que soit la compatibilité

## Effet additif



La grandeur de l'effet qualité est indépendante du niveau de compatibilité

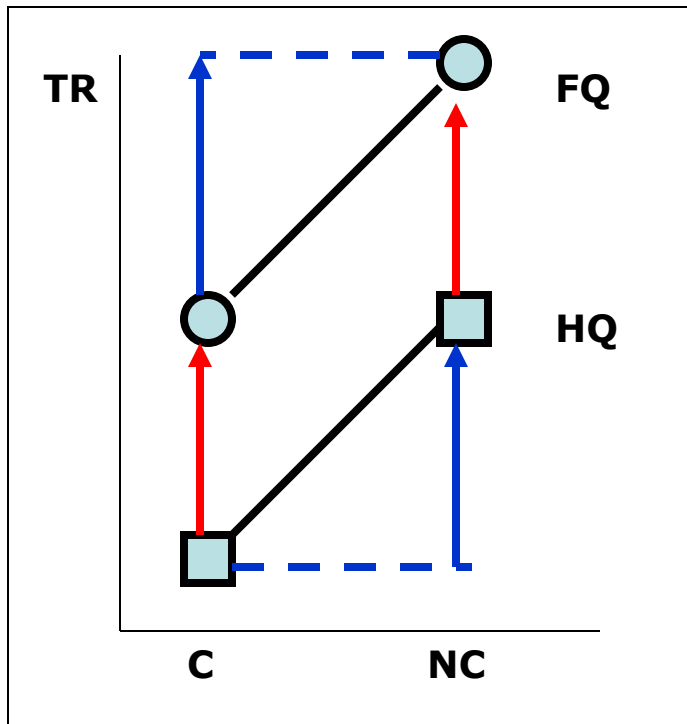
## Effet additif



La grandeur de l'effet qualité est indépendante du niveau de compatibilité

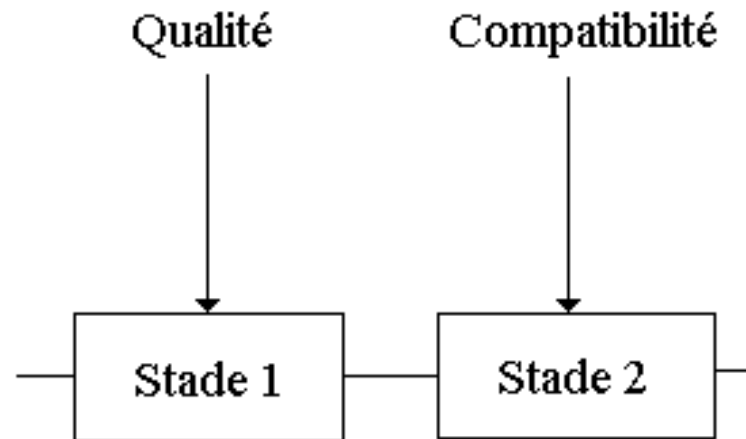
La grandeur de l'effet compatibilité est indépendante du niveau de qualité

## Effet additif



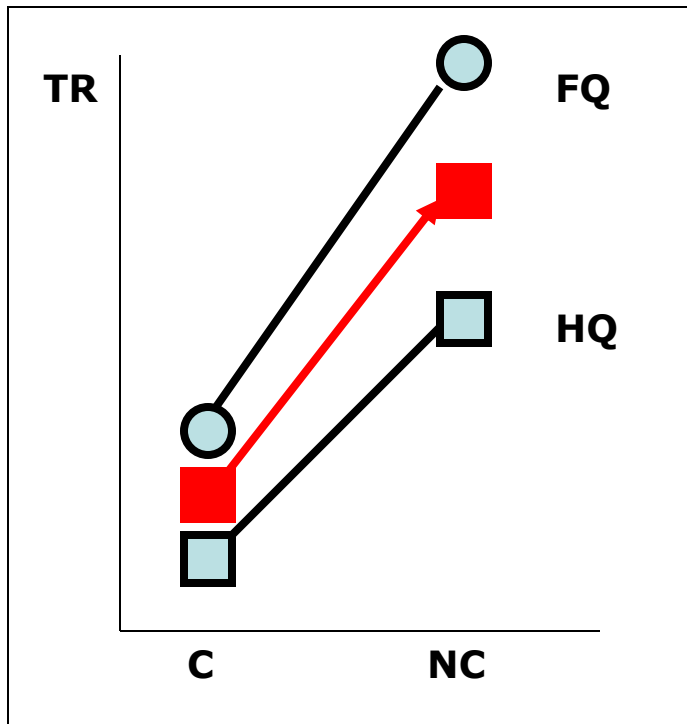
Les deux facteurs affectent de manière indépendante le temps de réaction

→ Il existe donc au moins deux stades indépendants de traitement de l'information



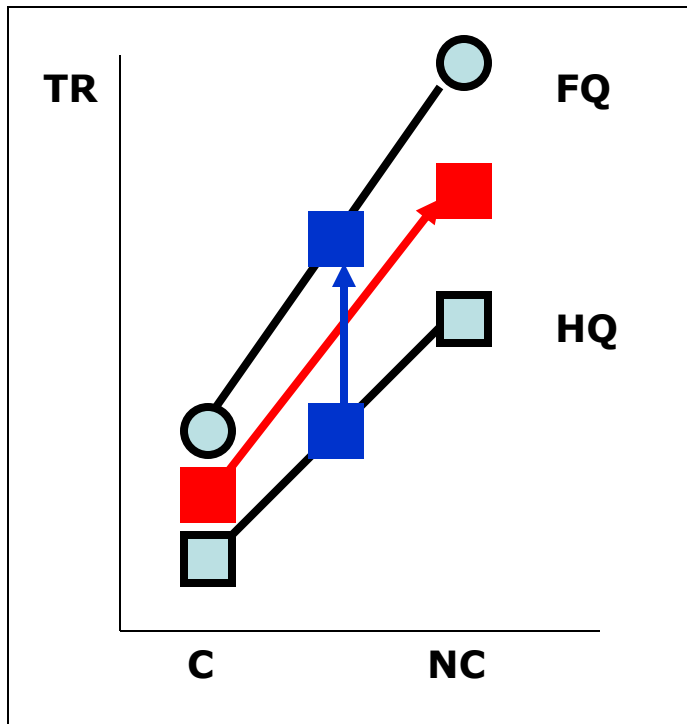


## Effet d'interaction



On retrouve l'effet moyen de la compatibilité

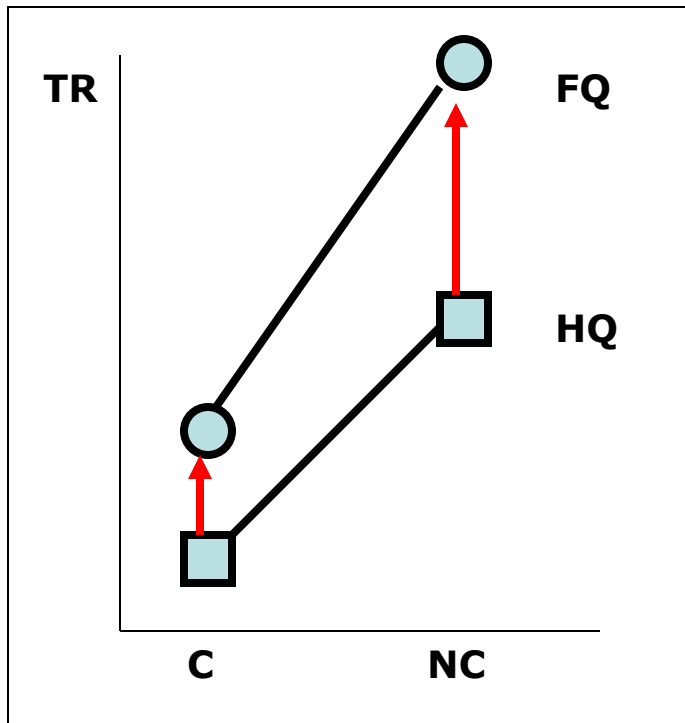
## Effet d'interaction



On retrouve l'effet moyen de la compatibilité

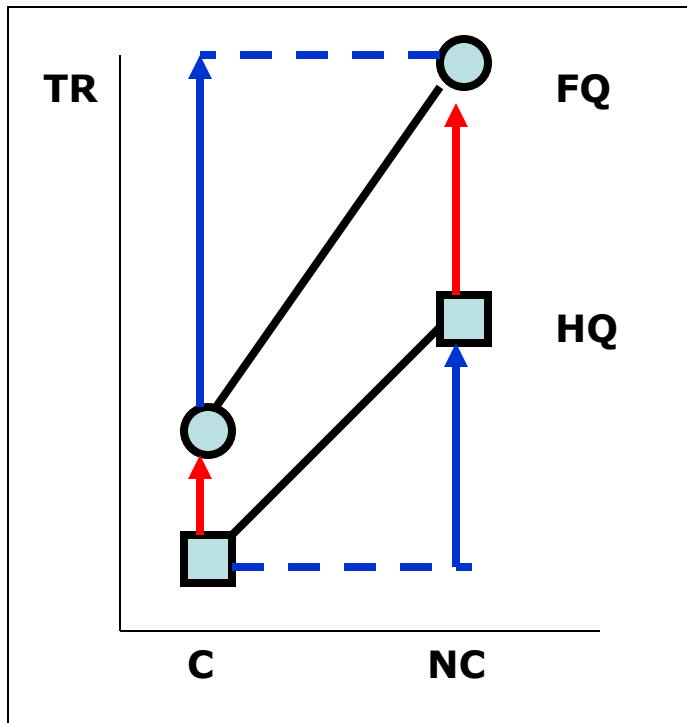
On retrouve l'effet moyen de la qualité du signal

## Effet d'interaction



La grandeur de l'effet qualité dépend du niveau de compatibilité

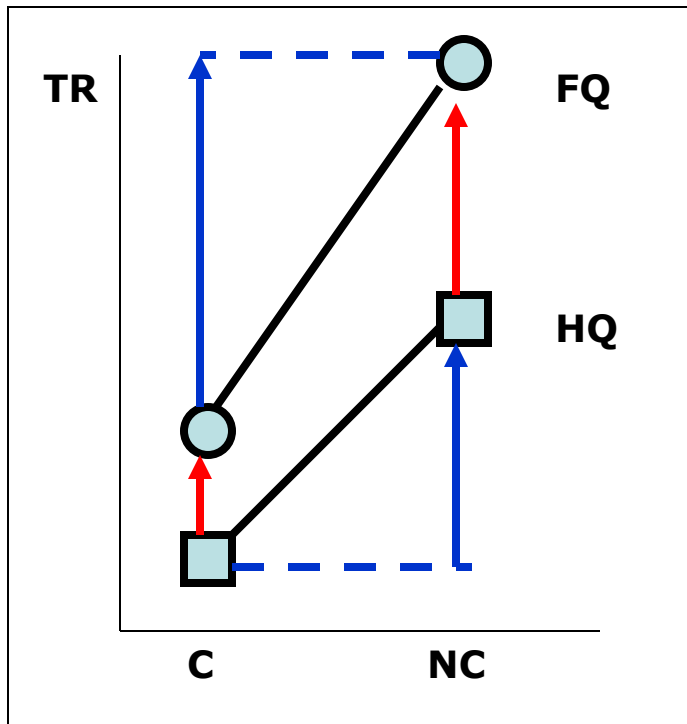
## Effet d'interaction



La grandeur de l'effet qualité dépend du niveau de compatibilité

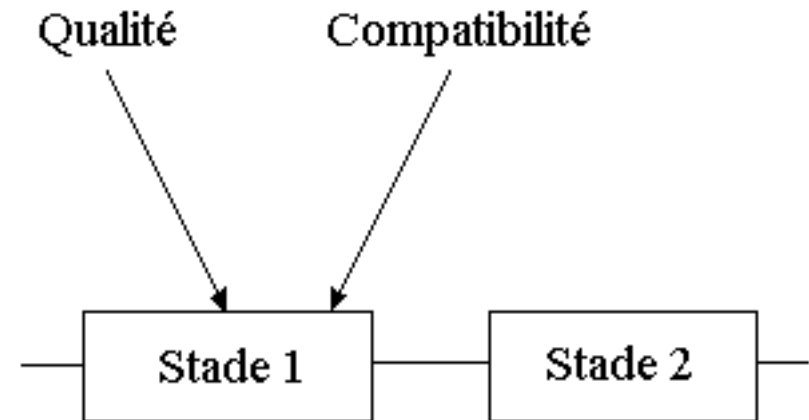
La grandeur de l'effet compatibilité dépend du niveau de qualité

## Effet d'interaction

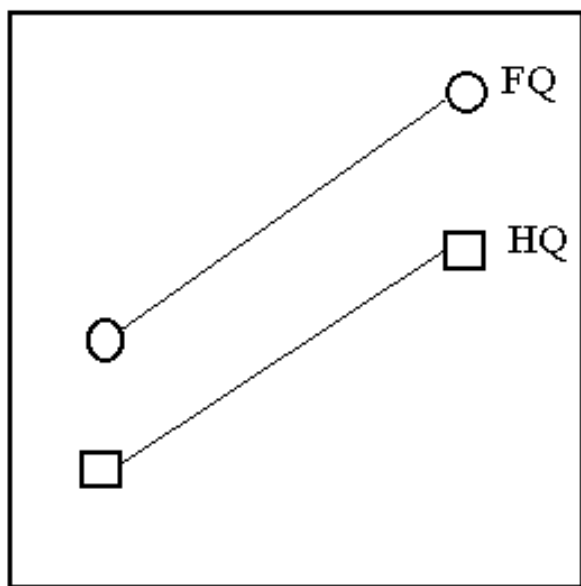


Les deux facteurs affectent de manière interactive le temps de réaction

→ Ces deux facteurs affectent simultanément le même stade de traitement



Performance



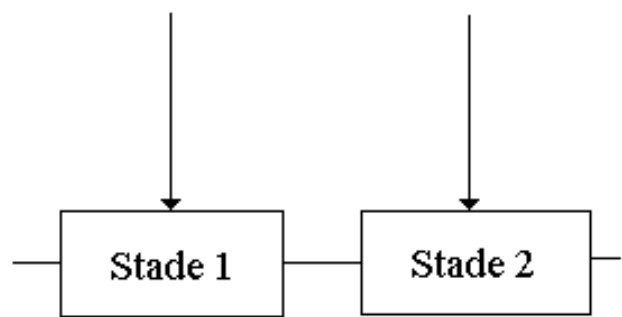
C

NC

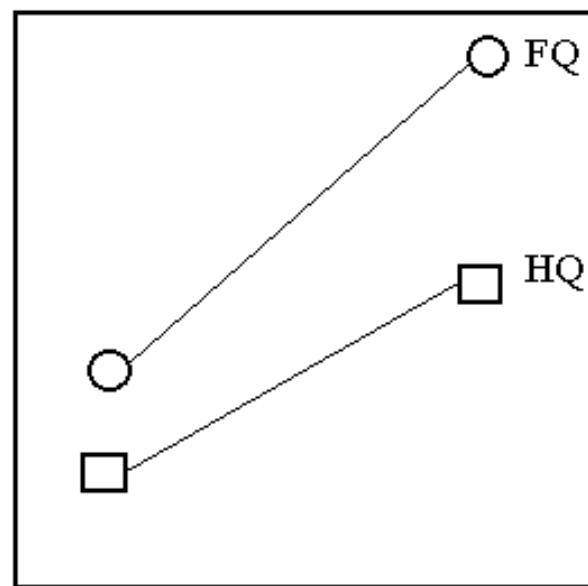
Effet d'additivité

Qualité

Compatibilité



Performance



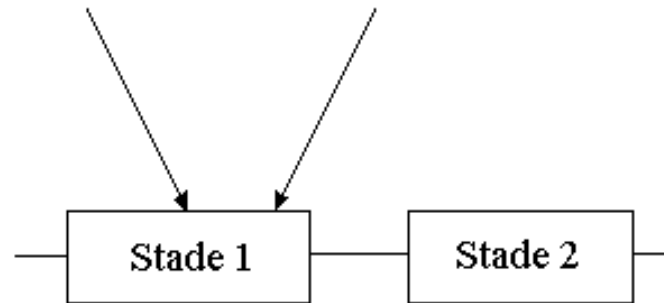
C

NC

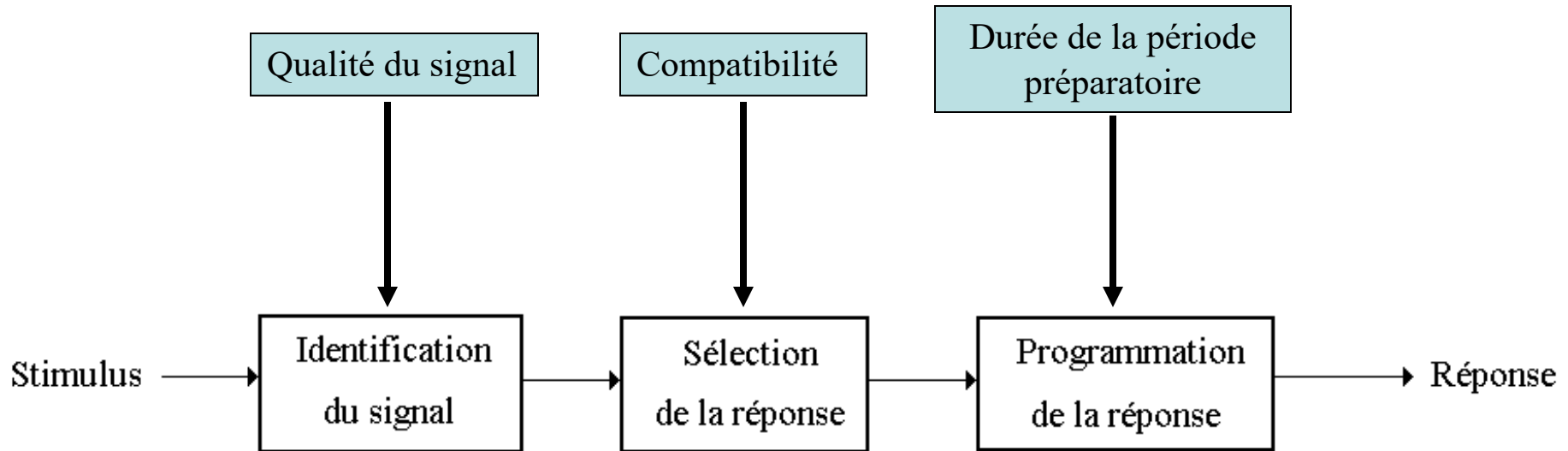
Effet d'interaction

Qualité

Compatibilité

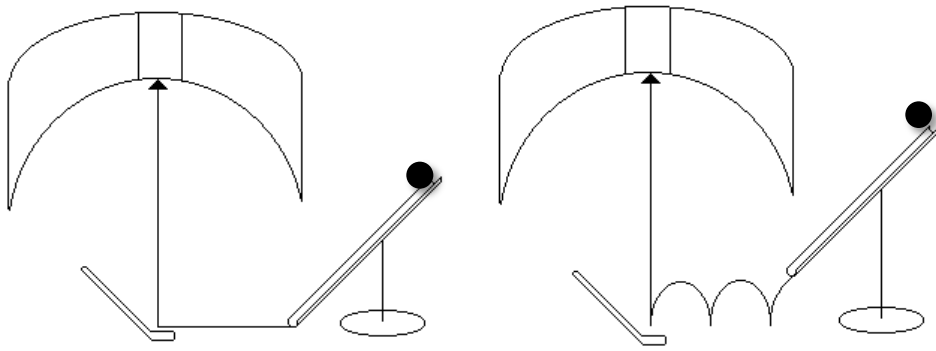


## Variables manipulées expérimentalement?

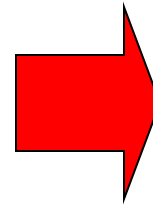


La méthode des facteurs additifs ne permet pas de nommer les différents stades

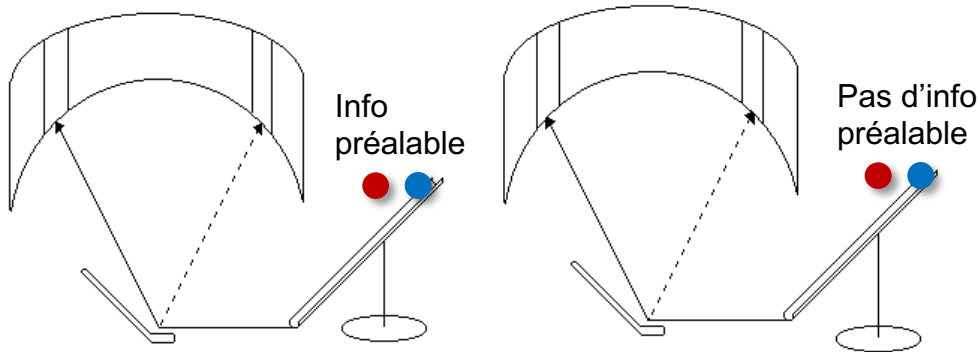
La méthode des facteurs additifs ne permet pas de déterminer l'ordre des différents stades



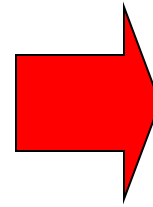
Expé 1: Incertitude spatiale



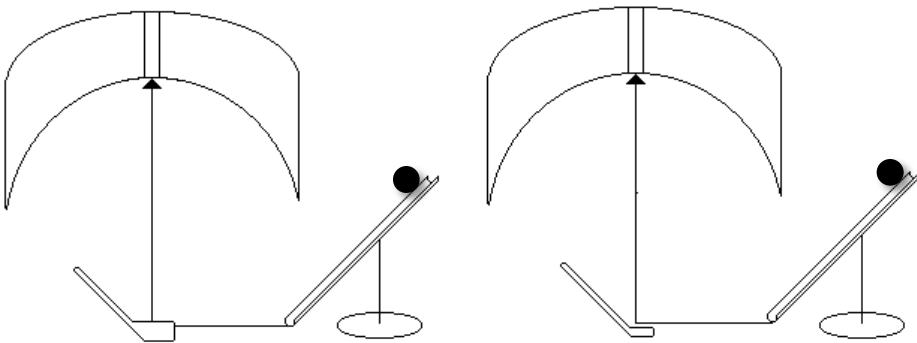
Stade perceptif



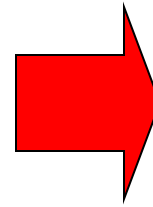
Expé 2: Incertitude évènementielle



Stade décisionnel



Expé 3: Précision requise



Stade moteur



Grille d'analyse des tâches informationnelles  
(d'après Temprado & Famose, 1993)

Stades	Descripteurs	Echelle de difficulté								
Perceptif	Durée de présentation des indices	Longue	1	2	3	4	5	6	7	Courte
	Incertitude sur la localisation des indices	Aucune	1	2	3	4	5	6	7	Forte
	Incertitude sur le moment d'apparition des indices	Aucune	1	2	3	4	5	6	7	Forte
Décisionnel	Nombre d'événements susceptibles de se produire	Aucun	1	2	3	4	5	6	7	Beaucoup
	Compatibilité stimulus-réponse	Maximum	1	2	3	4	5	6	7	Faible
	Temps disponible	Long	1	2	3	4	5	6	7	Court
Moteur	Précision spatiale requise	Faible	1	2	3	4	5	6	7	Forte
	Précision temporelle requise	Faible	1	2	3	4	5	6	7	Forte
	Coordination avec déplacement	Non	1	2	3	4	5	6	7	Oui

Signal

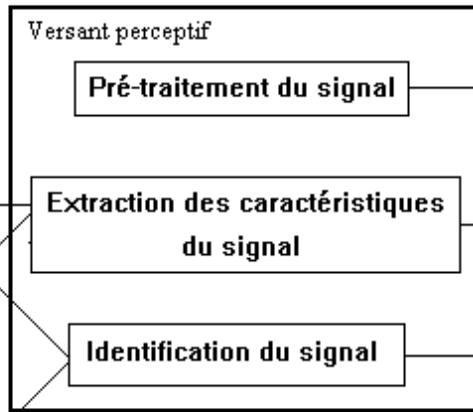
Ambiguïtés...

Variables manipulées

Discriminabilité  
du signal

Nombre d'alternatives  
de réponse

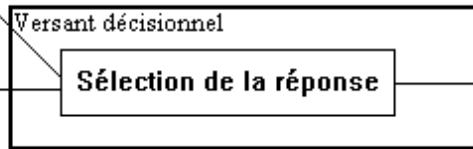
Compatibilité  
stimulus-réponse



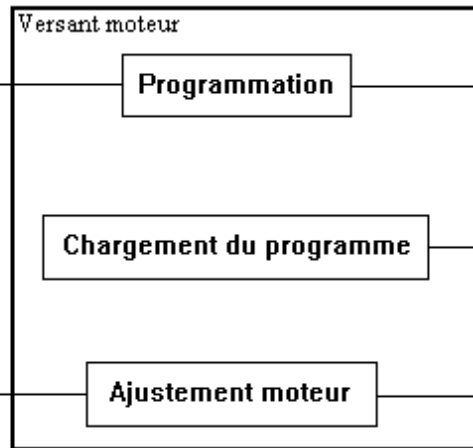
Contraste du signal

Qualité du signal  
Fréquence de déplacement  
du signal

Prédictibilité du  
déplacement du signal



Nombre d'éléments  
de la réponse



Vitesse d'exécution  
Amplitude du mouvement  
Direction du mouvement  
Membre requis

Précision spatiale requise

Incertitude temporelle  
Durée de la période  
préparatoire  
Spécificité de la réponse

Force requise

Modèle séquentiel du  
traitement de  
l'information  
D'après Temprado (1994)

Contrôle de l'exécution

# 1. Habileté et traitement de l'information

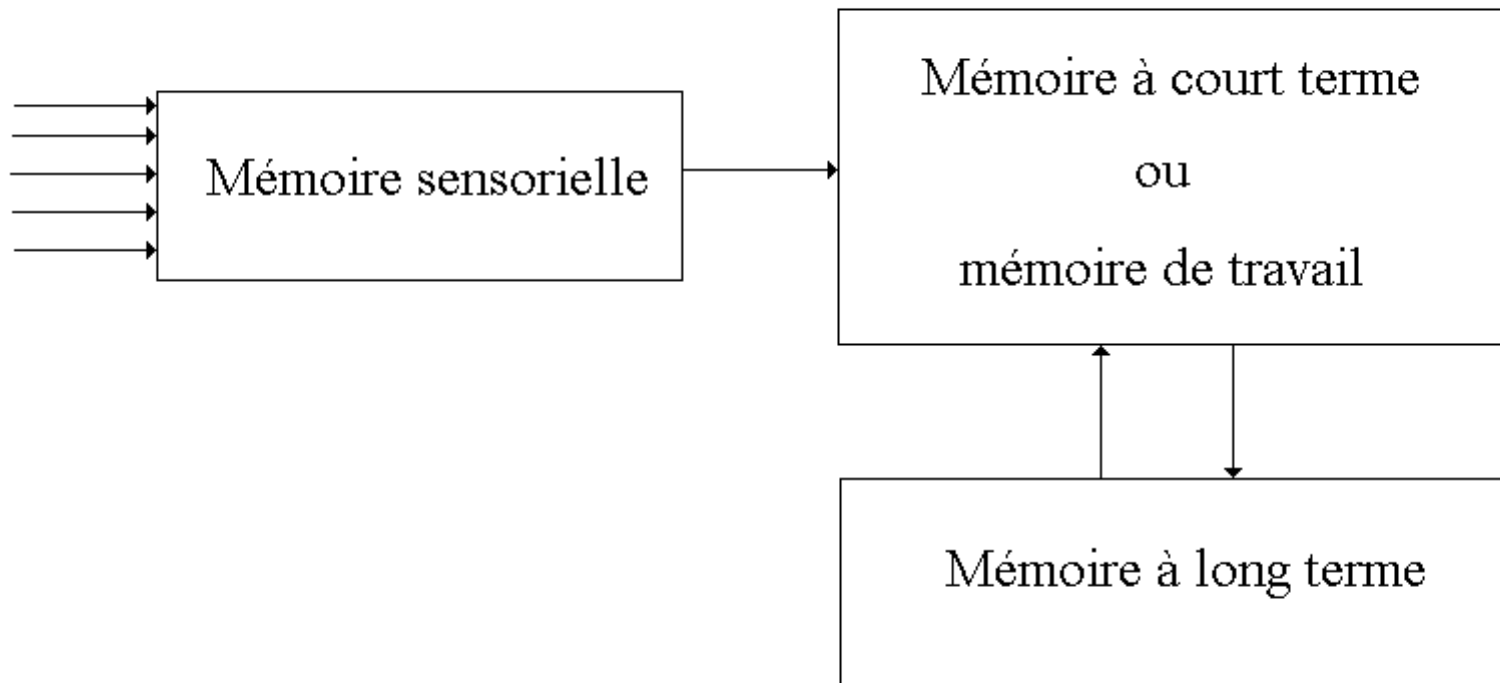
1.1. La théorie de l'information

1.2. Chronométrie mentale et traitement de l'information

1.3. Les stades de traitement de l'information

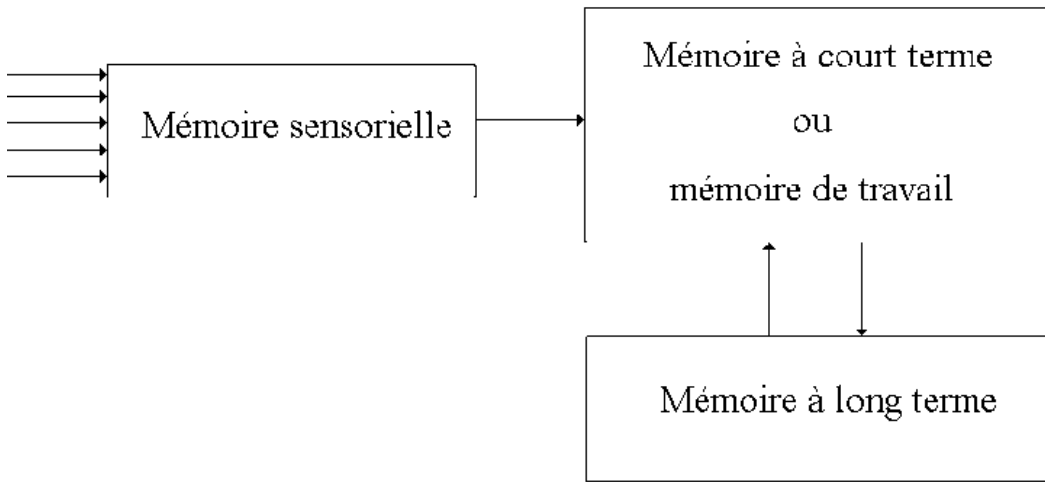
**1.4. Mémoire à court terme et mémoire à long terme**

1.5. Les programmes moteurs et la théorie du schéma



Le système des mémoires (d'après Thomas, 1980)

## 1.4. Mémoire à court terme et mémoire à long terme



	Capacité	Durée
Mémoire sensorielle	Grande	Très courte (1 seconde)
Mémoire de travail	Limitée (7 éléments)	Courte (10-30 secondes)
Mémoire à long terme	Illimitée	Illimitée

*Filtre sélectif*

*Traitement de l'info*

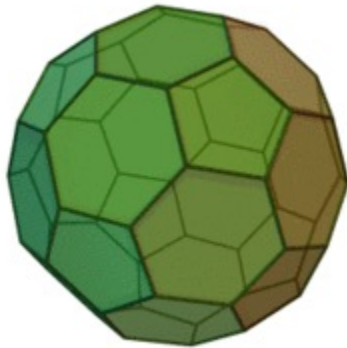
*Stockage  
apprentissage*

## Les processus cognitifs servent à assurer le transit de l'information entre ces différentes mémoires

- le codage: ce processus consiste à labelliser un ensemble d'information sous un code en facilitant l'accès.

- le re  
même  
écono

- la ré  
infor  
dizain  
réactivation.



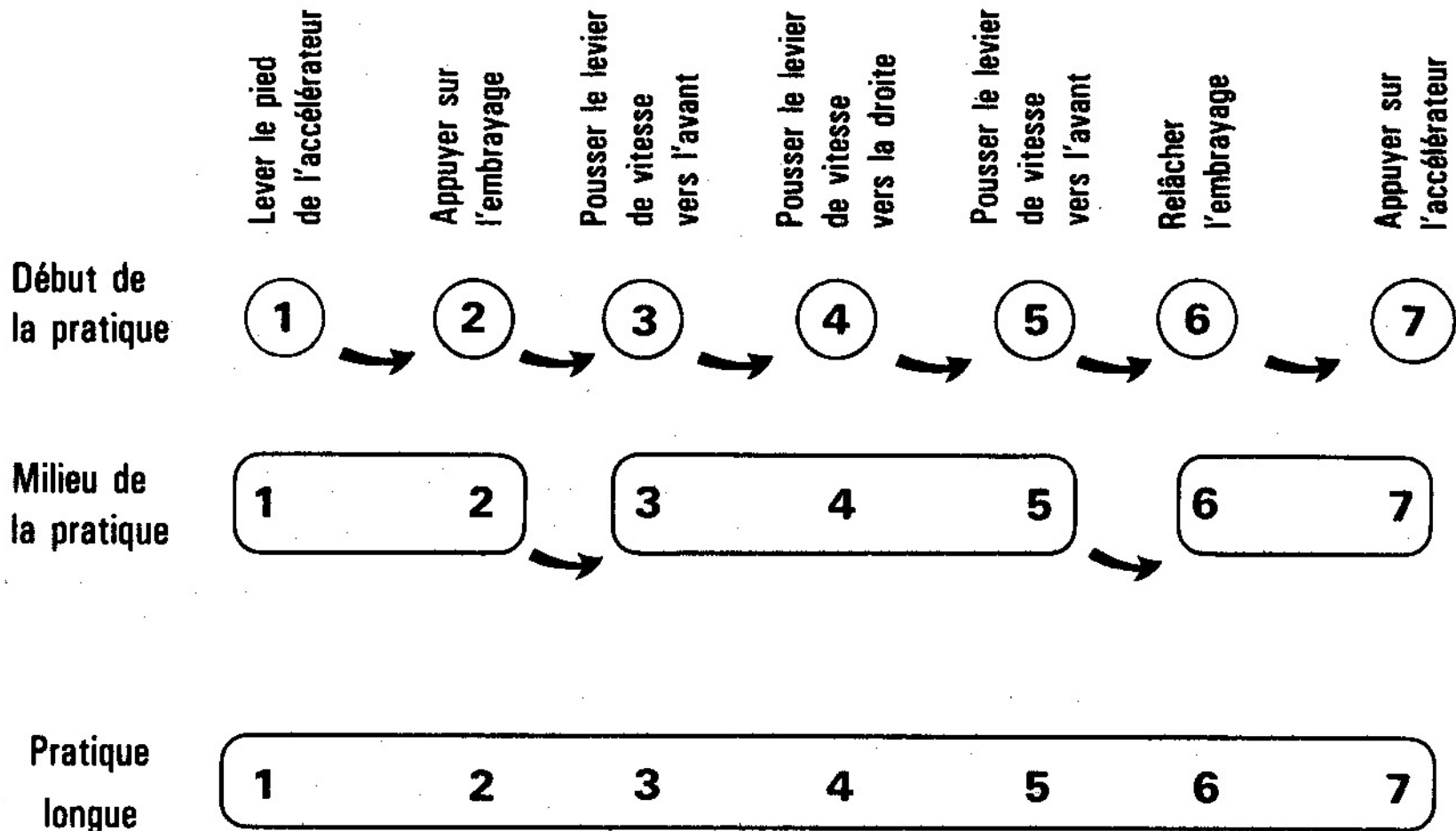
ie

- le stockage: ce processus renvoie à un archivage de l'information en mémoire à long terme.

- le rappel: ce processus est responsable de la réactivation, en mémoire de travail, d'informations stockées en mémoire à long terme.

## Les processus cognitifs servent à assurer le transit de l'information entre ces différentes mémoires

- le codage: ce processus consiste à labelliser un ensemble d'information sous un code en facilitant l'accès.
- le regroupement: ce processus vise à regrouper dans une même unité des informations disparates. Il permet des économies de gestion de la capacité du système.
- la répétition: ce processus permet de maintenir des informations en mémoire de travail, au-delà des quelques dizaine de secondes caractérisant son terme, par une réactivation.
- le stockage: ce processus renvoie à un archivage de l'information en mémoire à long terme.
- le rappel: ce processus est responsable de la réactivation, en mémoire de travail, d'informations stockées en mémoire à long terme.



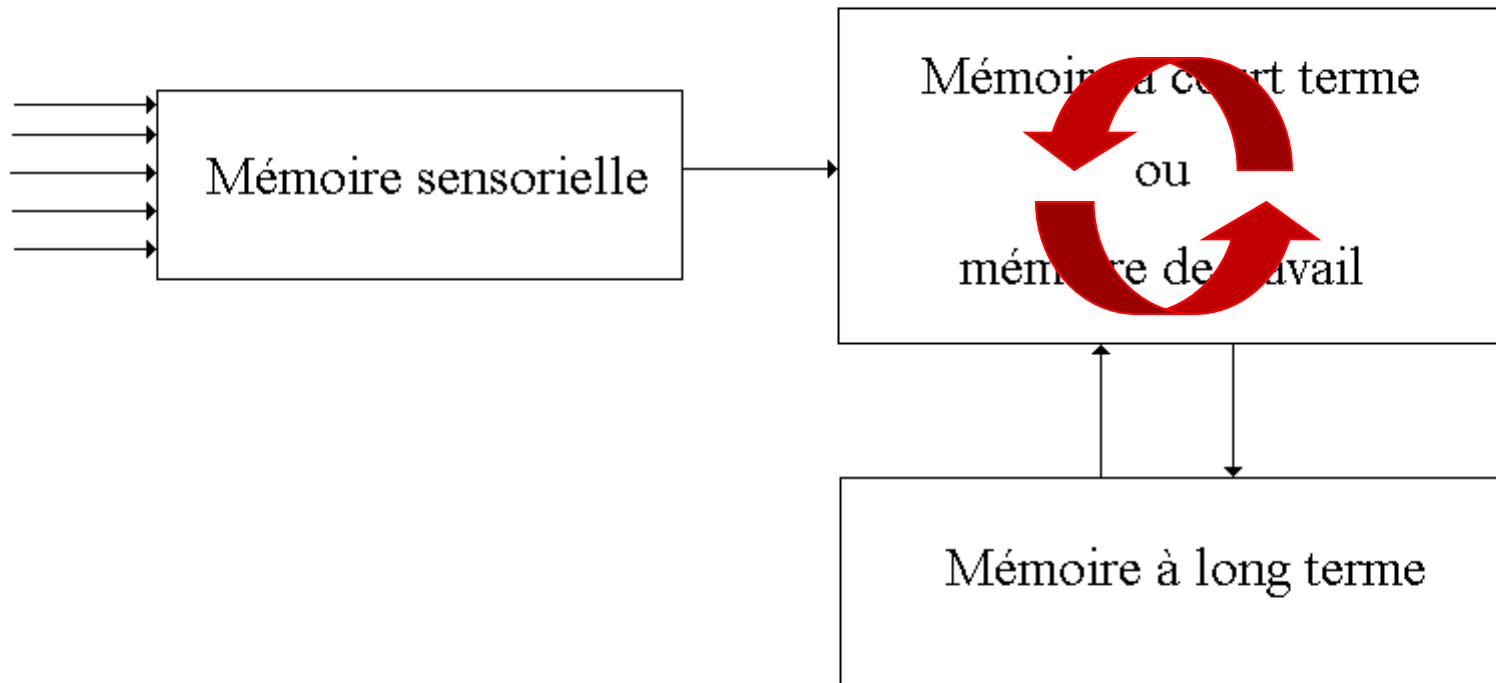
### Le processus de regroupement

Lors de l'apprentissage, les informations sont progressivement regroupées et traitées en blocs (d'après Keele, 1982)



## Les processus cognitifs servent à assurer le transit de l'information entre ces différentes mémoires

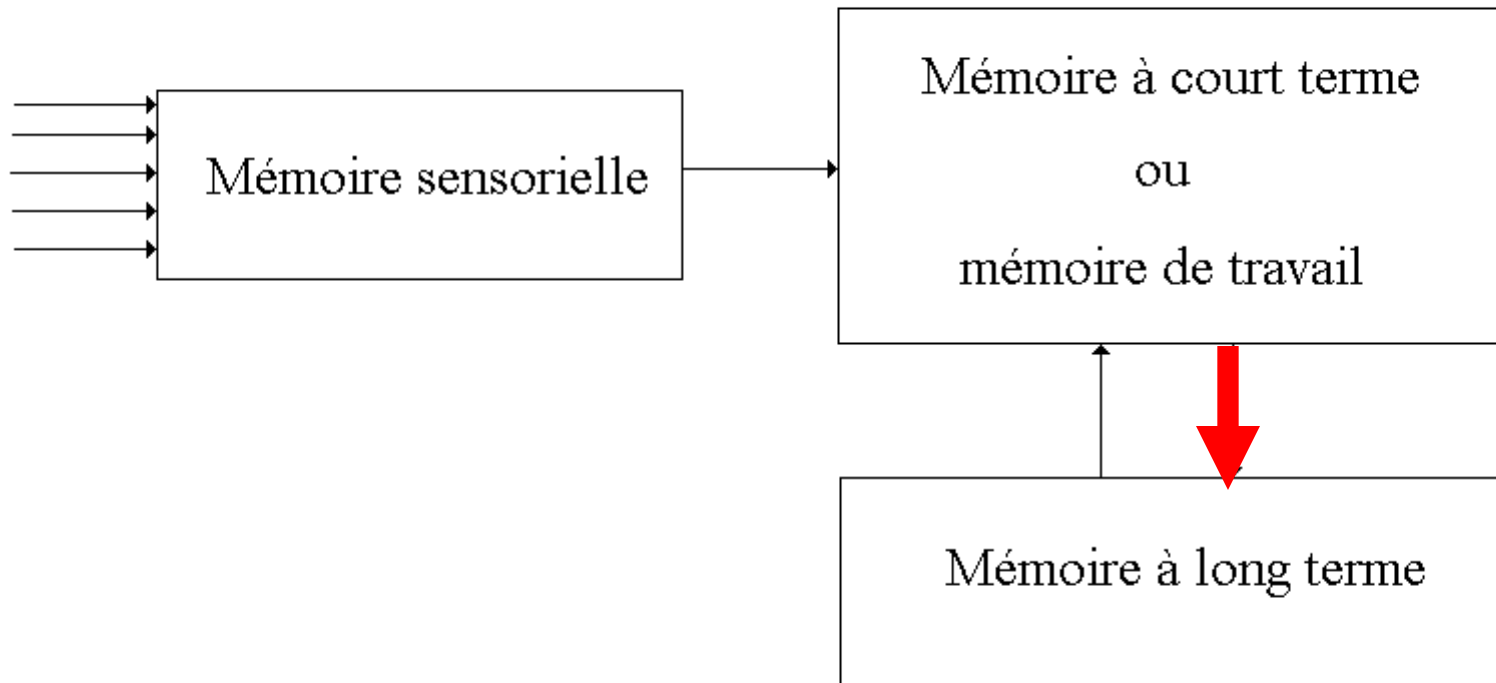
- le codage: ce processus consiste à labelliser un ensemble d'information sous un code en facilitant l'accès.
- le regroupement: ce processus vise à regrouper dans une même unité des informations disparates. Il permet des économies de gestion de la capacité du système.
- la répétition: ce processus permet, par une réactivation, de maintenir des informations en mémoire de travail au-delà des quelques dizaine de secondes caractérisant son terme.
- le stockage: ce processus renvoie à un archivage de l'information en mémoire à long terme.
- le rappel: ce processus est responsable de la réactivation, en mémoire de travail, d'informations stockées en mémoire à long terme.



Le processus de répétition

## Les processus cognitifs servent à assurer le transit de l'information entre ces différentes mémoires

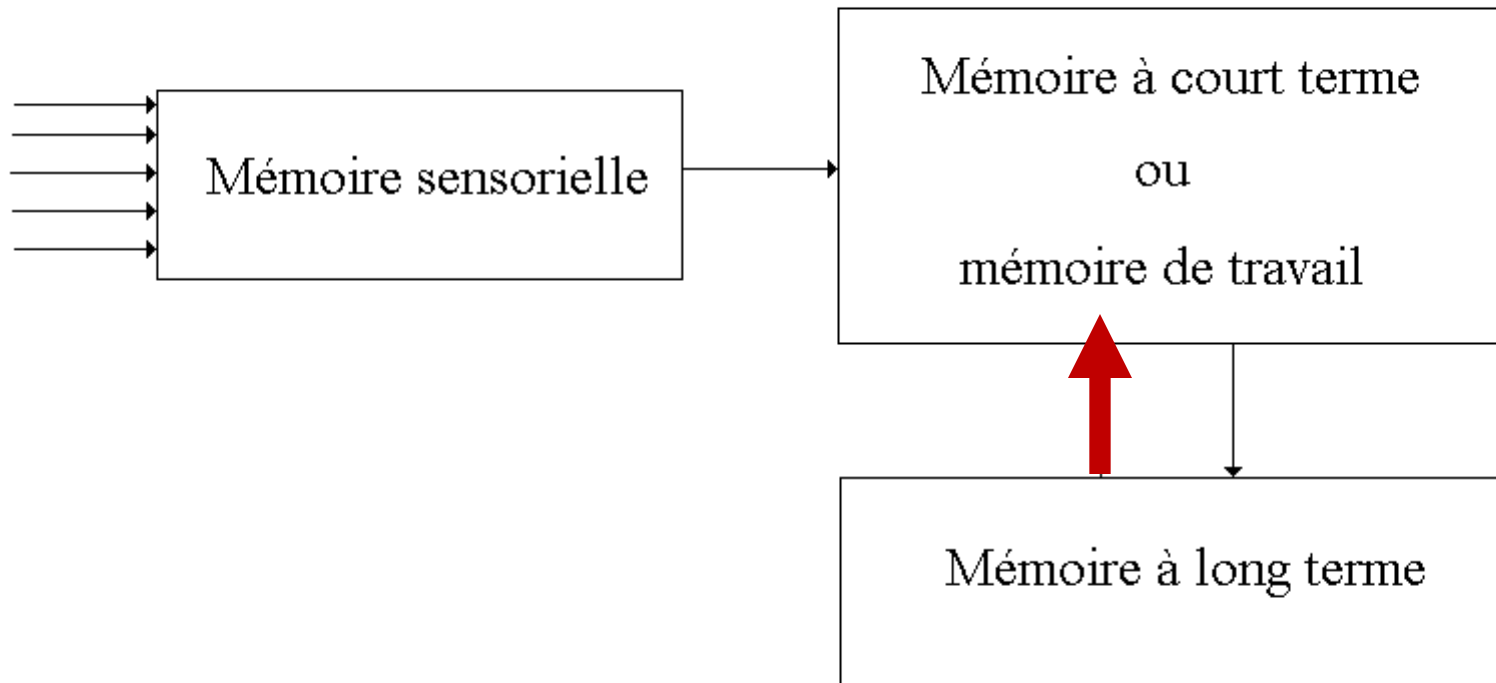
- le codage: ce processus consiste à labelliser un ensemble d'information sous un code en facilitant l'accès.
- le regroupement: ce processus vise à regrouper dans une même unité des informations disparates. Il permet des économies de gestion de la capacité du système.
- la répétition: ce processus permet de maintenir des informations en mémoire de travail, au-delà des quelques dizaine de secondes caractérisant son terme, par une réactivation.
- **le stockage: ce processus renvoie à un archivage de l'information en mémoire à long terme.**
- le rappel: ce processus est responsable de la réactivation, en mémoire de travail, d'informations stockées en mémoire à long terme.



Le processus de stockage

## Les processus cognitifs servent à assurer le transit de l'information entre ces différentes mémoires

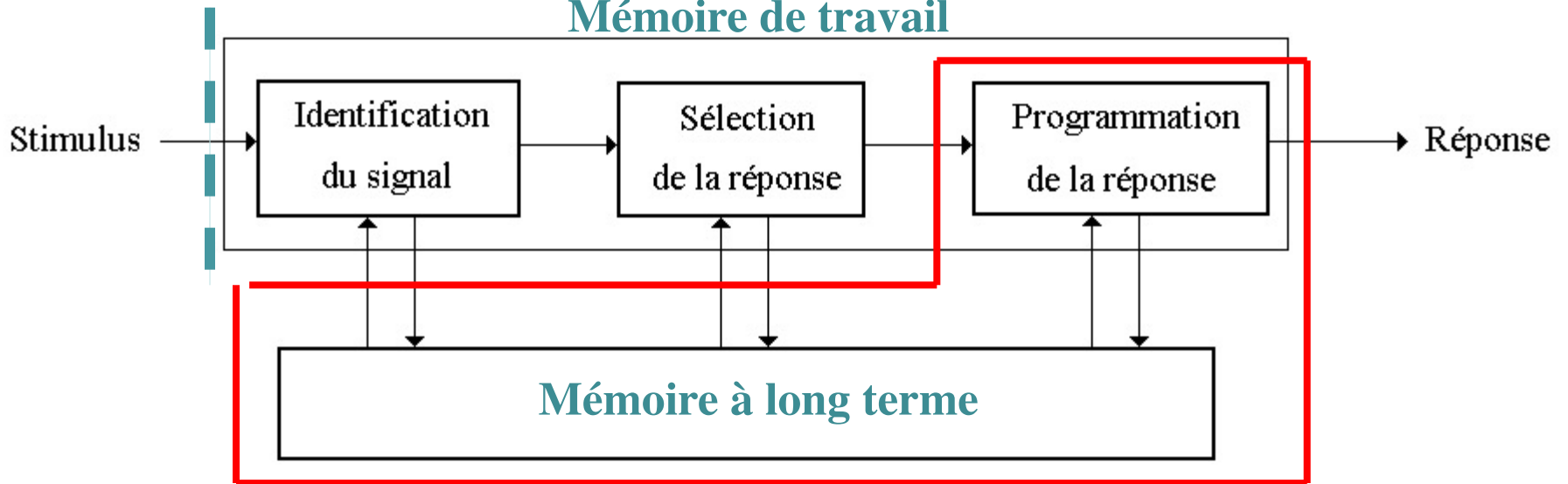
- le codage: ce processus consiste à labelliser un ensemble d'information sous un code en facilitant l'accès.
- le regroupement: ce processus vise à regrouper dans une même unité des informations disparates. Il permet des économies de gestion de la capacité du système.
- la répétition: ce processus permet de maintenir des informations en mémoire de travail, au-delà des quelques dizaine de secondes caractérisant son terme, par une réactivation.
- le stockage: ce processus renvoie à un archivage de l'information en mémoire à long terme.
- le rappel: ce processus est responsable de la réactivation, en mémoire de travail, d'informations stockées en mémoire à long terme.



Le processus de rappel

## Mémoire sensorielle

## Mémoire de travail



# 1. Habileté et traitement de l'information

1.1. La théorie de l'information

1.2. Chronométrie mentale et traitement de l'information

1.3. Les stades de traitement de l'information

1.4. Mémoire à court terme et mémoire à long terme

1.5. Les programmes moteurs et la théorie du schéma



## La métaphore informatique



Processeur	→	Système de traitement de l'information
Mémoire vive	→	Mémoire à court terme
Disque dur	→	Mémoire à long terme
Logiciel	→	<b>Programme moteur</b>

## Le programme informatique:

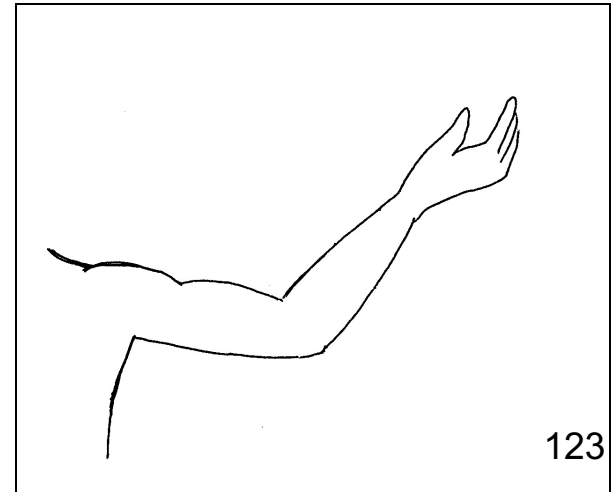
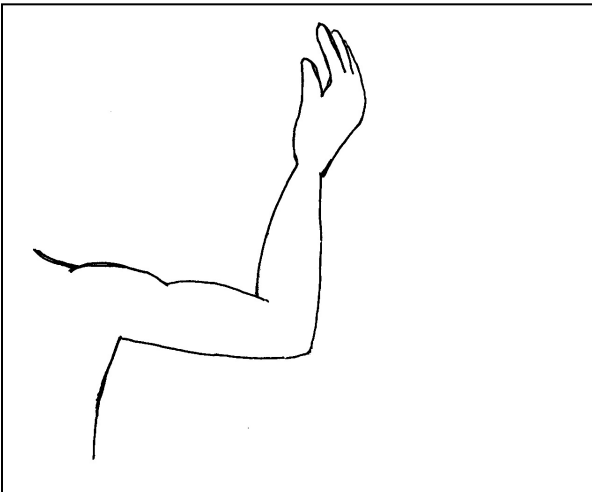
Une suite d'instructions séquentielles

```
10 CLS
20 PRINT « BONJOUR »
30 FOR I=1 to 1000: NEXT I
40 FOR I=1 to 5
50 PRINT « ARRET DANS » 6-I « SECONDES »
60 FOR J=1 TO 1000:NEXT J
70 NEXT I
80 END
```

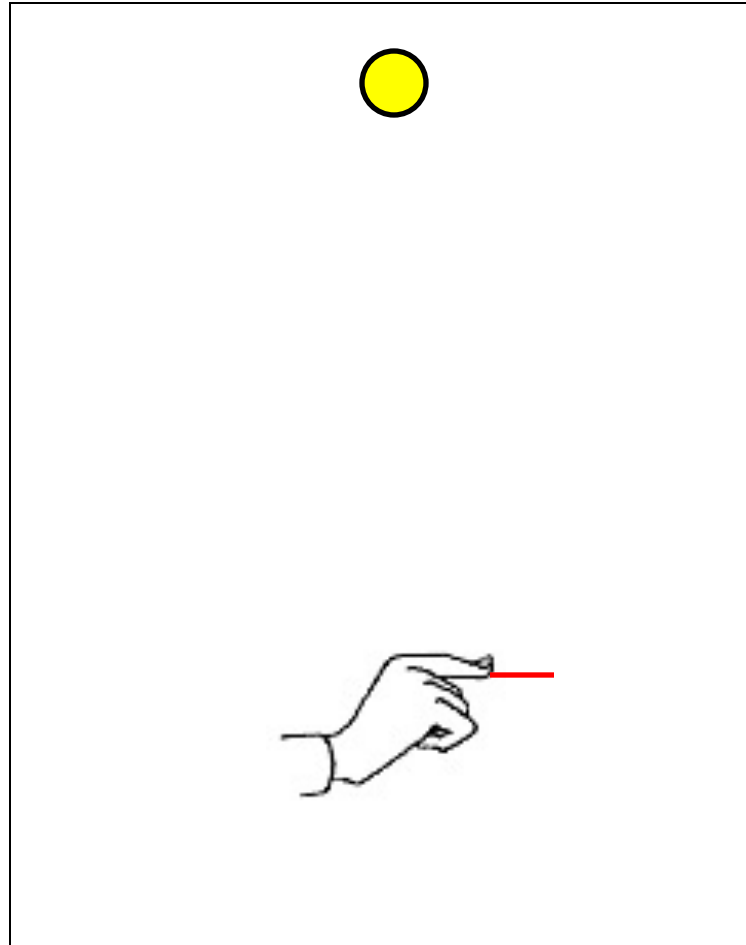
## Le programme moteur?

Avant de réaliser le mouvement il faut le planifier / le programmer

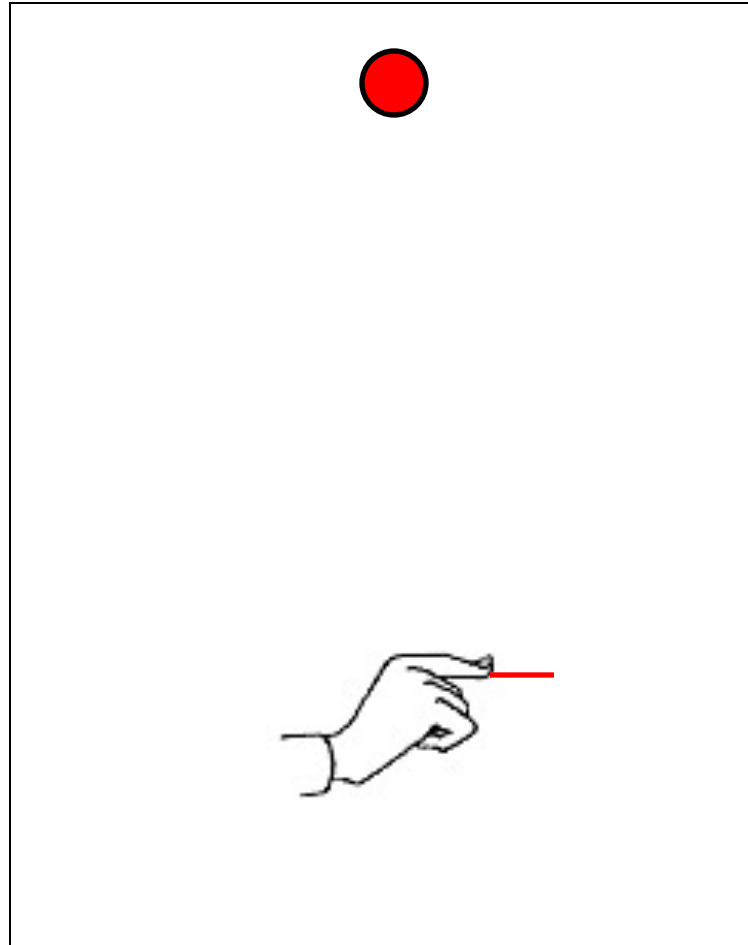
Le Programme Moteur est le produit des processus de Traitement de l'Information



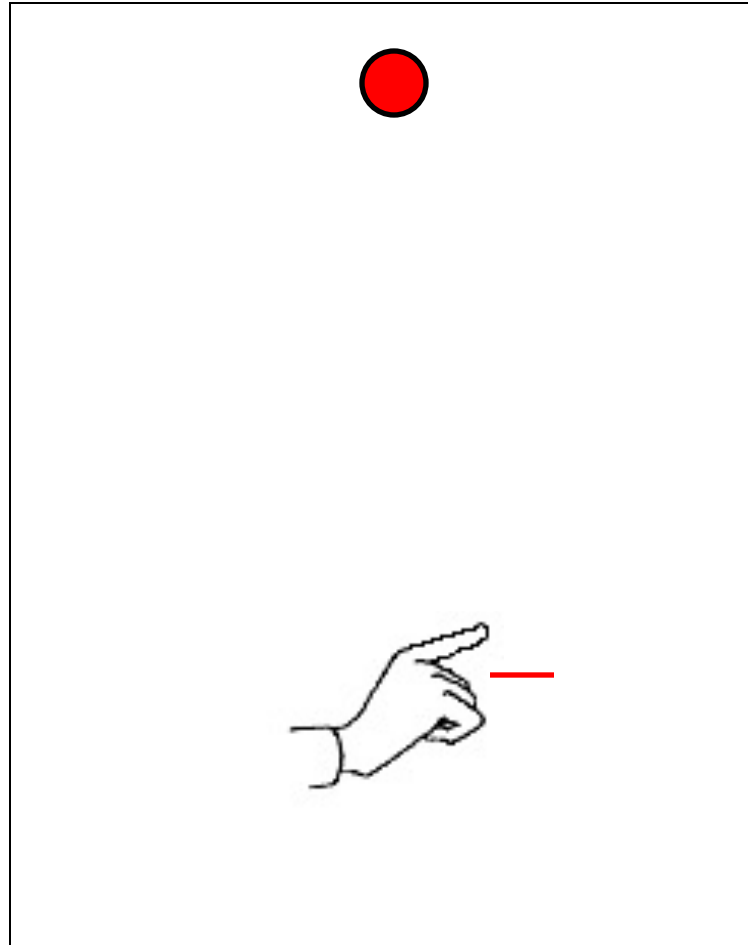
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



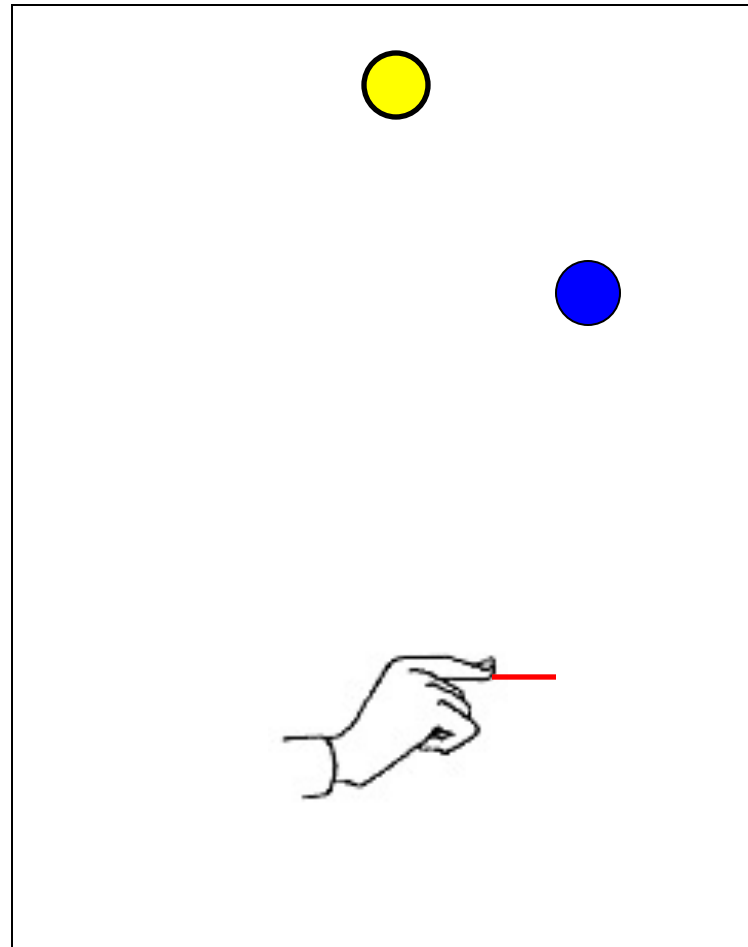
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



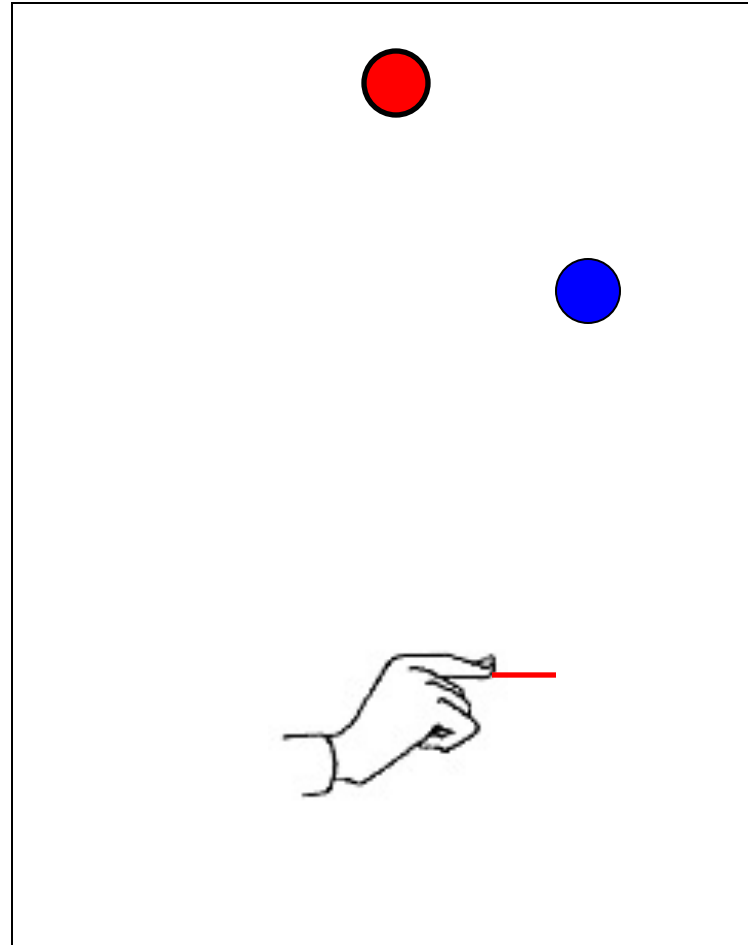
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs

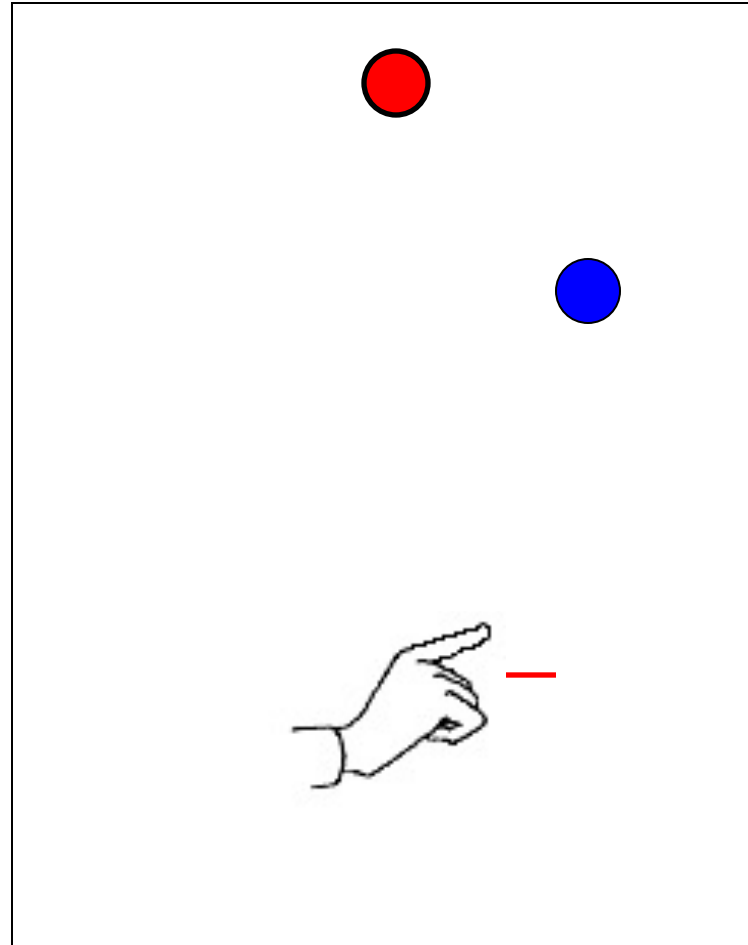


## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs

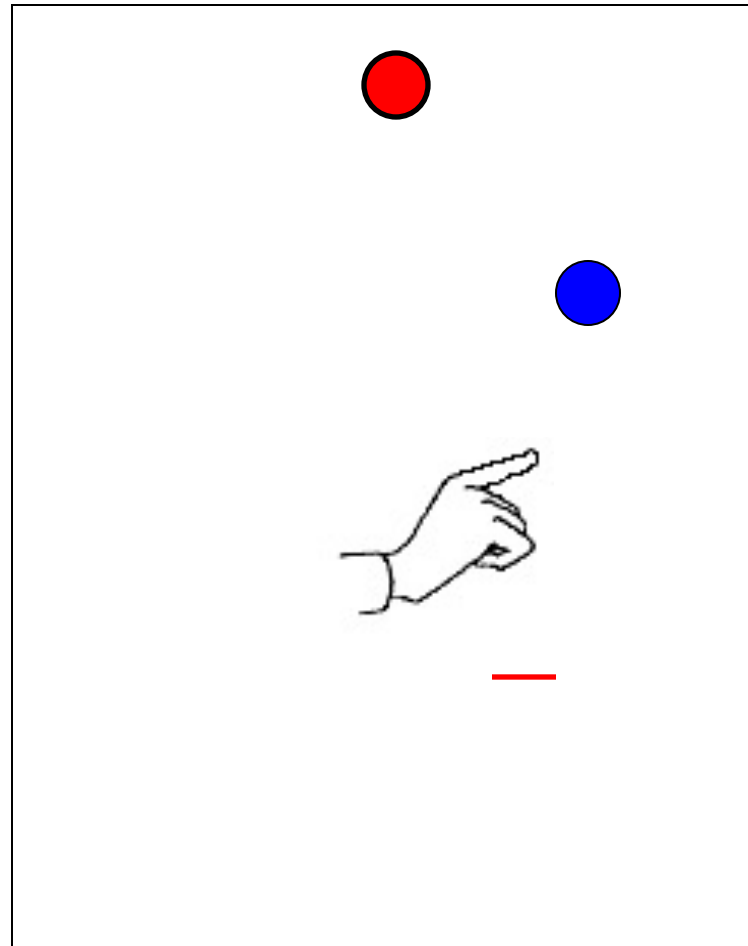




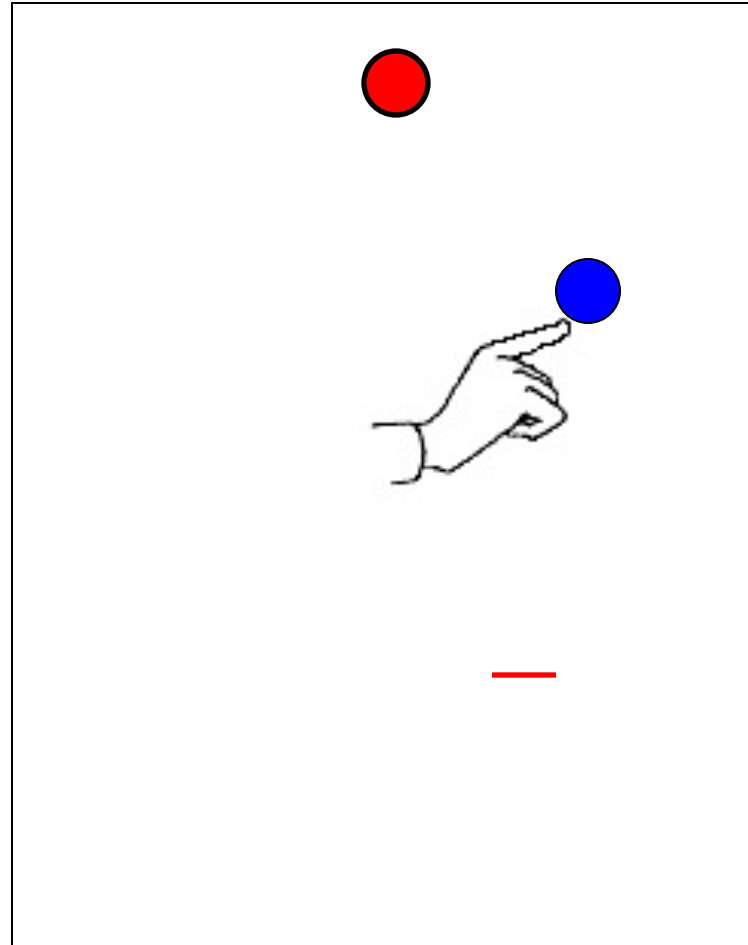
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



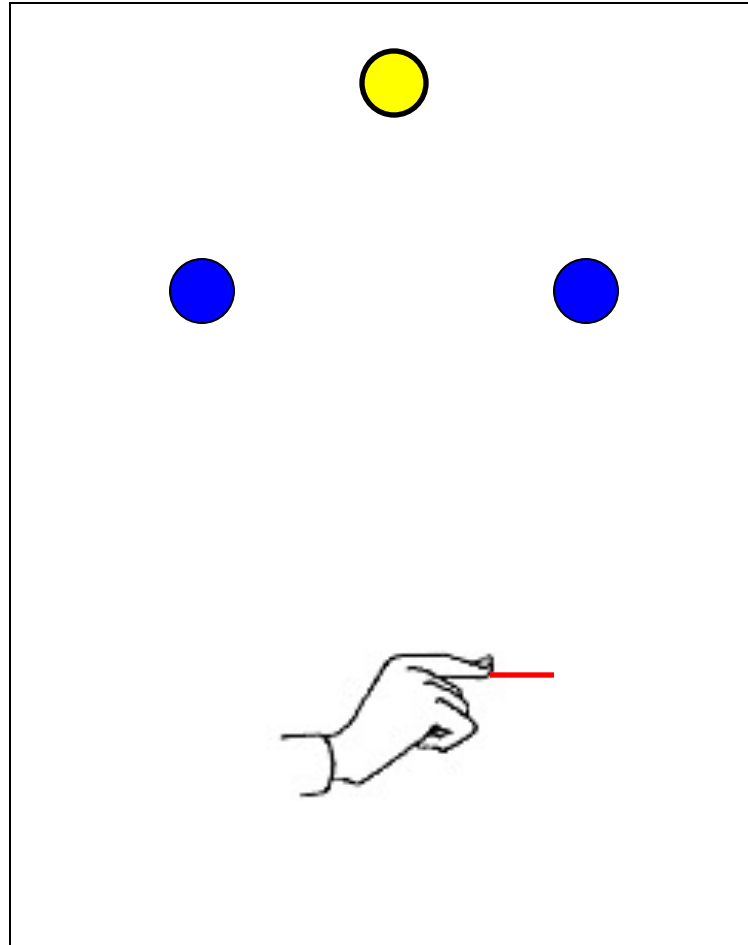
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



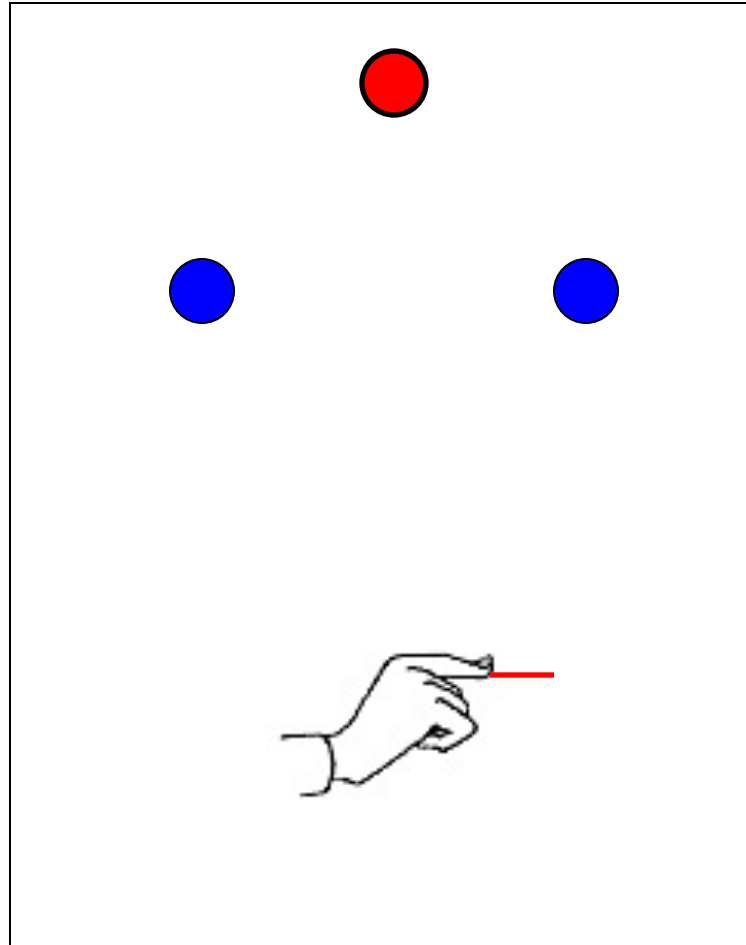
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



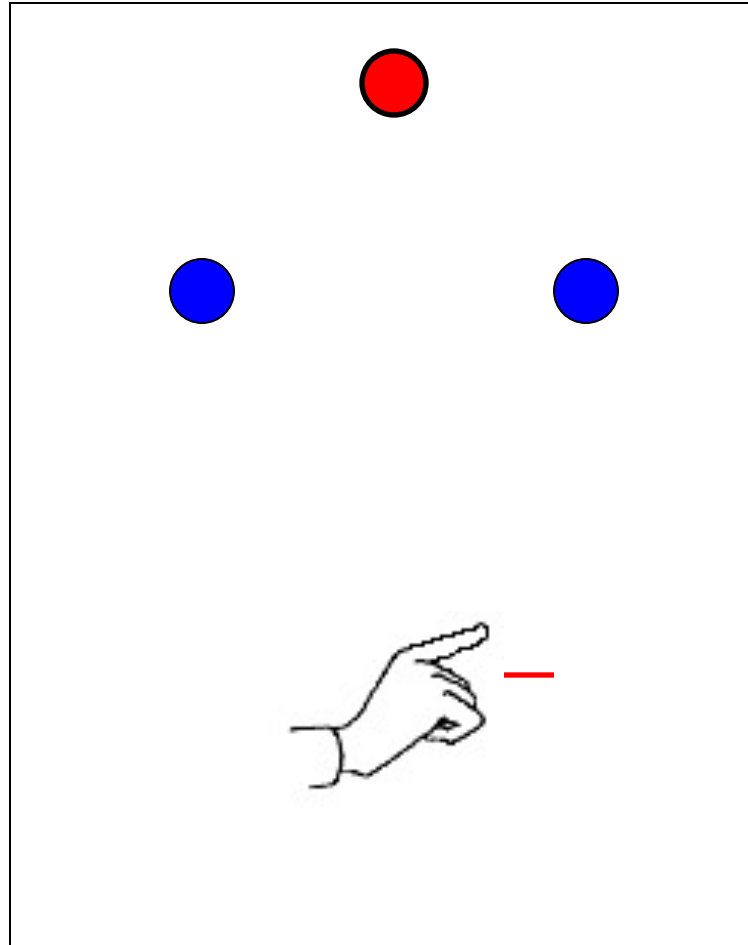
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



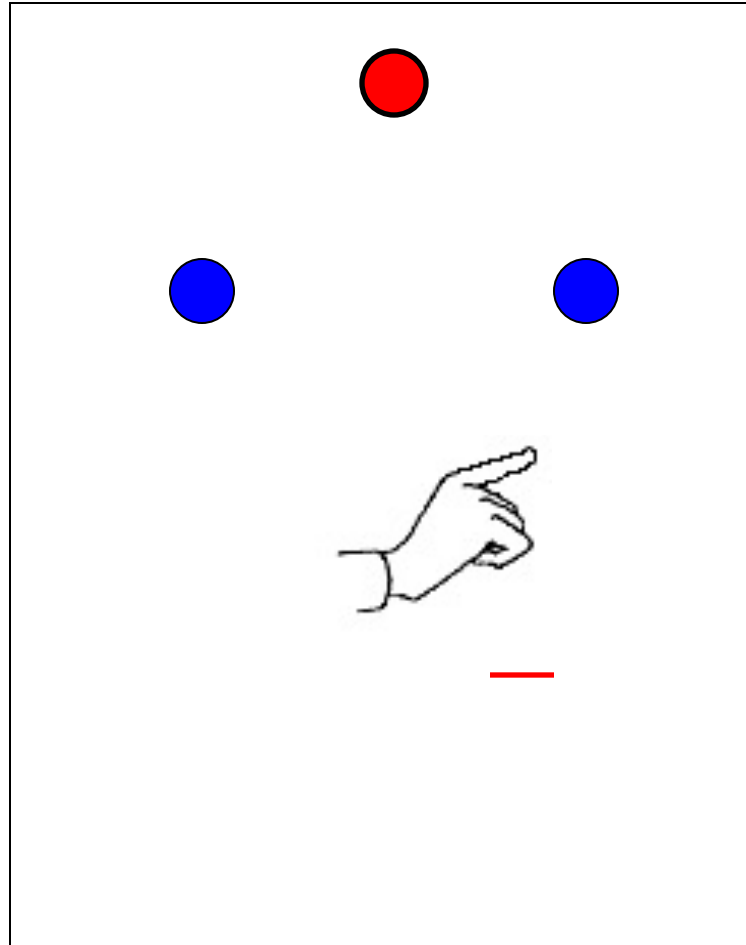
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



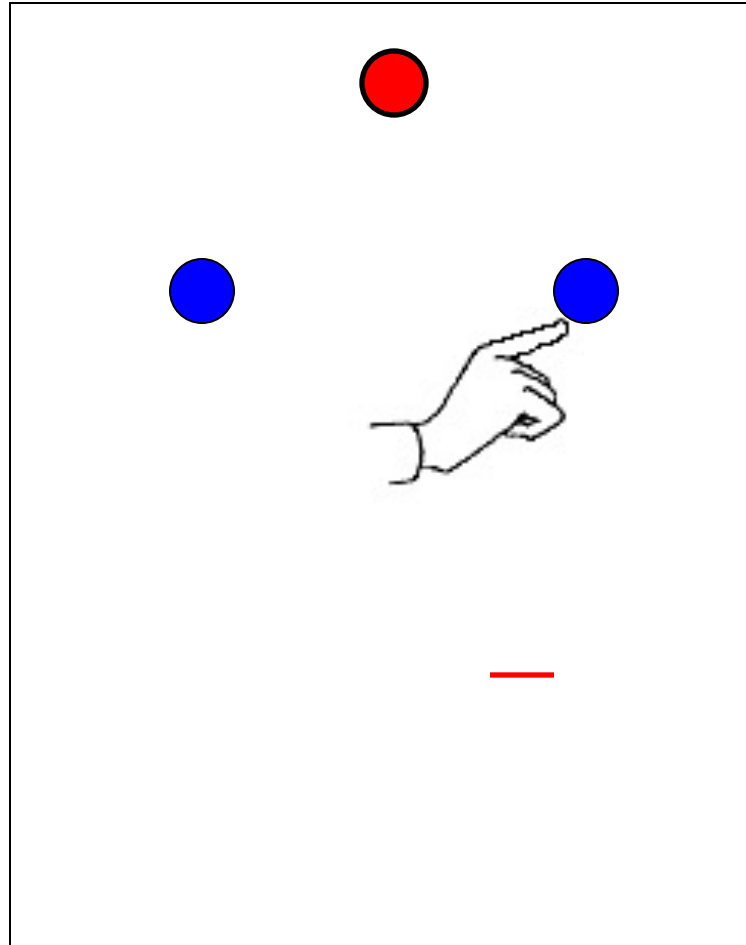
## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs

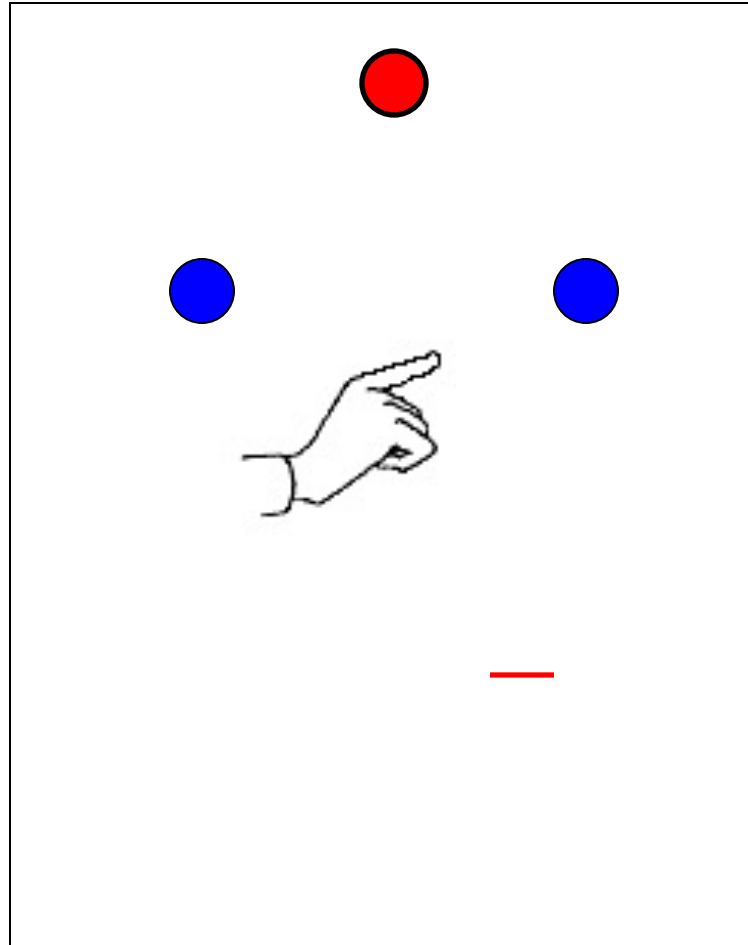


## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs

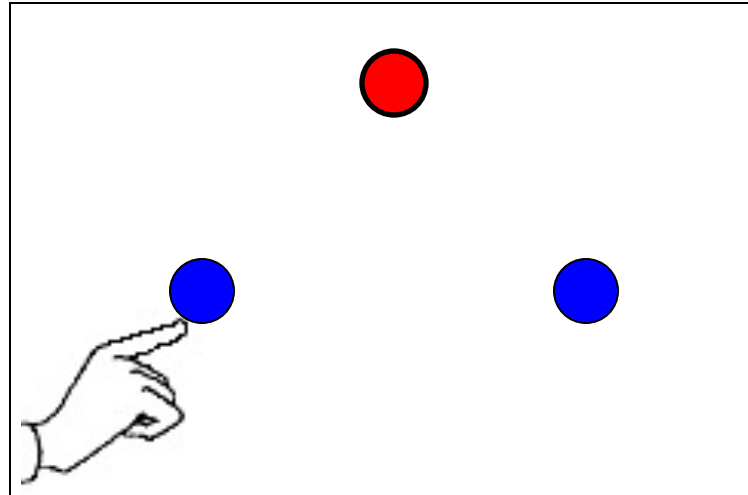




## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs



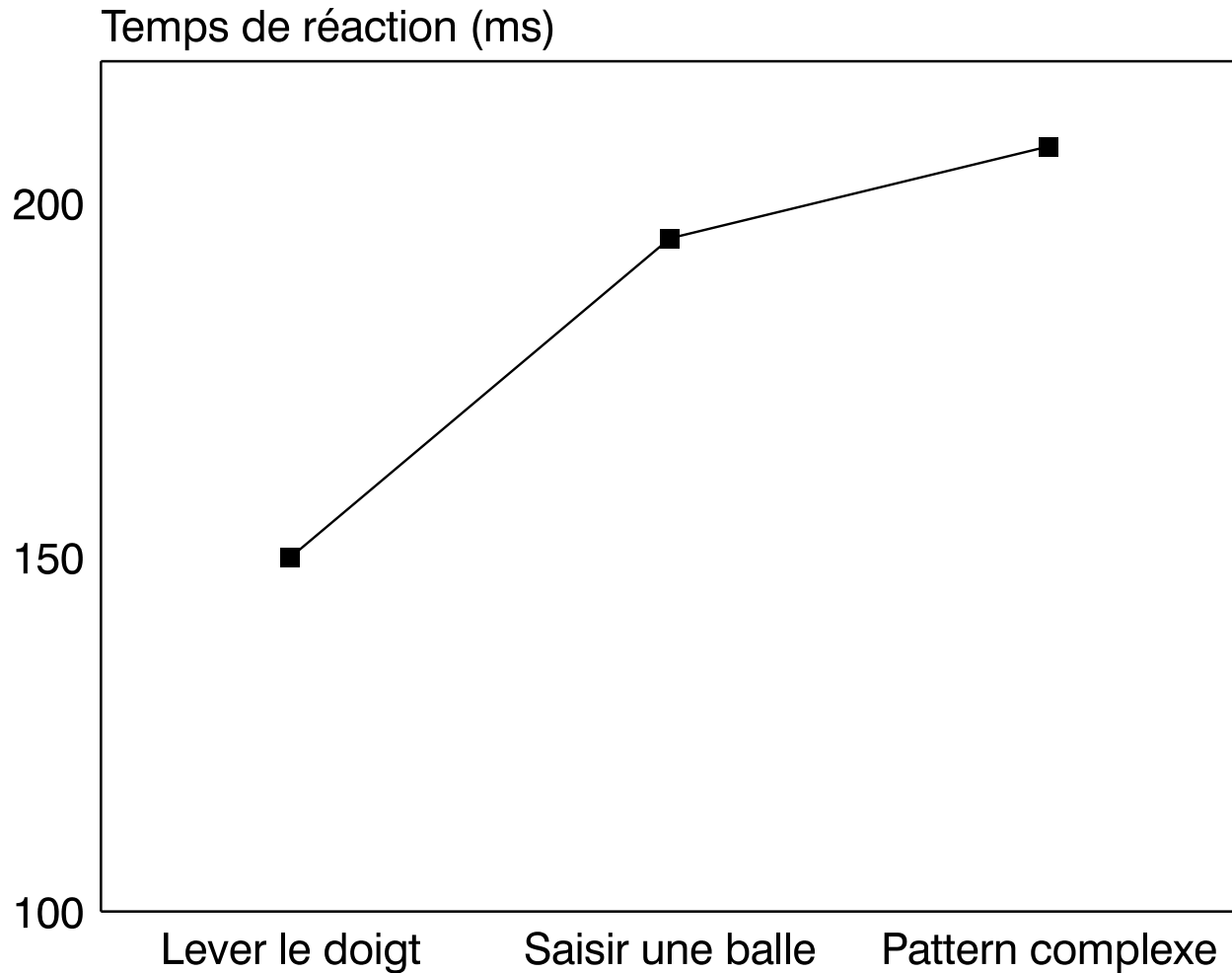
S'il n'y a pas de programmation du mouvement, les sujets ne font que réagir au signal

→ Quelle que soit la complexité du mouvement,  
le TR sera identique

Si le mouvement est programmé à l'avance

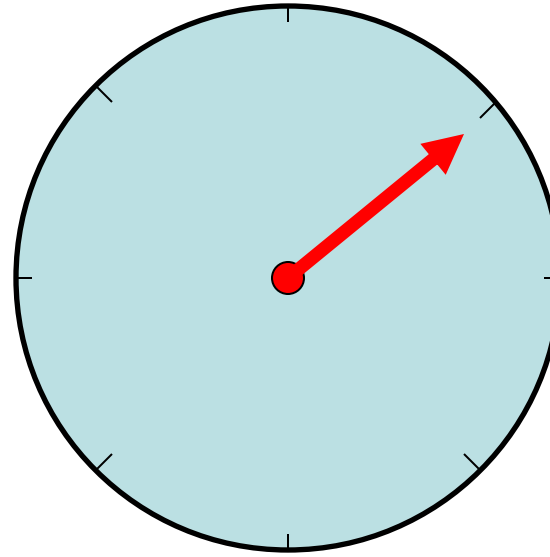
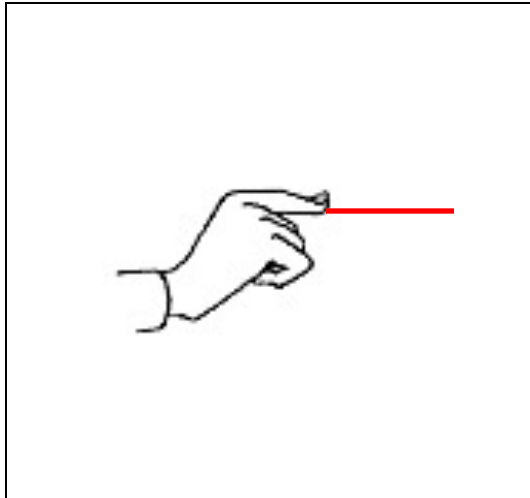
→ Le TR doit être plus long quand la séquence de mouvement à réaliser est plus complexe

## Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs

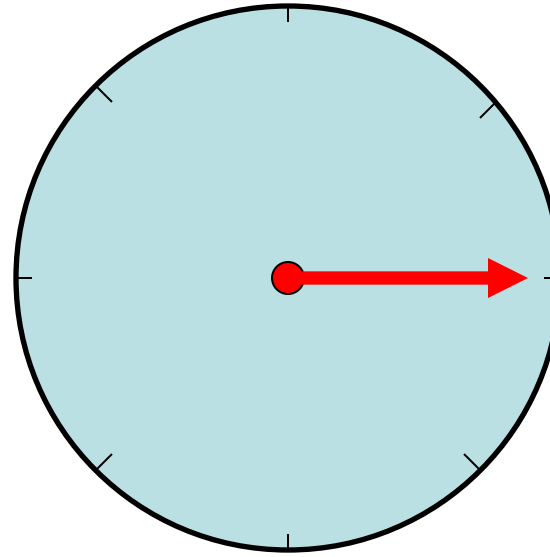
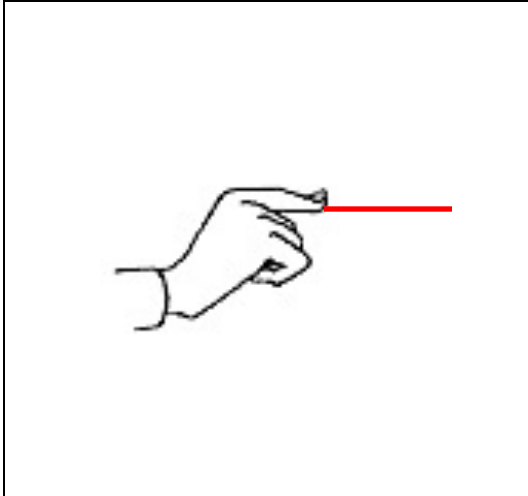


Influence de la complexité du mouvement  
sur le temps de réaction  
(d'après Henry & Rogers, 1961)

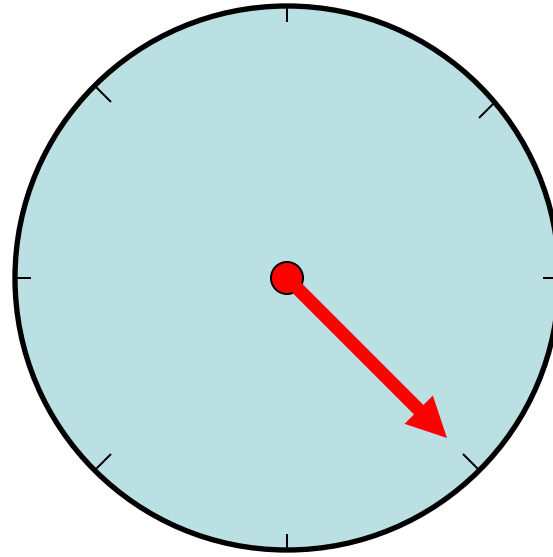
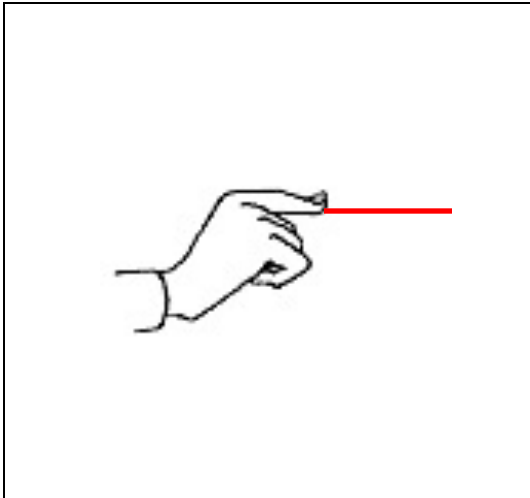
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



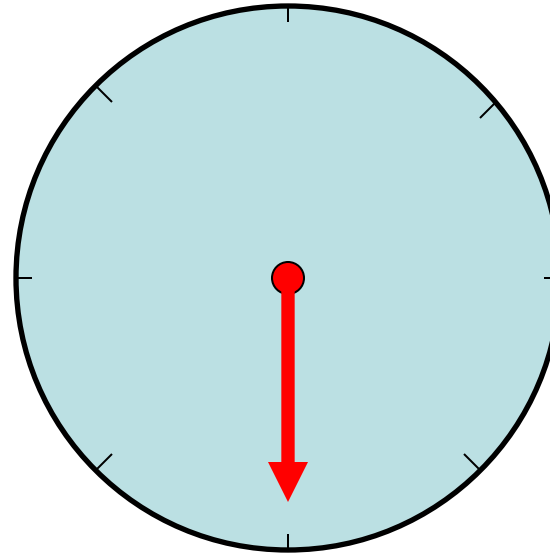
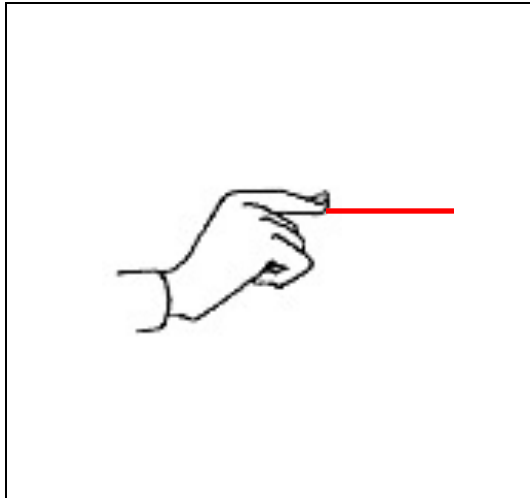
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



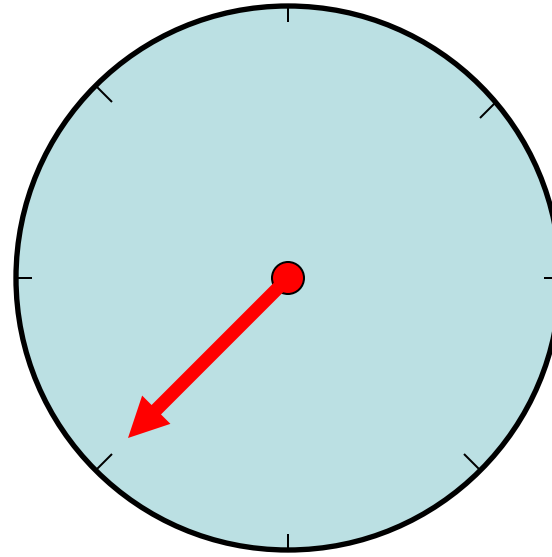
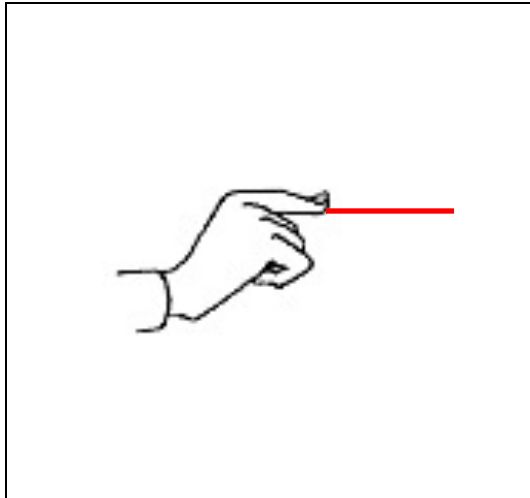
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

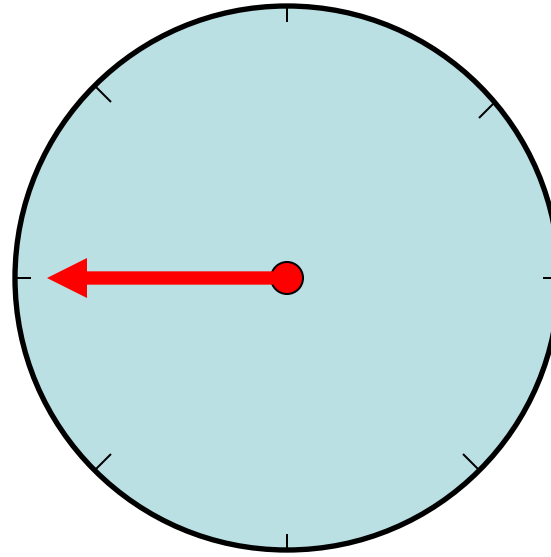
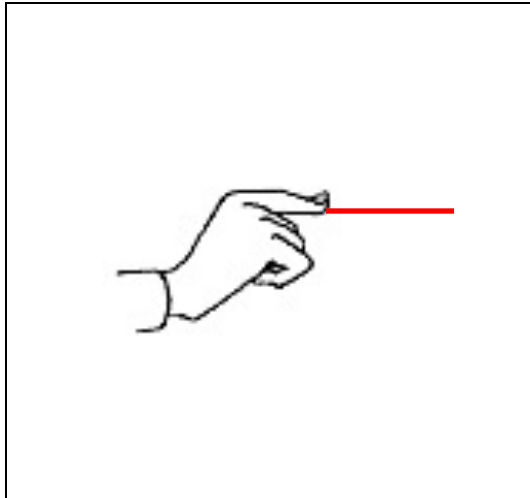


**Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs**

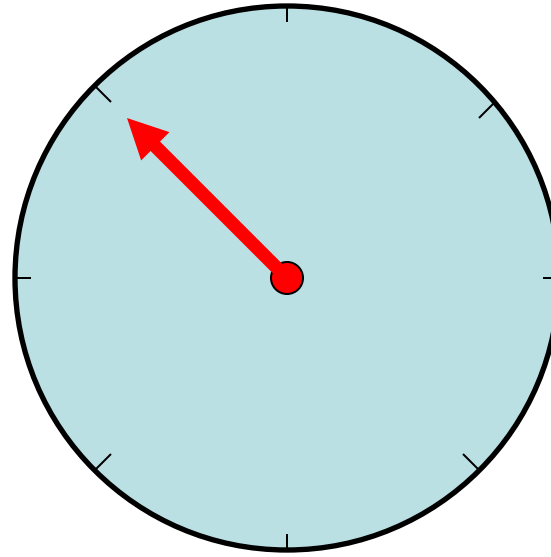
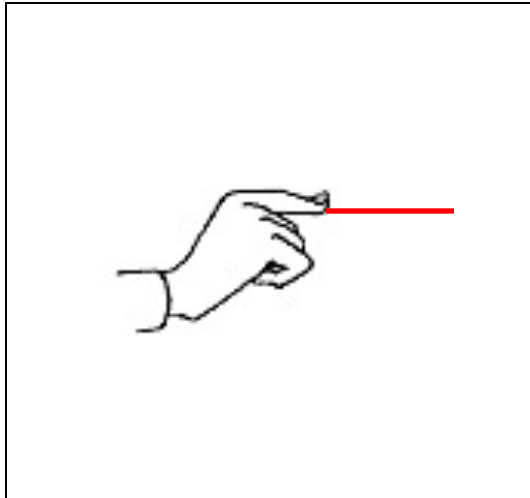




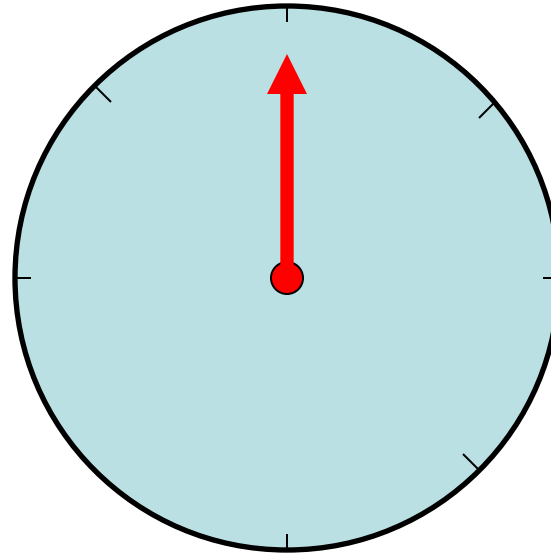
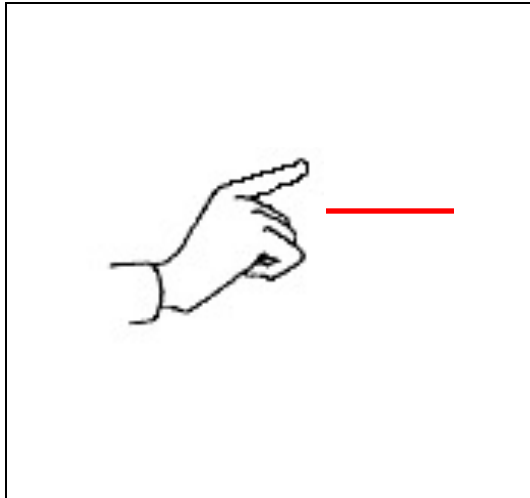
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



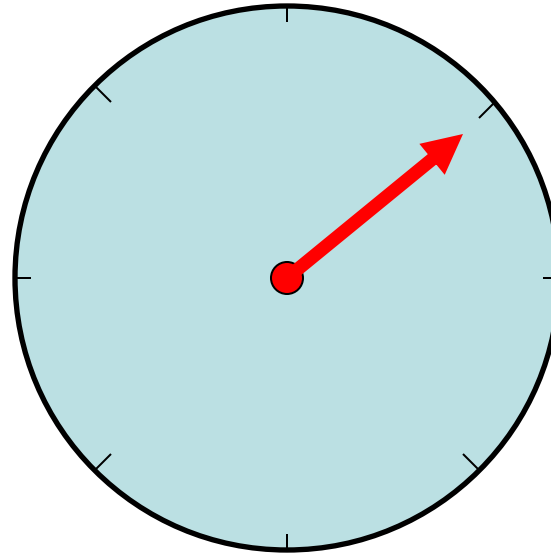
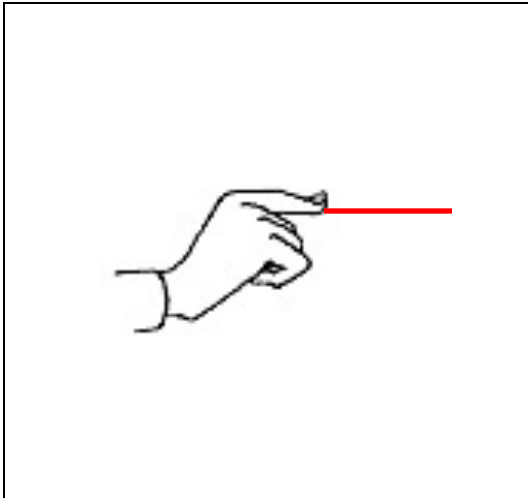
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



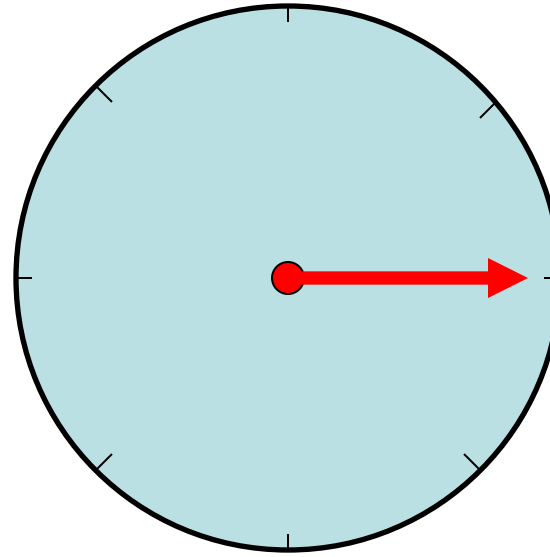
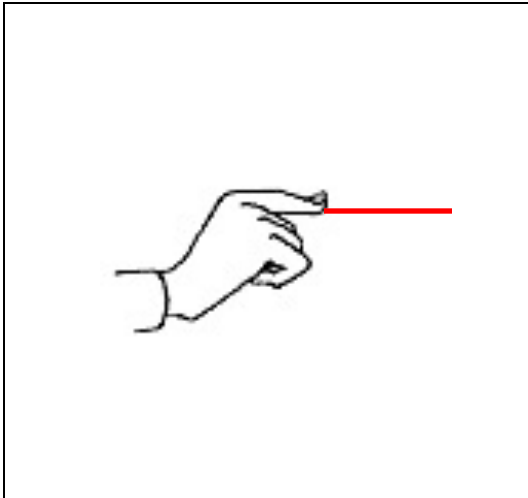
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



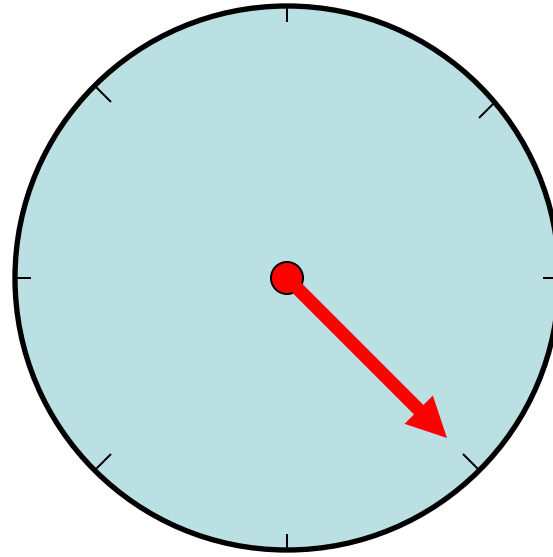
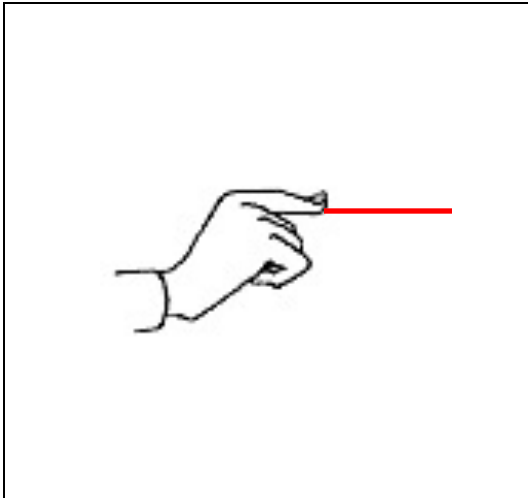
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



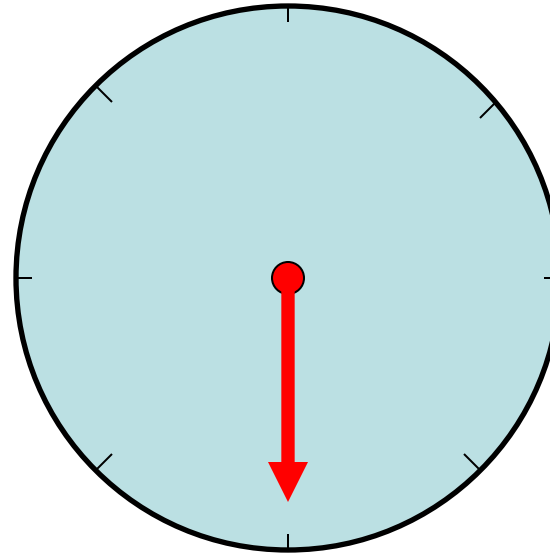
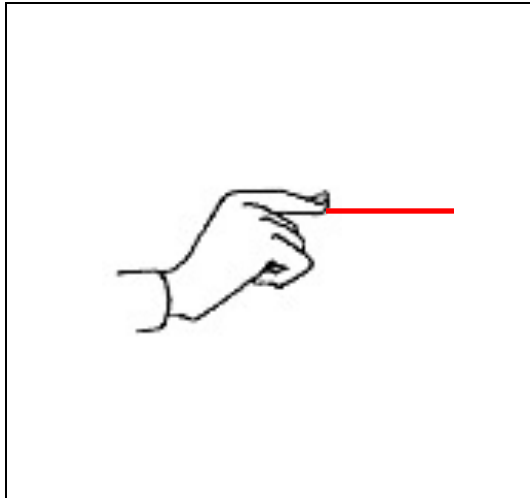
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



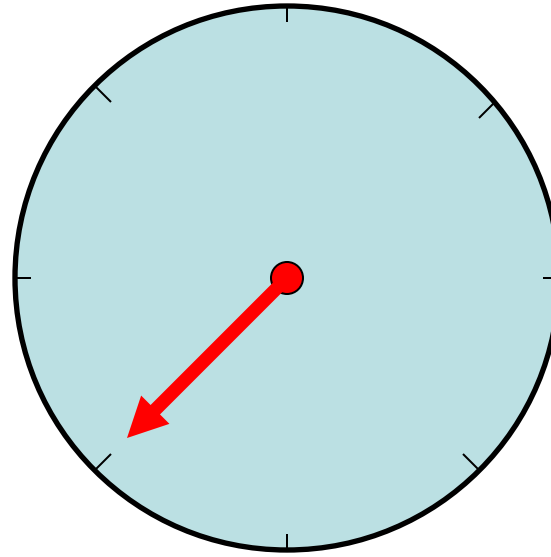
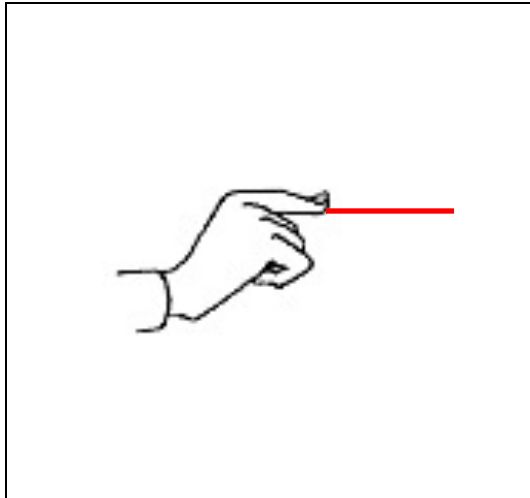
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

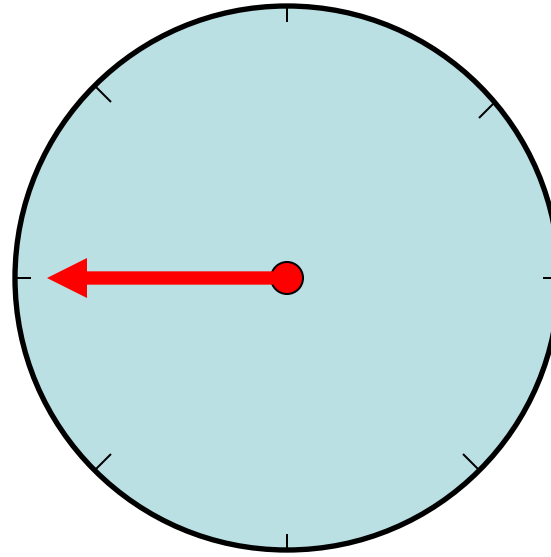
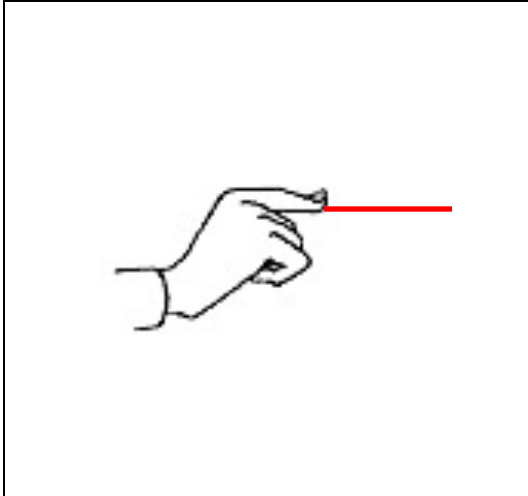


**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

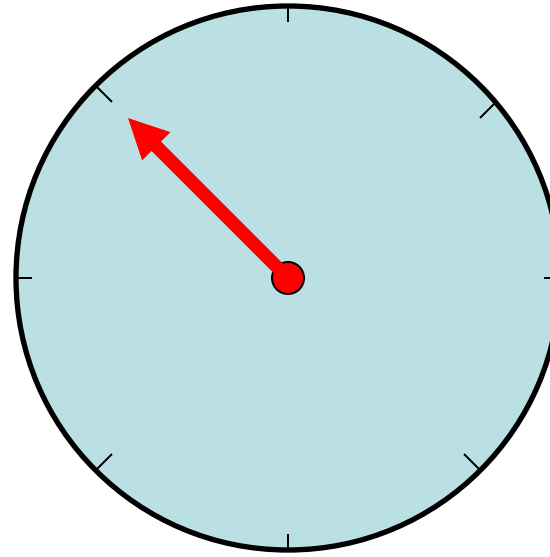
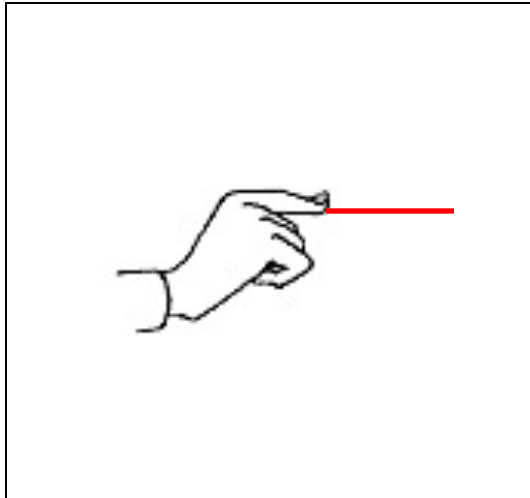




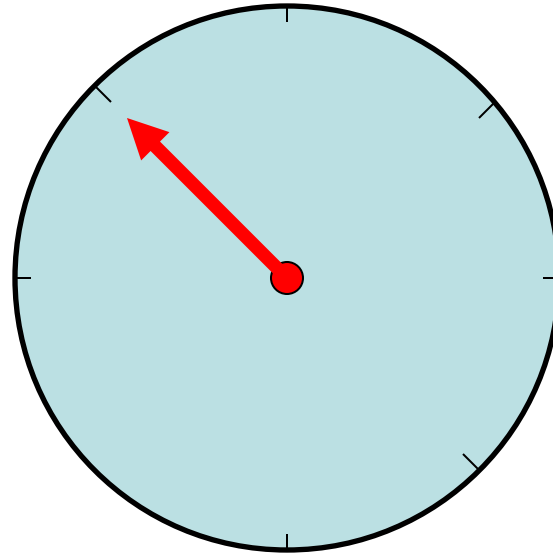
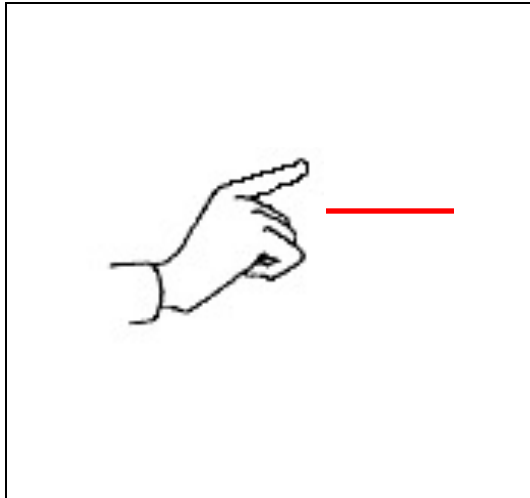
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

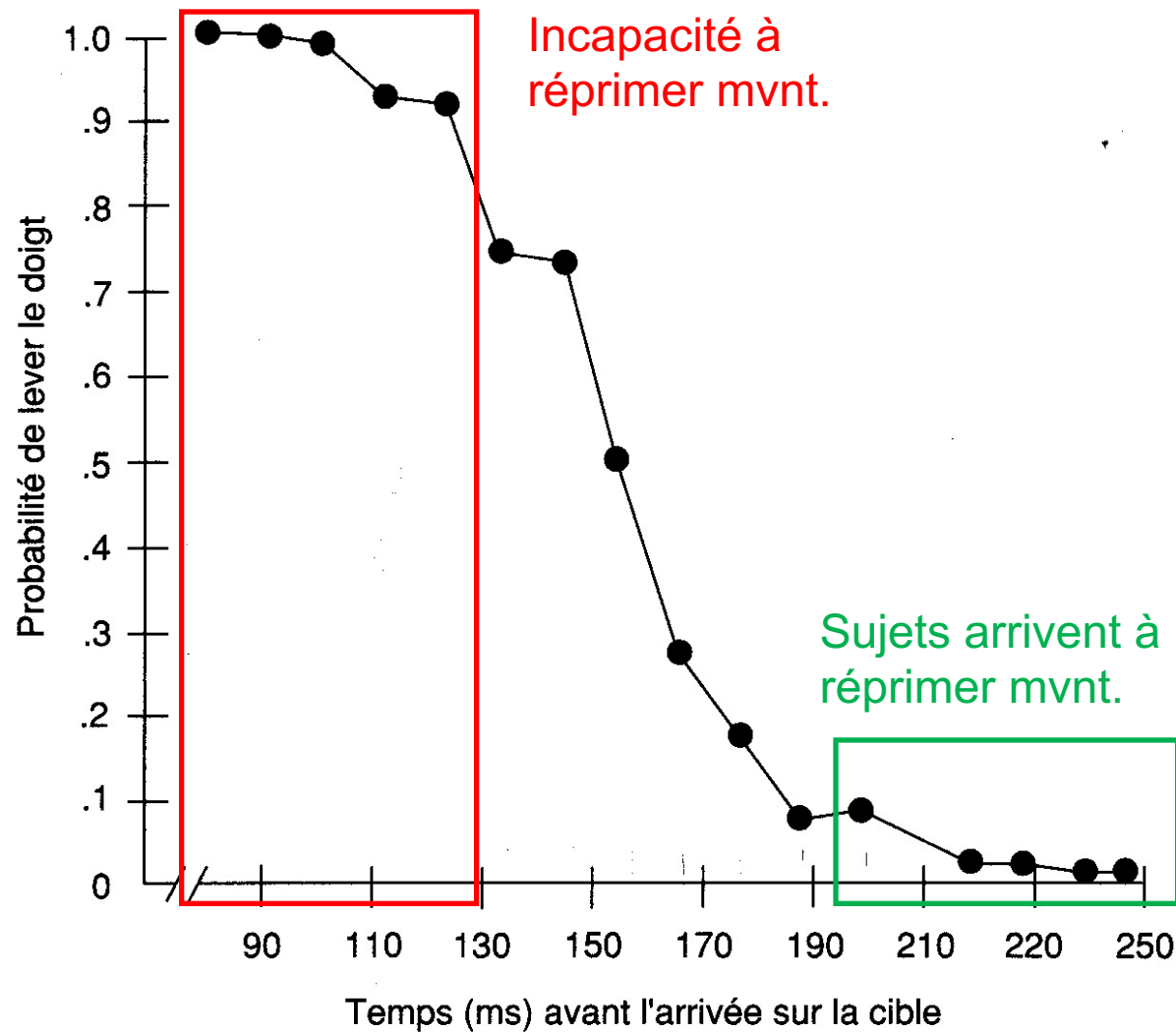


**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

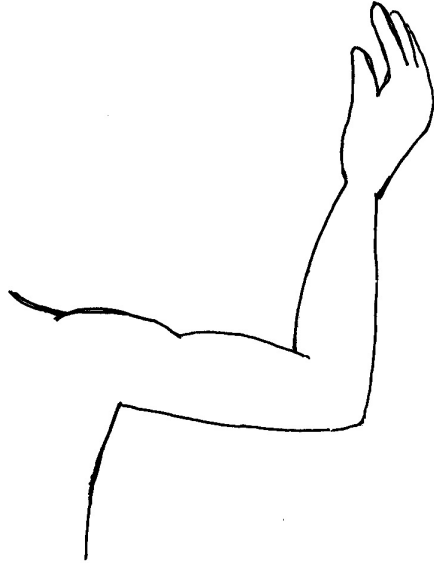


**Des arguments en faveur de la théorie des programmes moteurs**





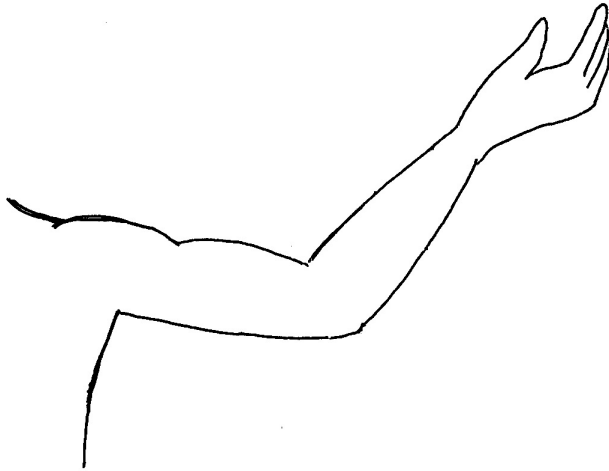
Probabilité de lever le doigt, malgré l'arrêt de l'aiguille, en fonction de l'intervalle temporel avant la graduation cible, dans l'expérience de Slater-Hammer (1960)



**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

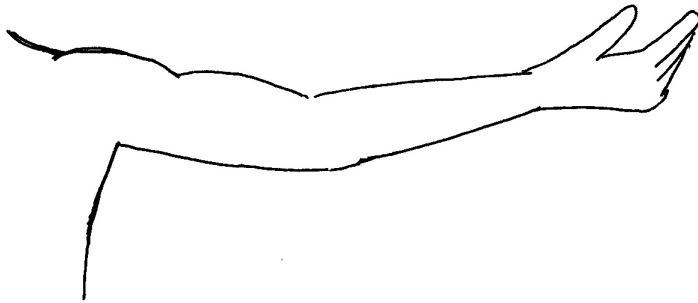
L'expérience de Wadman,  
Denier van der Gon, Geuze et Mol (1979)

**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

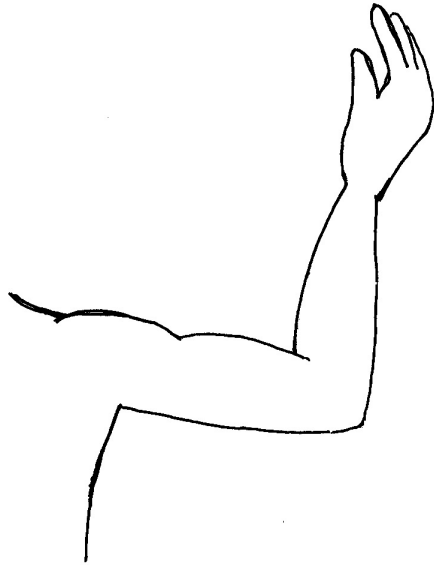


L'expérience de Wadman,  
Denier van der Gon, Geuze et Mol (1979)

**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

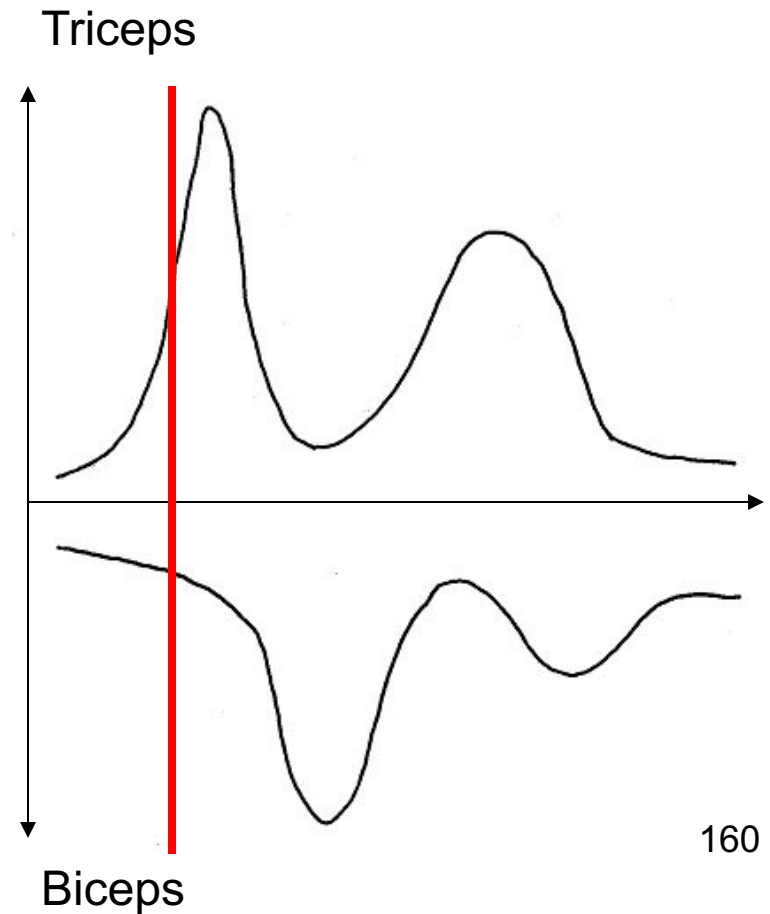


L'expérience de Wadman,  
Denier van der Gon, Geuze et Mol (1979)



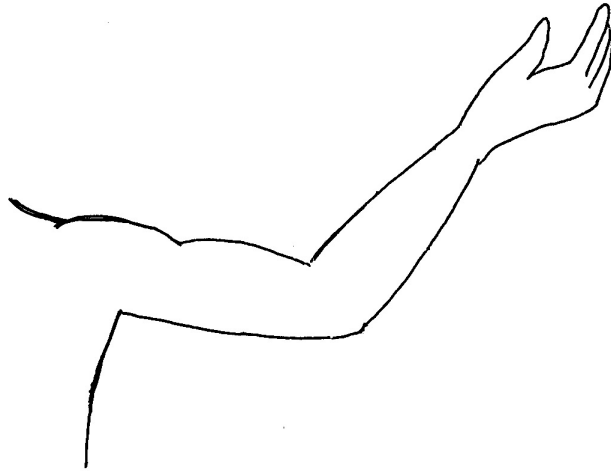
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

L'expérience de Wadman,  
Denier van der Gon, Geuze et Mol (1979)

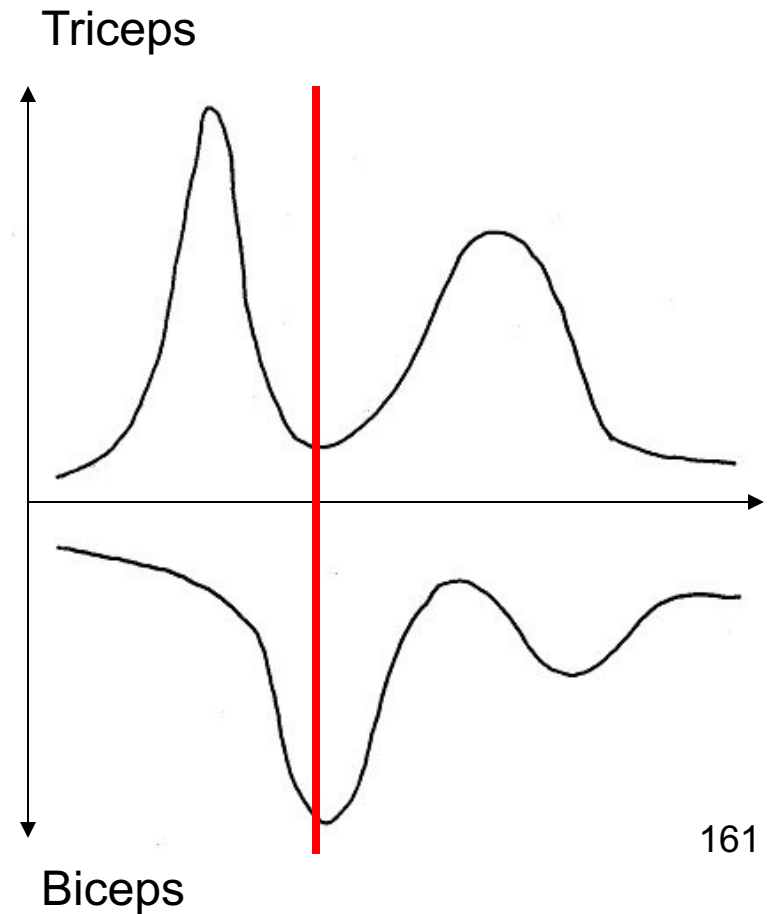




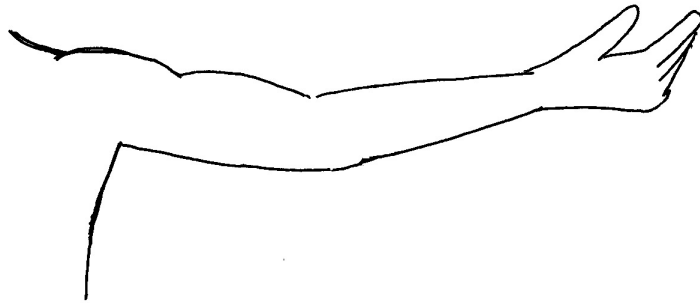
**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**



L'expérience de Wadman,  
Denier van der Gon, Geuze et Mol (1979)



**Des arguments en  
faveur de la théorie des  
programmes moteurs**

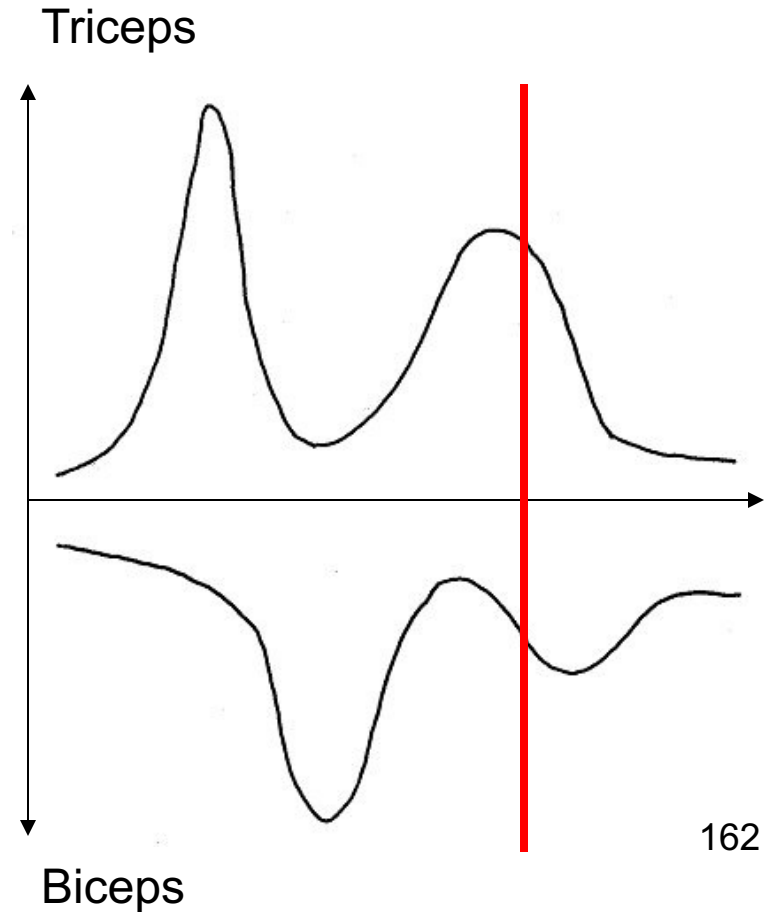


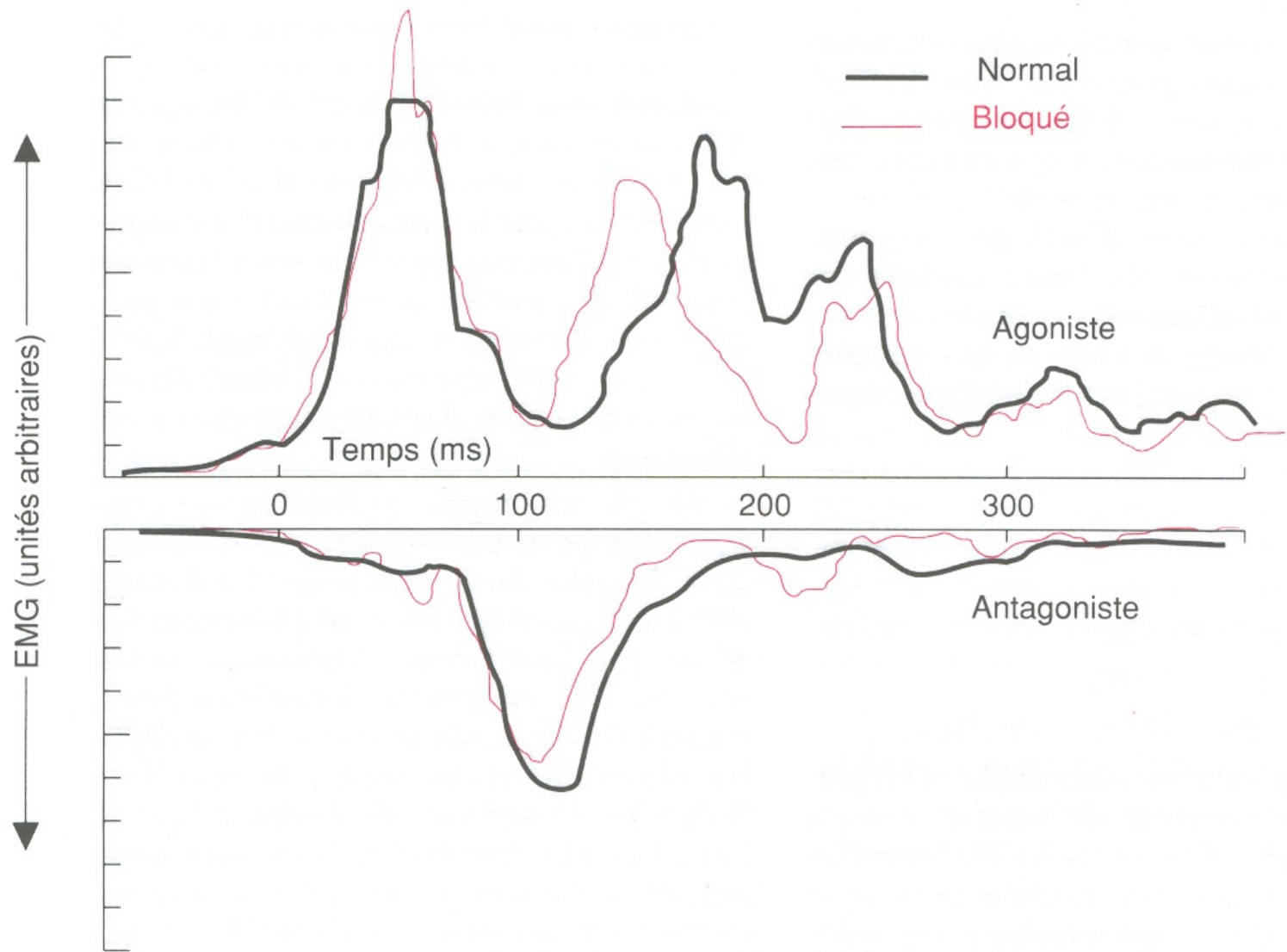
Condition  
"contrôle"

vs.

**Condition  
"blocage aléatoire"**

L'expérience de Wadman,  
Denier van der Gon, Geuze et Mol (1979)

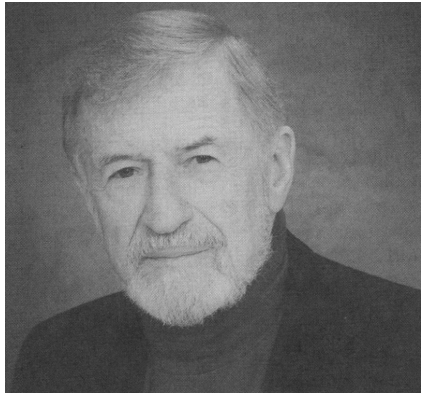




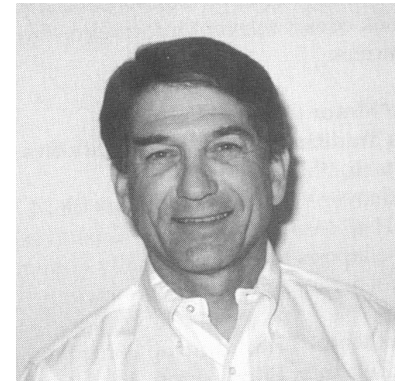
Activité EMG de l'agoniste (triceps) et de l'antagoniste (biceps) dans un mouvement rapide d'extension du coude. Les tracés rouges représentent un mouvement qui a été bloqué mécaniquement au départ (d'après Wadman, Denier van der Gon, Geuze & Mol, 1979)

# Programmes et Schémas moteurs

## Que comportent-ils?



Début des années 70: le concept de programme moteur est admis par **Adams** (1971), sur le **mode « one-to-one »**

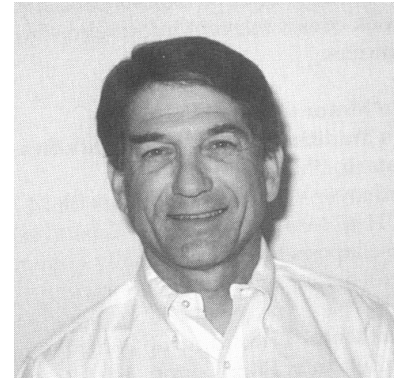


En 1975, **l'argument économique** de **Schmidt**: une telle spécialisation des programmes finirait par poser des problèmes de stockage/restitution



Schmidt propose une alternative plus réaliste:  
**la Théorie du Schéma**

# La théorie du Schéma de Schmidt (1975)



L'habileté est sous-tendue par deux types de représentations:

- Le programme moteur généralisé (PMG)
- Les règles de paramétrisation

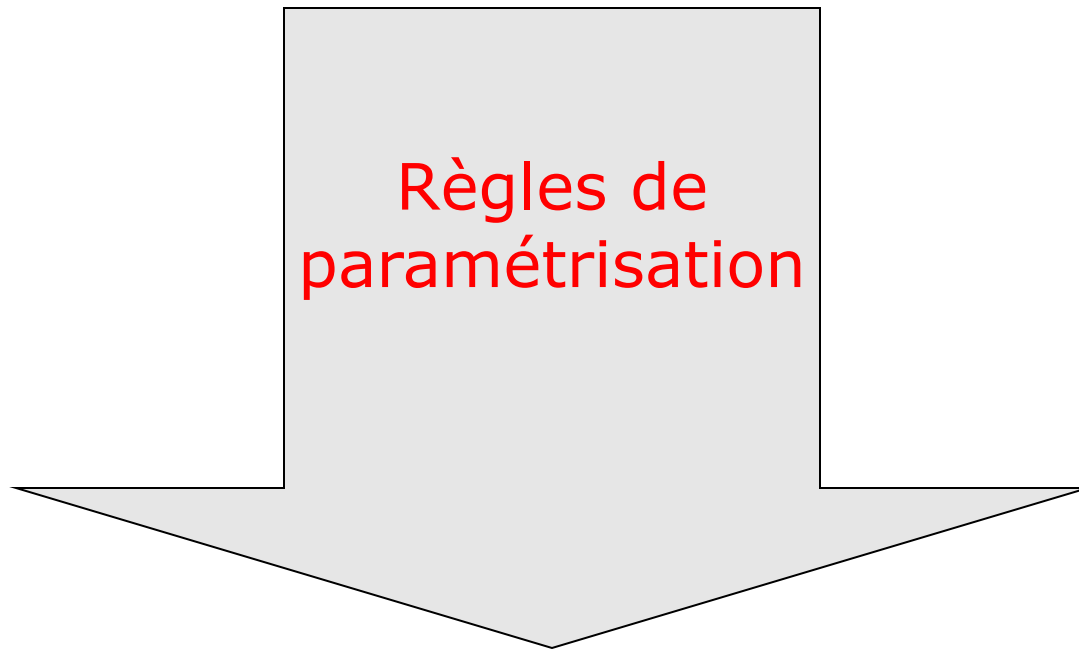
Ces représentations sont construites au cours de l'apprentissage et stockées en mémoire

Un programme moteur généralisé (PMG)  
n'est pas spécifique à une tâche, mais  
s'applique à une catégorie de tâches

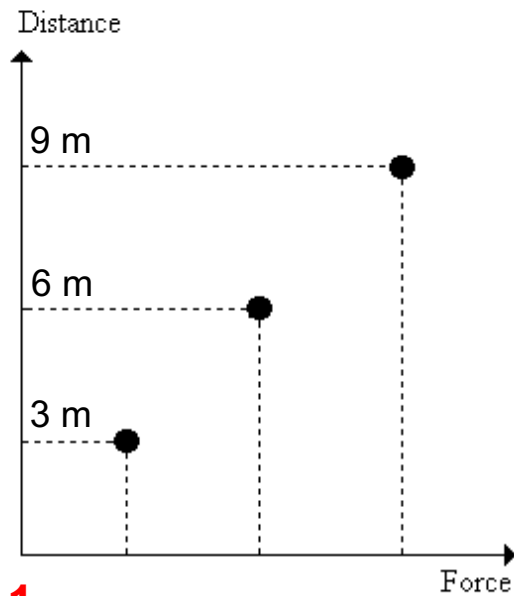


Les règles de paramétrisation permettent  
d'adapter le PMG aux spécificités de la tâche

Programme moteur généralisé



Programme moteur



1.

Les étapes de construction d'une règle de paramétrisation d'un programme de lancer (d'après Schmidt, 1982).

"Apprendre"

=

construire le

Programme Moteur

Généralisé et construire

les règles de

paramétrisation



## Qu'est-ce qui est codé dans les PMG?



C'est la structure rythmique du mouvement qui est codée dans le PMG, non pas le détail des actions des effecteurs



Patterns d'accélération produits en écrivant le mot "hell",  
en fonction de l'amplitude de l'écriture  
(d'après Hollerbach, 1978)

Qu'est-ce qui est codé dans les PMG?

- A Able was I ere I saw Elba
- B Able was I ere I saw Elba
- C Able was I ere I saw Elba
- D Able was I ere I saw Elba
- E Able was I ere I saw Elba

Similarités d'écriture obtenues avec différents effecteurs.

a.: Main droite (dominante)

b.: Main droite avec poignet immobilisé

c.: Main gauche

d.: Stylo entre les dents

e.: Stylo scotché sur le pied

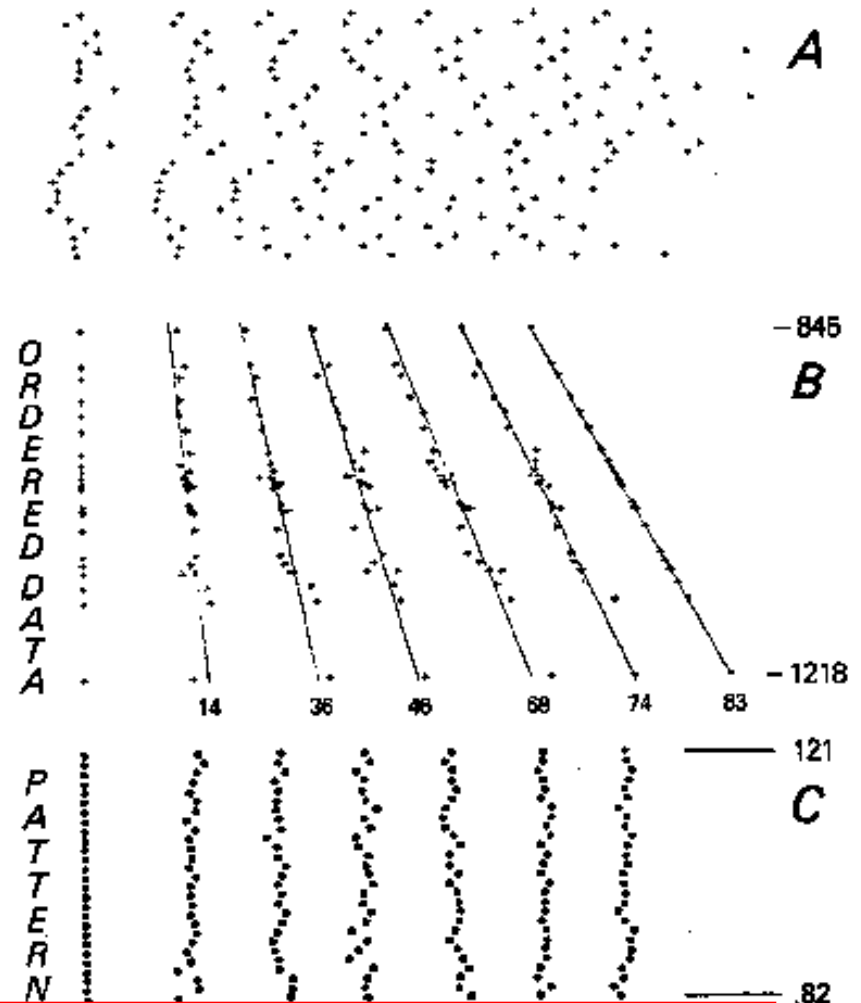
(d'après Raibert, 1977)

# Qu'est-ce qui est codé dans les PMG?

Viviani et Terzuolo (1979)

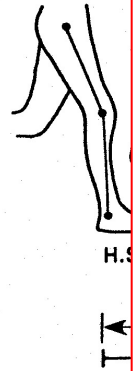
Une dactylo doit taper le mot  
« TROUBLE » au clavier, à des  
vitesses de frappe différentes

Chaque point représente le moment  
de la frappe d'une touche



Ce qui est encodé dans les PMG est du temps relatif (pattern rythmique),  
non pas du temps absolu

## Qu'est-ce qui est codé dans les PMG?



60

Relative Timing  
of Step Cycle Phases  
(s)

La marche et la course sont 2 patterns de locomotion qualitativement différents

Marche et course sont caractérisées par des structures rythmiques spécifiques, mais que l'on retrouve à toutes les vitesses

3 4 5 6 8 9 10 11 12

Speed of Locomotion (km/hr)

Pourcentage de la durée du cycle représentée par les quatre phases du pas, pour la marche (de 3 à 6 km/h) et pour la course (de 8 à 12 km/h)

Shapiro, Zernicke, Gregor & Diestel (1981)

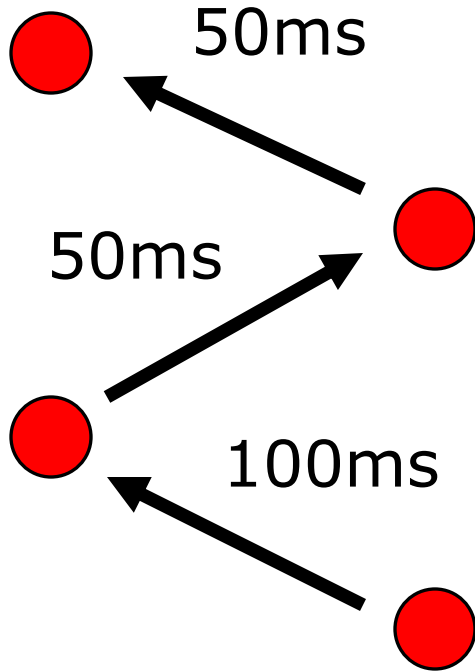
Le PMG contient les invariants et notamment la structure temporelle du mouvement

Expérimentalement, on rend donc compte du PMG en analysant les rapports de temps

Les règles de paramétrisation sont au contraire révélées par la mesure du temps absolu

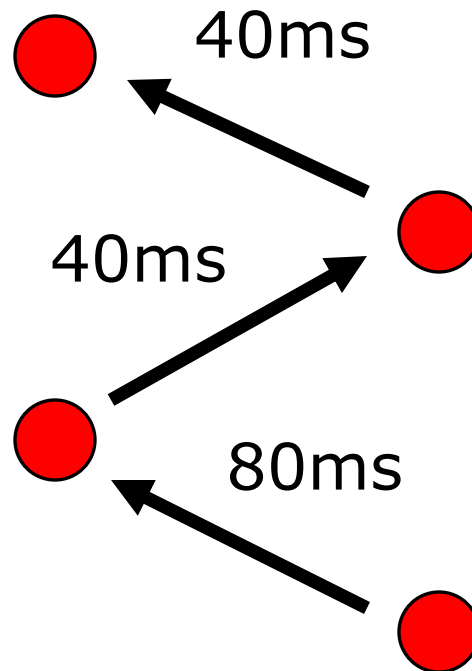
Quand on fait apprendre à des sujets, 2 résultats possibles:

Consigne 1



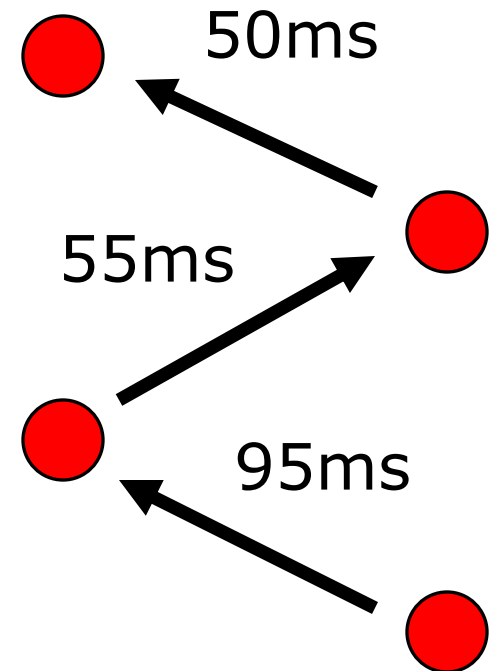
PMG+

RP-



PMG-

RP+



Temps total  
200ms

Temps total  
160ms

Temps total  
200ms

# Plan du cours

## Introduction : définitions

1. Habileté et traitement de l'information
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficacité
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances

## 2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente

### 2.1. Théories prescriptives et théories dynamiques

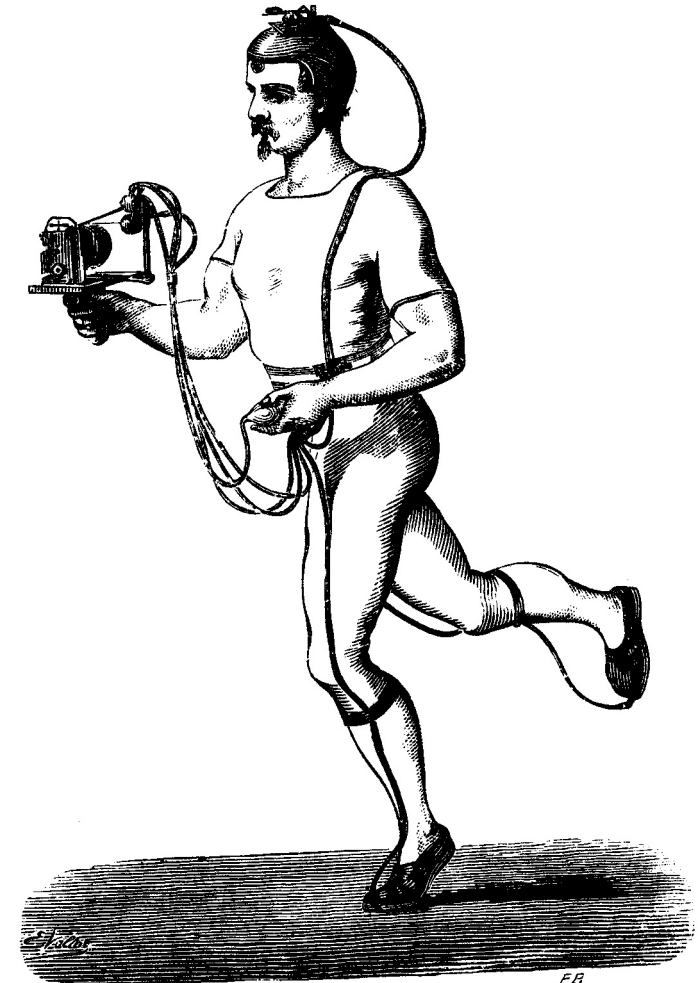
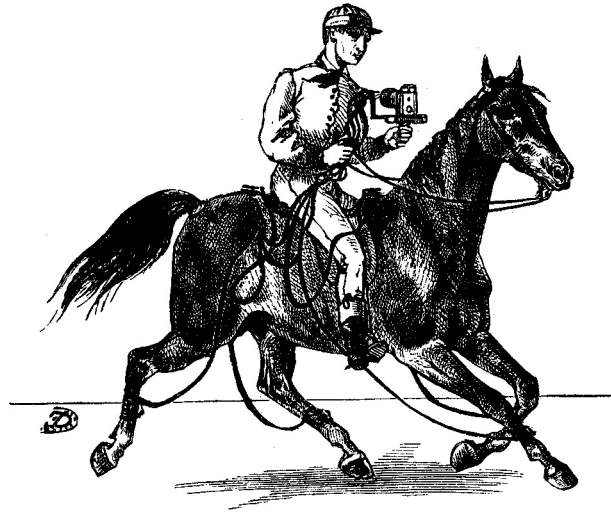
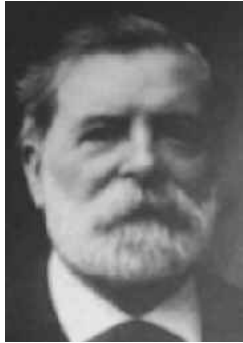
### 2.2. Complexité et auto-organisation

### 2.3. L'approche dynamique des coordinations motrices



Deux précurseurs:

Jules Marey. Inventeur de le chronophotographie



Georges Demeny:

La machine animale (1873)



## Les travaux de Marey (début 20<sup>ème</sup>)

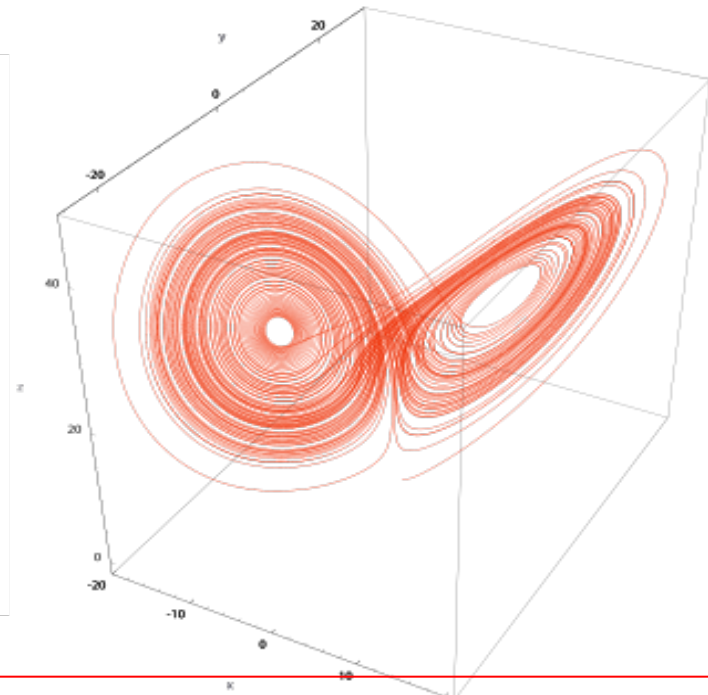
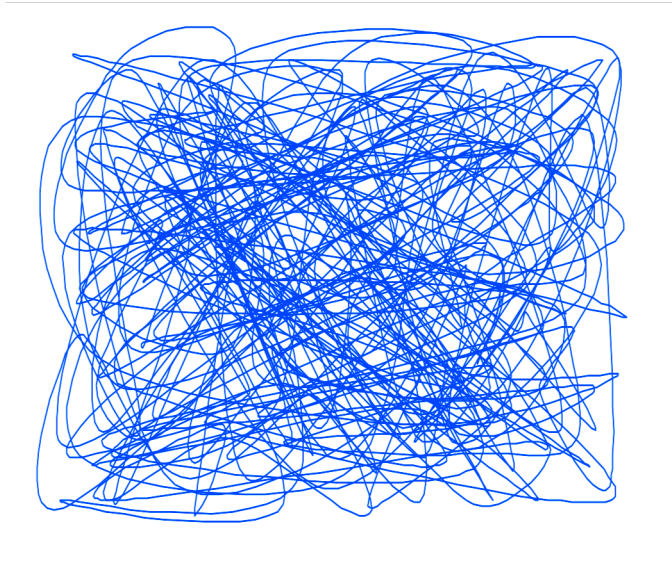


## Les travaux de Marey (début 20<sup>ème</sup>)



Théorie dynamique:

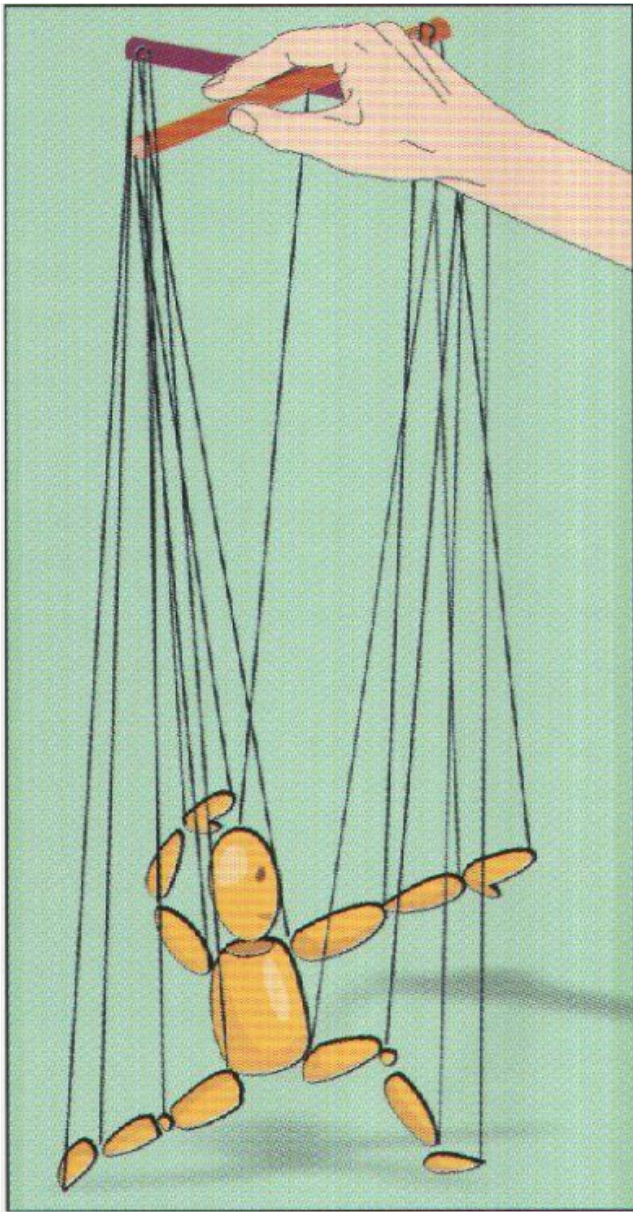
L'**émergence** de l'**ordre** dans les **systèmes complexes**



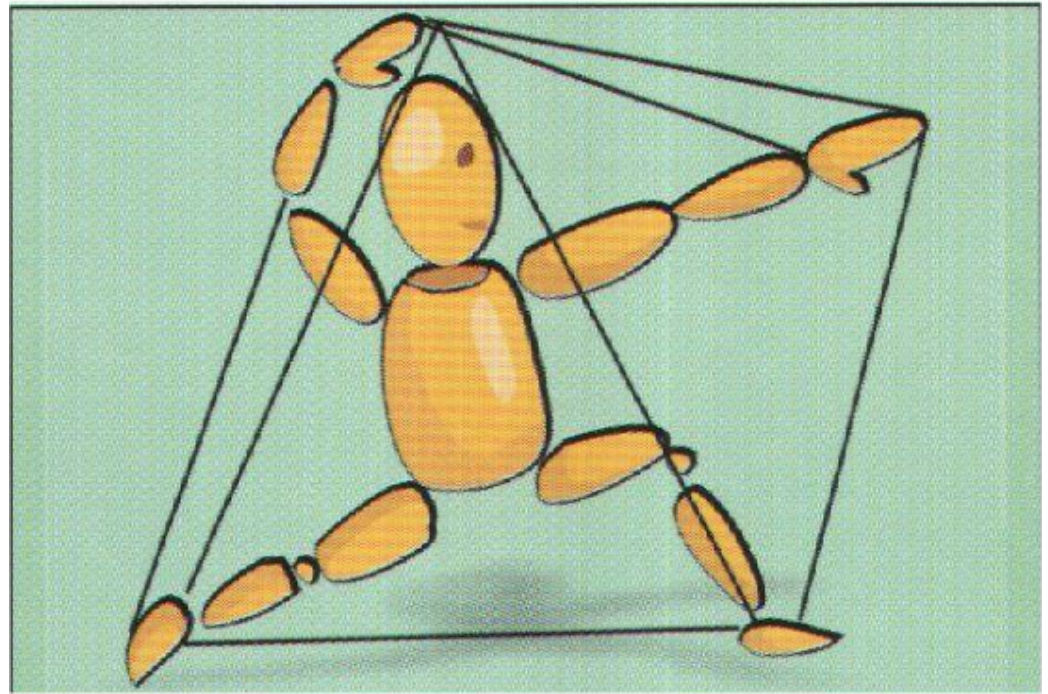
Le tout est plus que la somme des parties  
Il y a un ordre sous-jacent au désordre apparent



Comment apparaît l'ordre dans un système complexe?



**Théories prescriptives**



**Théories émergentes**

## 2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente

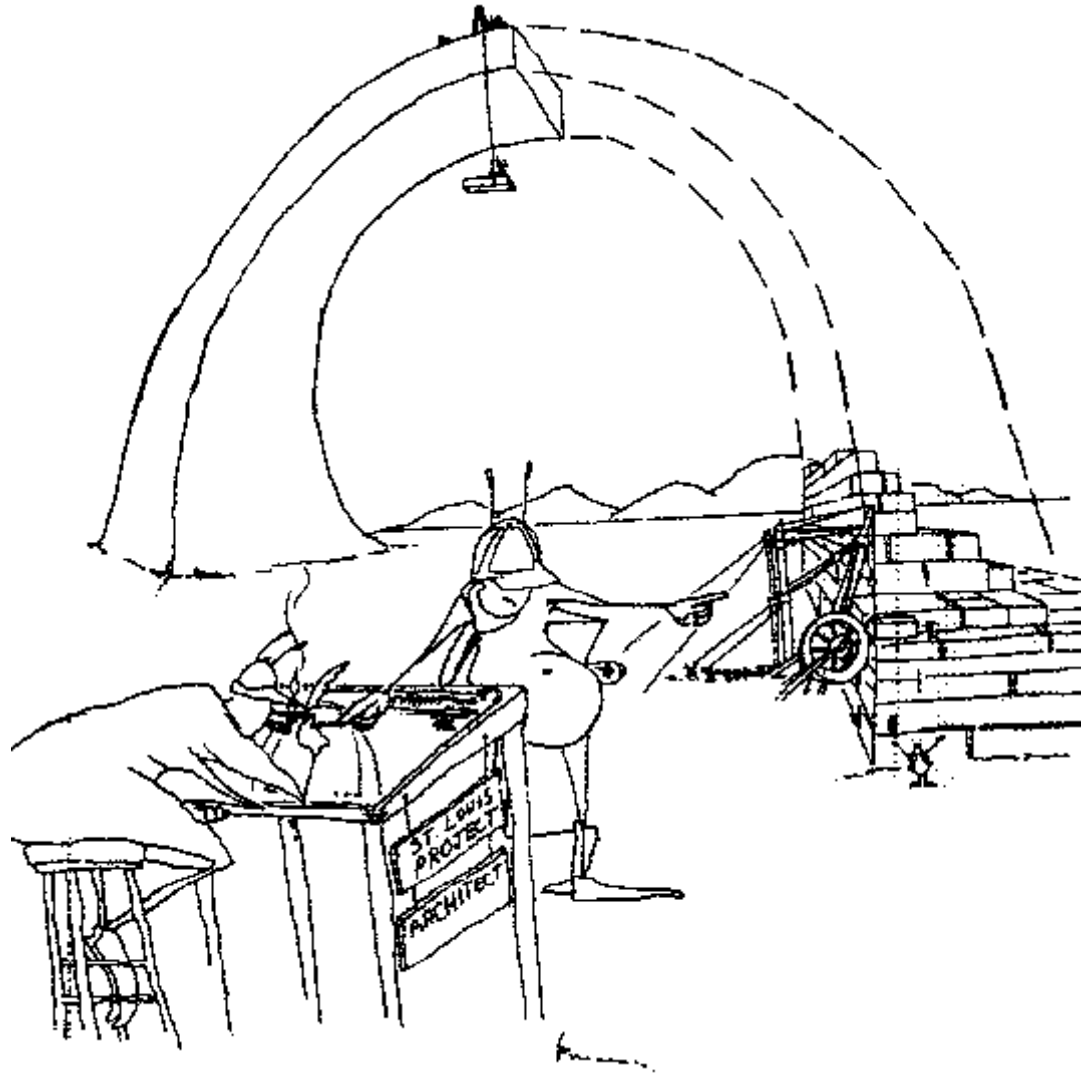
### 2.1. Théories prescriptives et théories dynamiques

### 2.2. Complexité et auto-organisation

### 2.3. L'approche dynamique des coordinations motrices



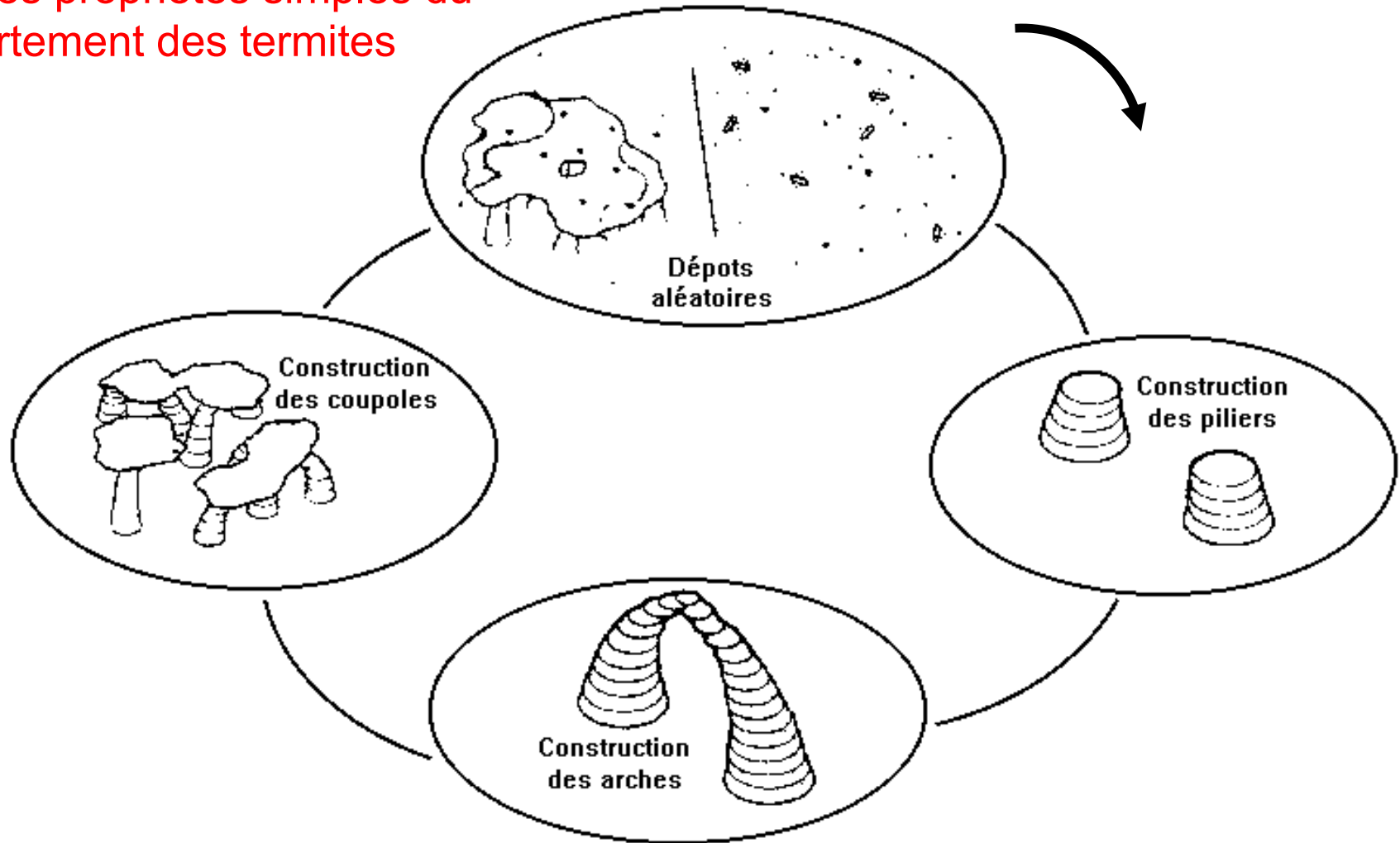
Les termitières



Représentation prescriptive de la construction de la termitière  
(d'après Lintern & Kugler, 1991).



# La structure émerge spontanément de quelques propriétés simples du comportement des termites



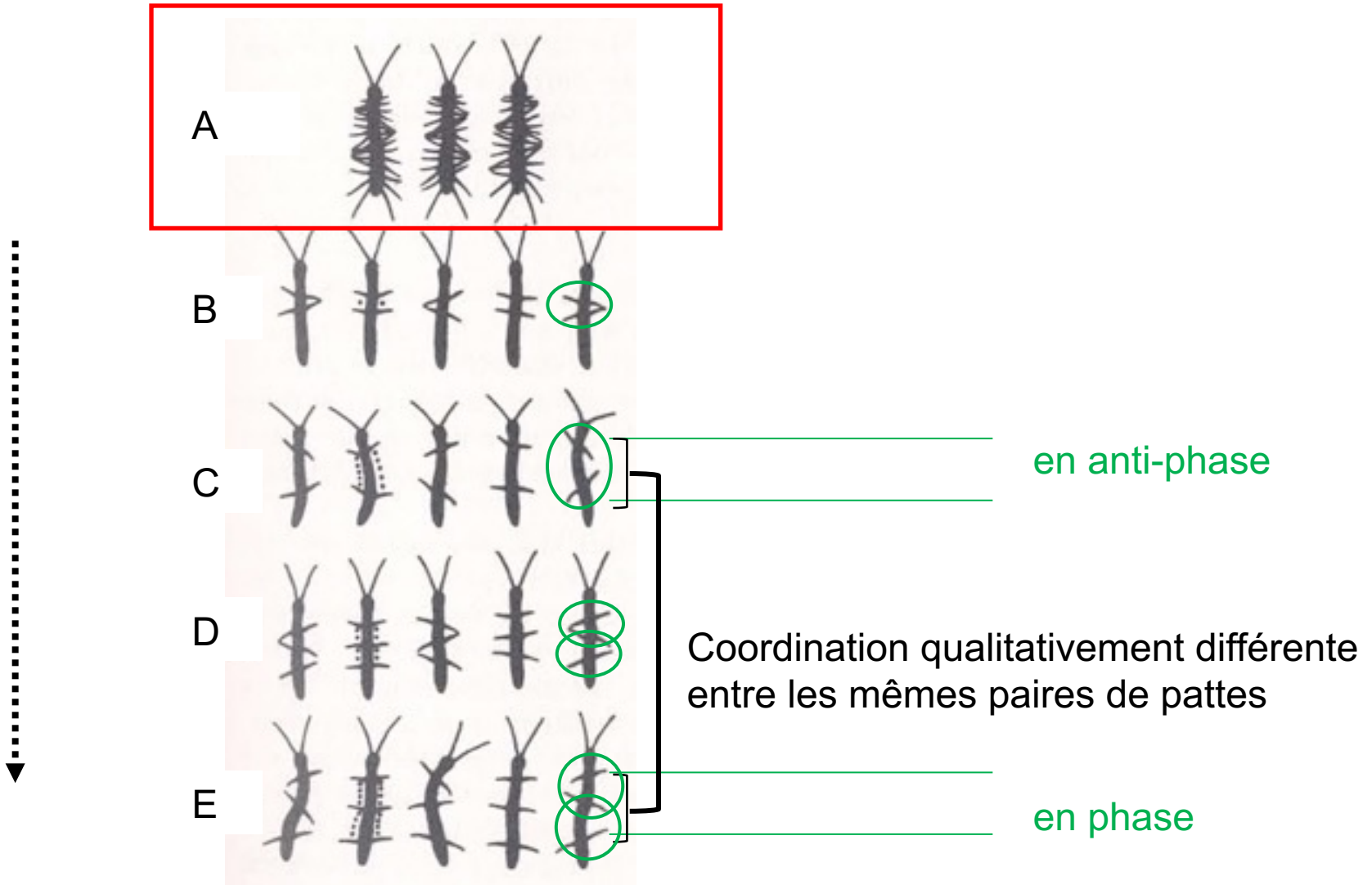
Le cycle de construction de la termitière: ce cycle commence par des dépôt aléatoires, puis progresse par l'émergence de piliers, d'arches puis de coupoles.

Le cycle recommence alors par des dépôts aléatoires

(d'après Kugler & Turvey, 1987).

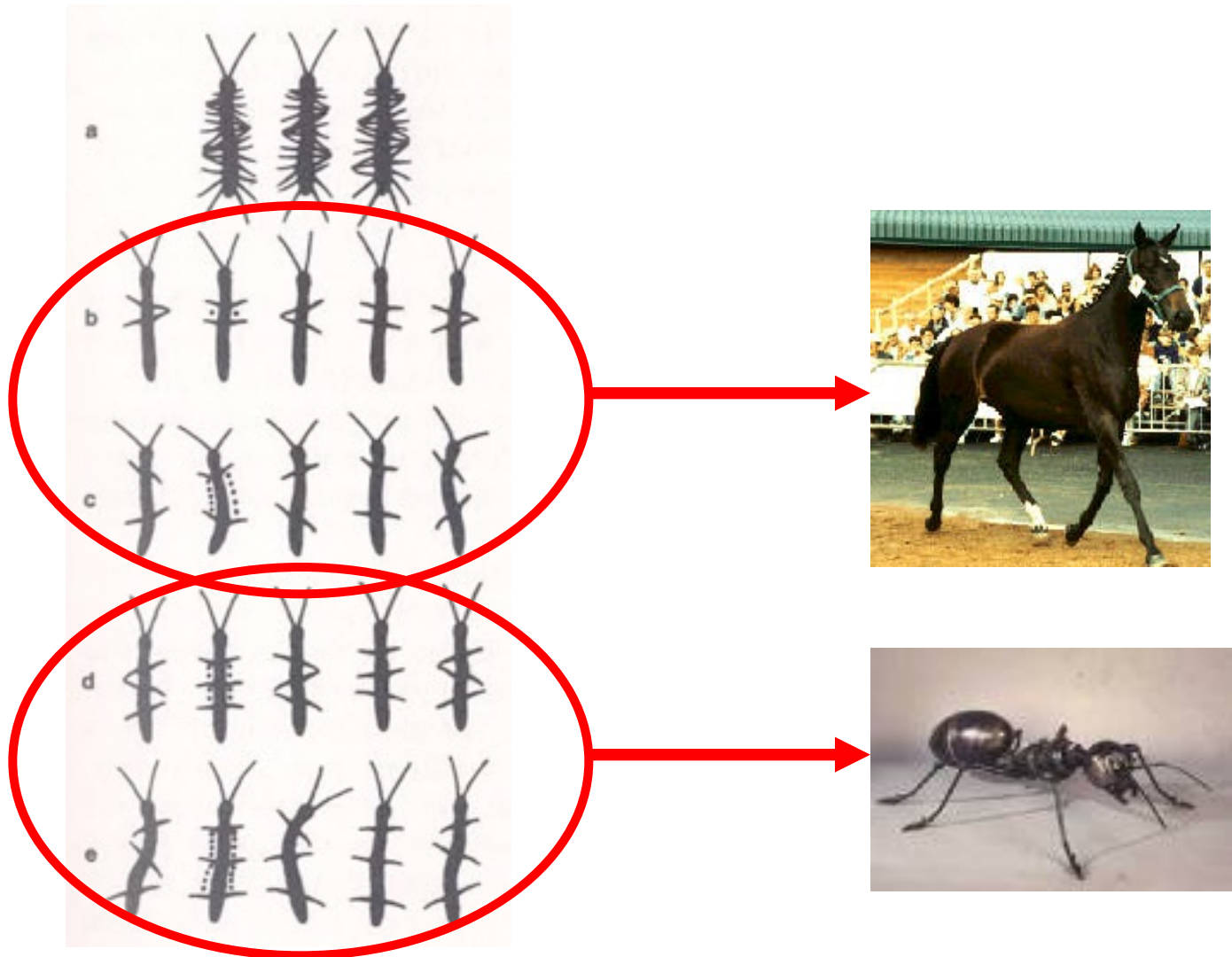


La locomotion chez les mille-pattes (von Holst, 1937/1973)

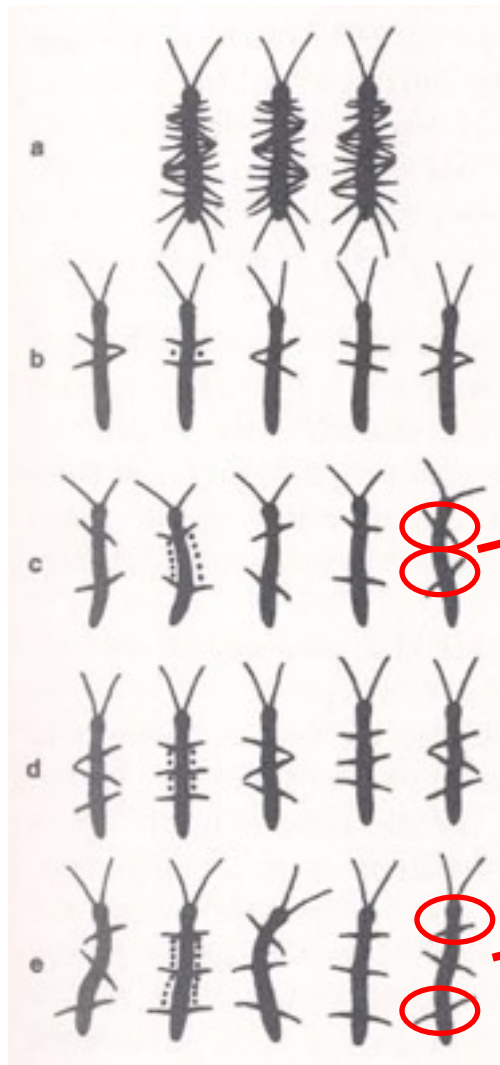


**La coordination dépend du nombre de segments restants, pas de leur nature**

La locomotion chez les mille-pattes (von Holst, 1937/1973)



La locomotion chez les mille-pattes (von Holst, 1937/1973)

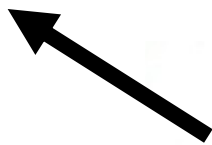


Les mêmes segments peuvent entretenir des coordinations différentes simplement parce que les contraintes imposées sont différentes

Coordination en anti-phase

Coordination en phase

... et si les contraintes changent, il y a émergence de nouvelles coordinations



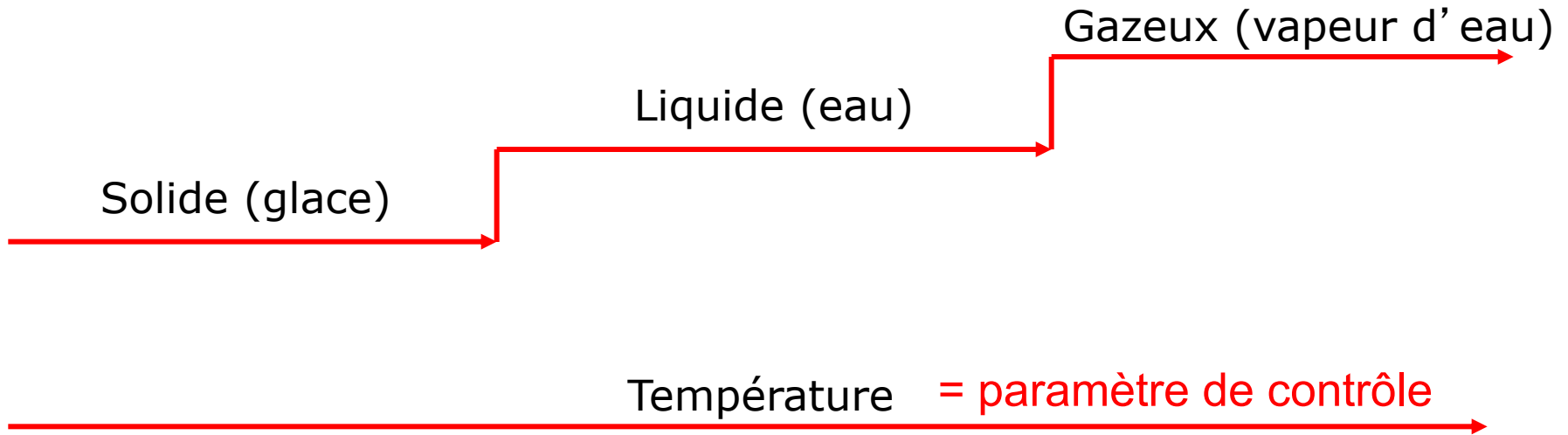
# Les transitions de phase

Une transition de phase **est la modification qualitative de l'état d'un système** sous l'effet de la modification d'un paramètre de contrôle

# Les transitions de phase



Modifications QUALITATIVES abruptes – pas d'état intermédiaire





# Les transitions de phase

Une transition de phase est **la modification qualitative de l'état d'un système** sous l'effet de la modification d'un paramètre de contrôle

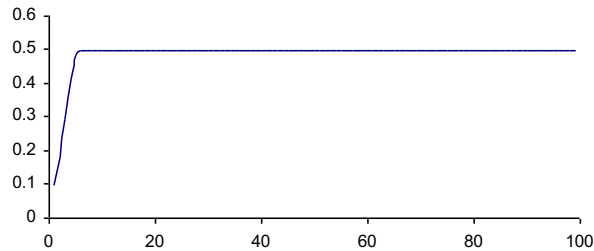
**Le paramètre de contrôle est non spécifique**

**Il déclenche la transition mais ne la prescrit pas**

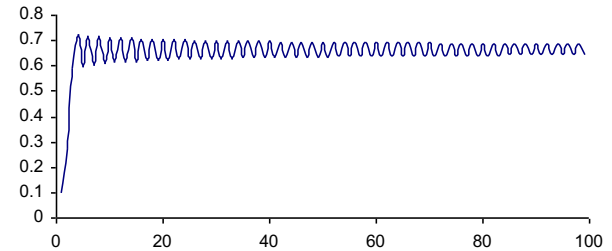
**La transition est brutale**: elle survient quand le paramètre de contrôle a atteint un certain seuil

# Un exemple mathématique: la fonction logistique

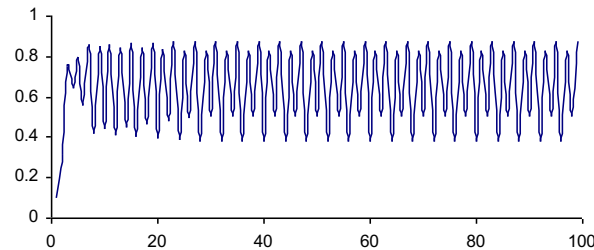
$$X_{t+1} = \alpha X_t(1 - X_t)$$



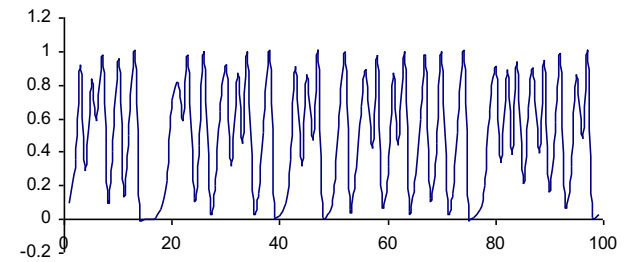
$\alpha = 2$



$\alpha = 3$



$\alpha = 3.5$



$\alpha = 4$

# Les transitions de phase

Une transition de phase **est la modification qualitative de l'état d'un système** sous l'effet de la modification d'un paramètre de contrôle

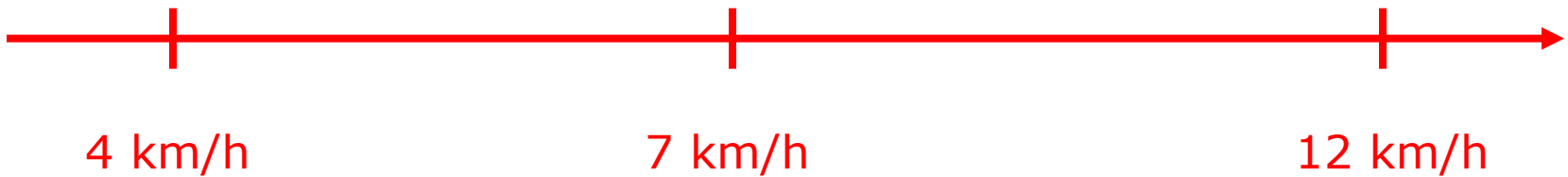
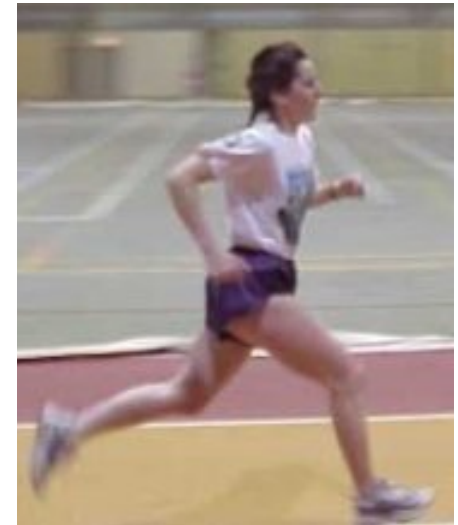
**Le paramètre de contrôle est non spécifique**

**Il déclenche la transition mais ne la prescrit pas**

**La transition est brutale**: elle survient quand le paramètre de contrôle a atteint un certain seuil

**La transition est précédée d'une déstabilisation** du premier ordre, appelée « **fluctuations critiques** »

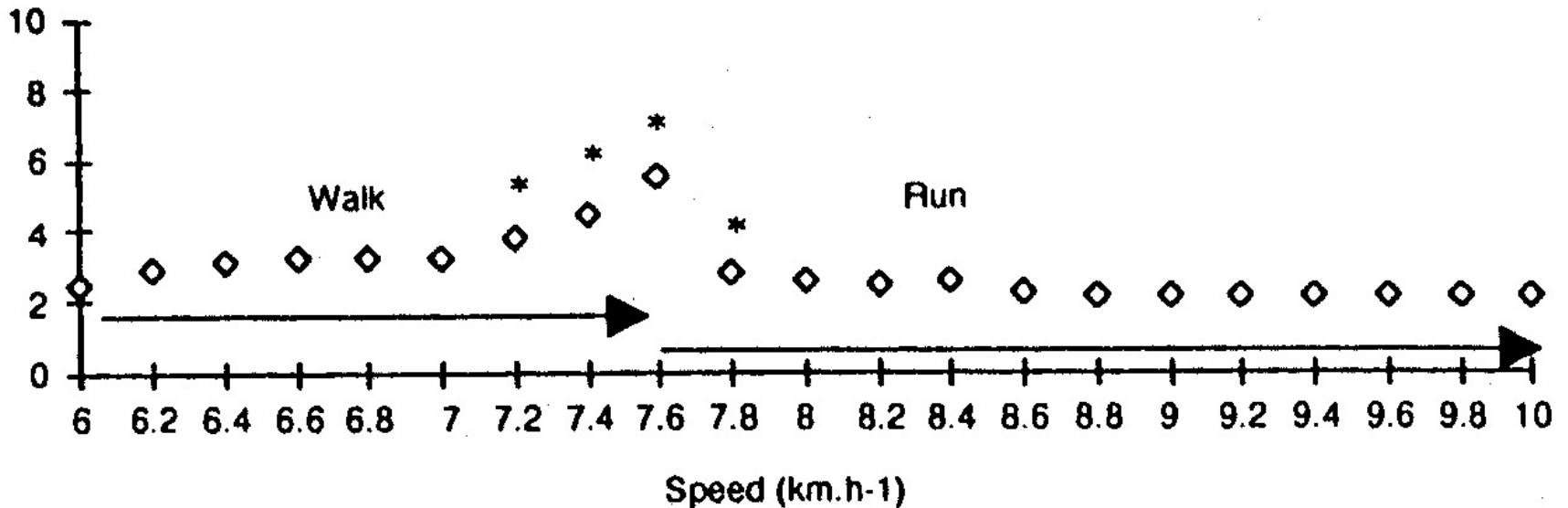
# Une exemple comportemental: La transition marche-course



Lorsque le paramètre d'ordre atteint la valeur critique, l'ordre initial est déstabilisé et le système se réfugie dans un nouvel ordre stable



Stride duration variability (%)

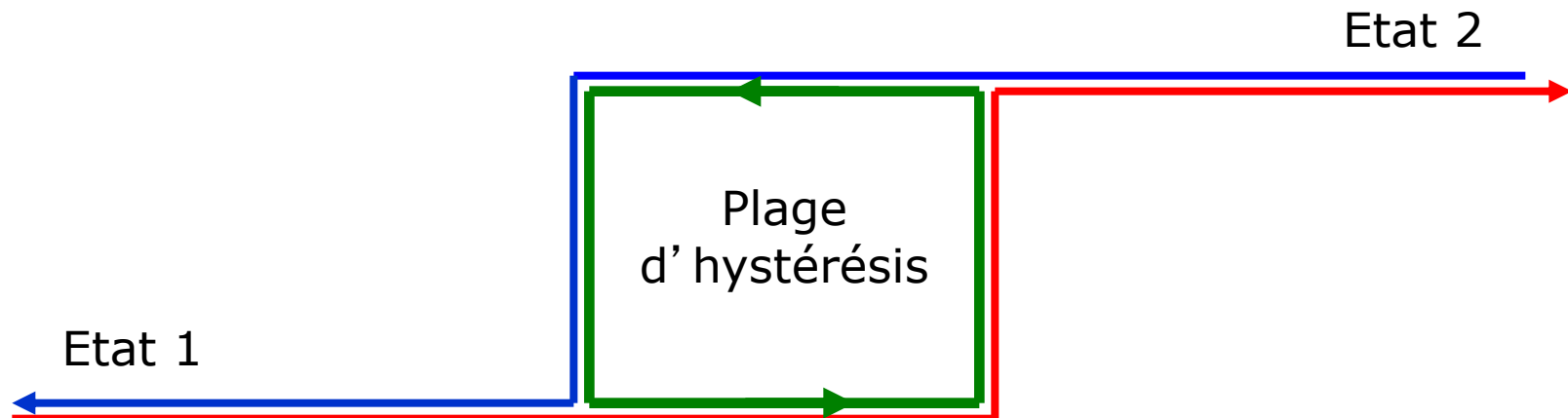


Variabilité de la durée du pas, en fonction de la vitesse de déplacement, lors d'un protocole d'incrémentation progressive de la vitesse. Une transition marche-course apparaît entre 7.6 et 7.8 km/h (Brisswalter & Mottet, 1996) 197

# Les transitions de phase

Les transitions de phase présentent des **propriétés non-linéaires essentielles**:

La propriété d'**hystérèse** suppose que la transition n'a pas lieu à la même valeur du paramètre de contrôle, selon le sens d'évolution de ce paramètre.



# La non-linéarité

La non-linéarité désigne une **disproportion entre les causes et les conséquences, dans un système complexe**

La transition de phase est non-linéaire, car elle représente un bouleversement complet de l'état du système, déterminé par une évolution anodine du paramètre de contrôle

Exemple... « l'effet papillon »

## 2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente

### 2.1. Théories prescriptives et théories dynamiques

### 2.2. Complexité et auto-organisation

### 2.3. L'approche dynamique des coordinations motrices





Scott Kelso

### Coordination “en phase”



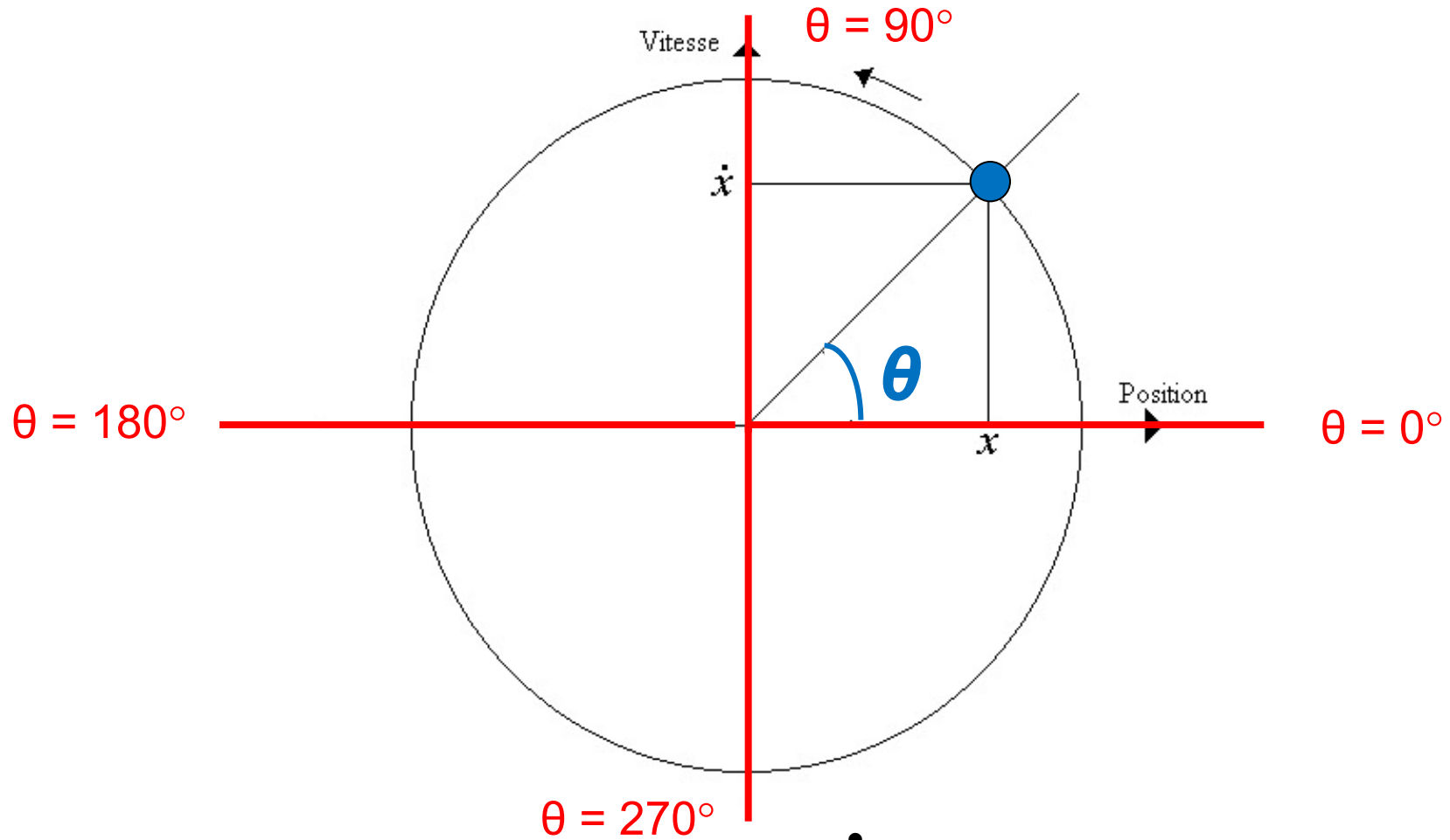
### Coordination “en antiphase”



La tâche de coordination bimanuelle  
utilisée par Kelso, Holt, Rubin et Kugler (1981)

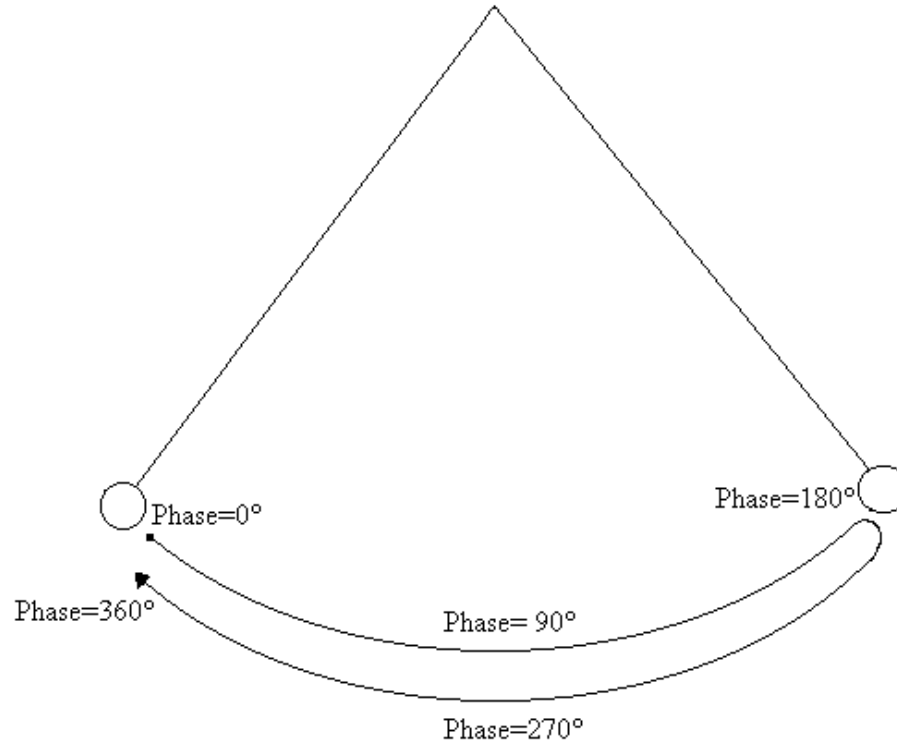
Oscillateurs, phase d'un oscillateur...???

# Le calcul de la phase d'un oscillateur

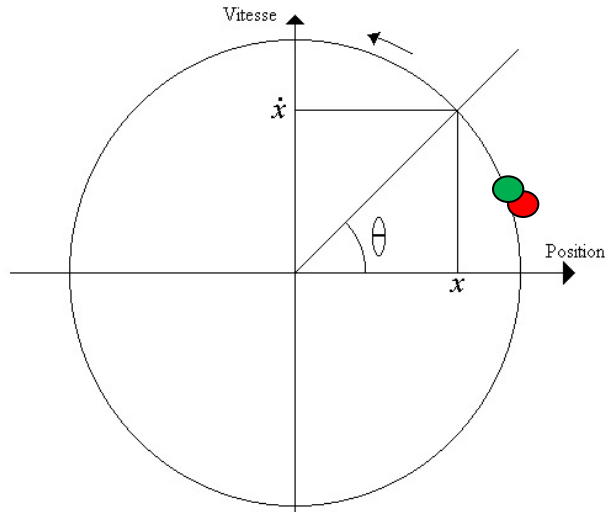


$$\theta = \arctg\left(\frac{\dot{x}}{x}\right)$$

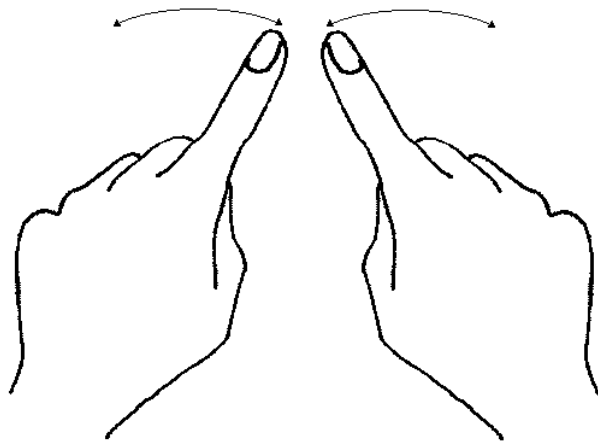
# Les phases typiques d'un pendule pesant



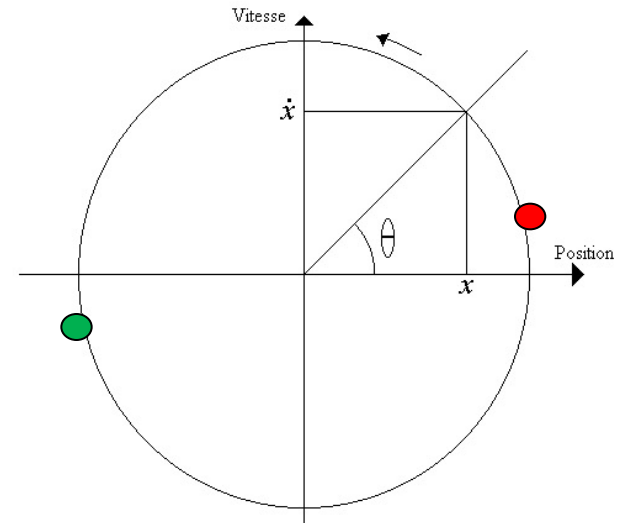
## 2.3. L'approche dynamique des coordinations motrices



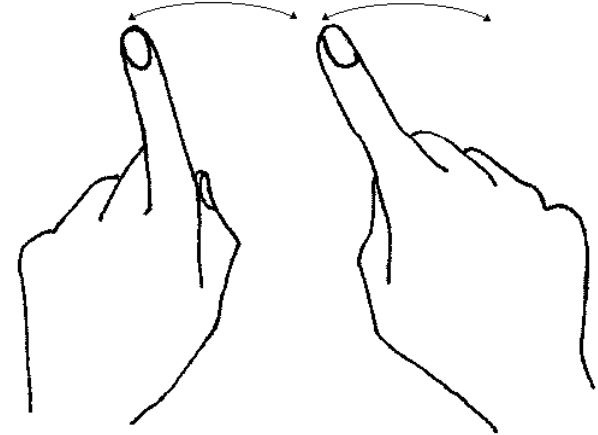
Phase relative =  $0^\circ$   
(ou décalage de phase)



Coordination  
en phase



Phase relative =  $180^\circ$   
(ou décalage de phase)



Coordination  
en anti-phase



Coordination  
en phase



Coordination  
en anti-phase

Certains modes de coordination émergent spontanément

- Même fréquence (1:1)
- synchronisation des points de revirement

La coordination en phase est plus stable que la  
coordination en anti-phase



Coordination  
en phase

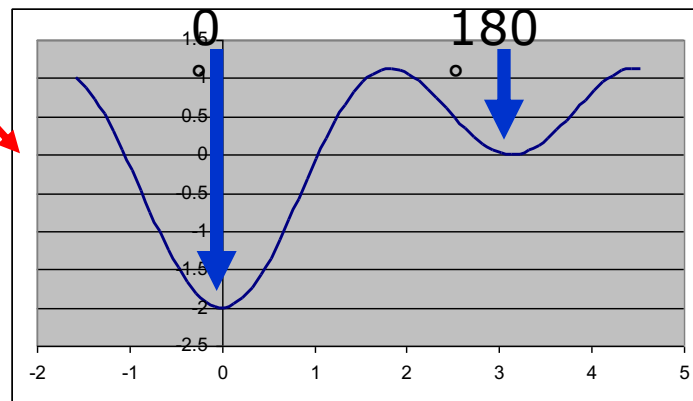
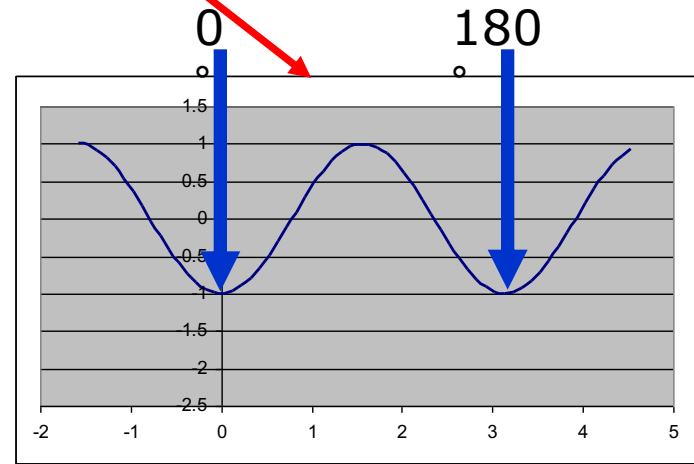
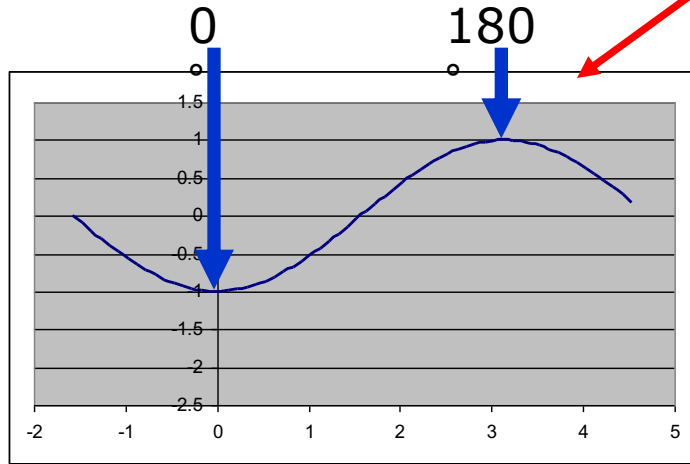


Coordination  
en anti-phase

Dans une tâche donnée, le comportement semble spontanément attiré vers certains modes de coordination préférés, que l'on appelle « **attracteurs** »

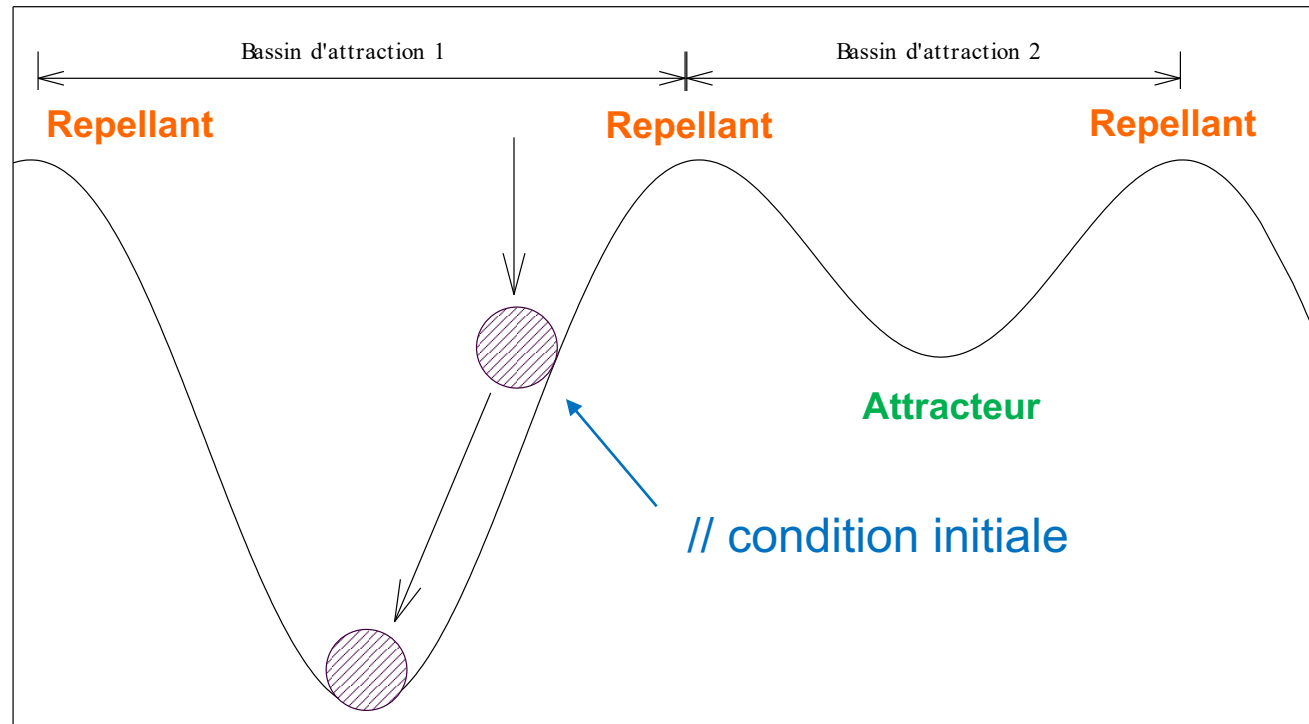
Haken, Kelso et Bunz (1985) proposent de modéliser la tâche de coordination bimanuelle sous la forme d'une **fonction potentiel**, décrivant les zones de stabilité du système:

$$V(\varphi) = -a\cos\varphi - b\cos 2\varphi$$



## La fonction potentiel

$$V(\varphi) = -a\cos\varphi - b\cos 2\varphi$$



Il y a 2 attracteurs dans la tâche de coordination bimanuelle

L'attracteur en phase est plus stable que l'attracteur en antiphase

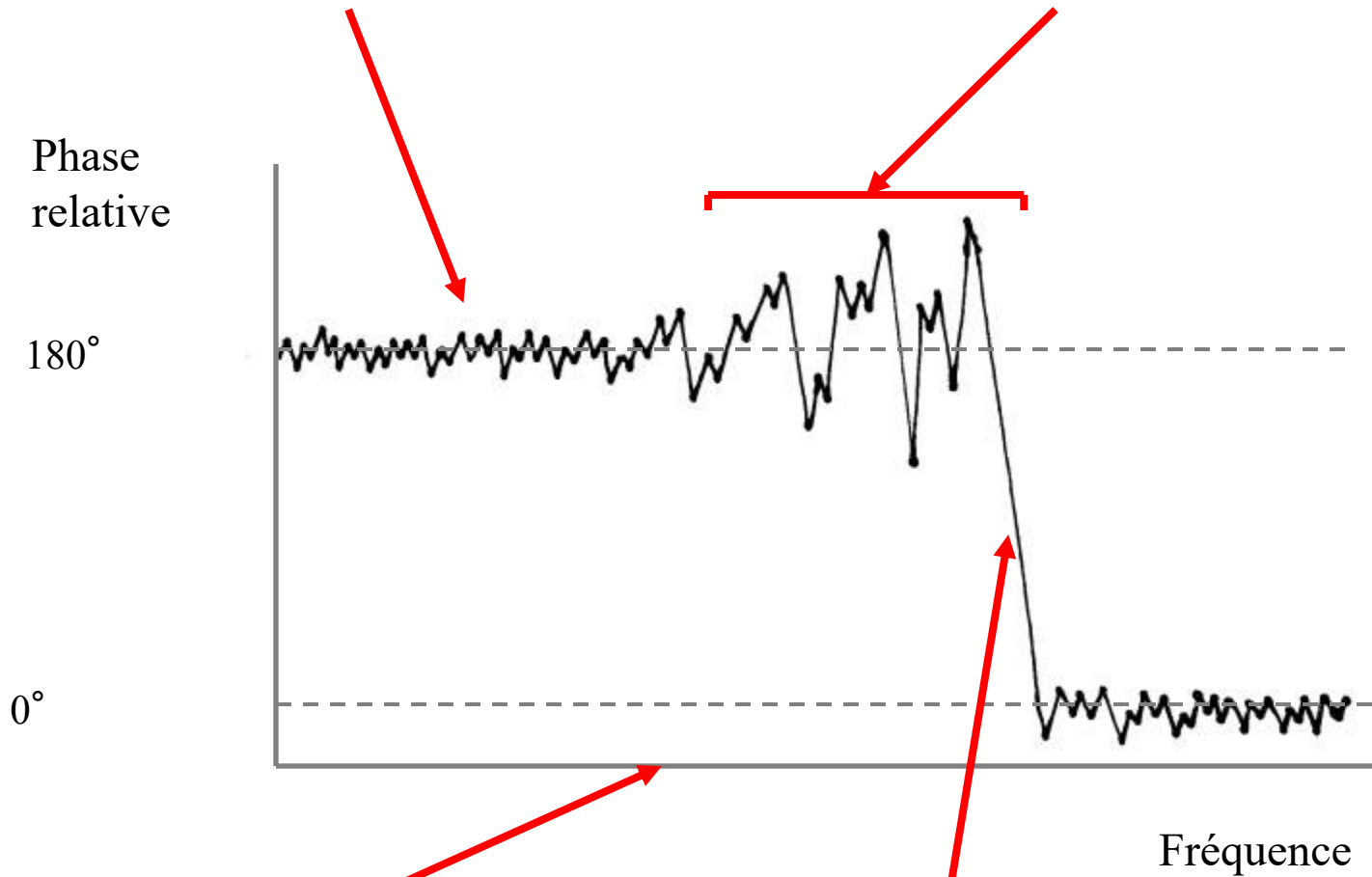
L'équation proposée rend simplement compte de ces deux comportements



# Les transitions de phase dans les coordinations bimanuelles

Préparation initiale en anti-phase

Fluctuations critiques

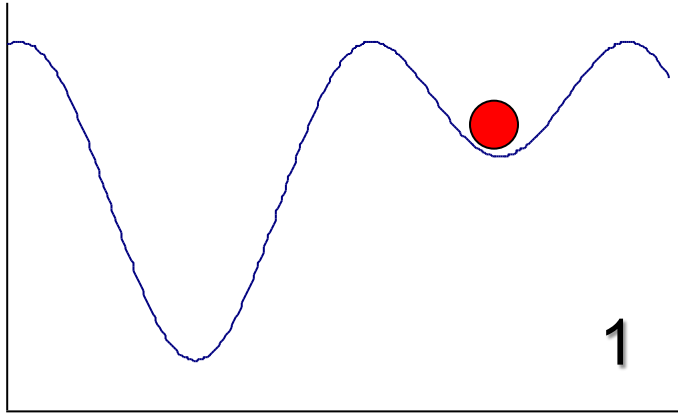


Accroissement de la fréquence

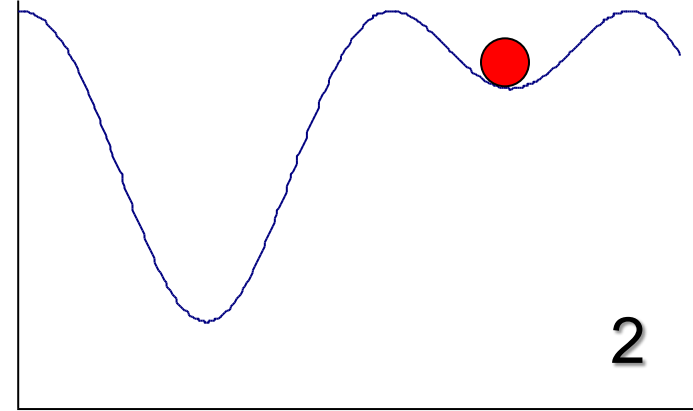
Transition de phase

$$V(\varphi) = -a\cos\varphi - b\cos 2\varphi$$

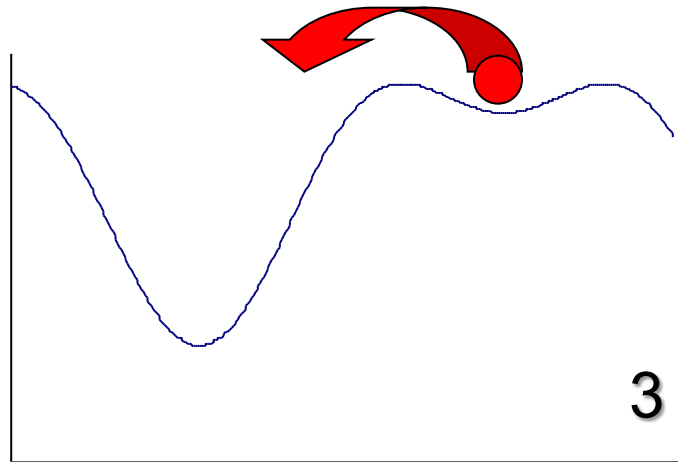
$b/a \rightarrow$  fréquence



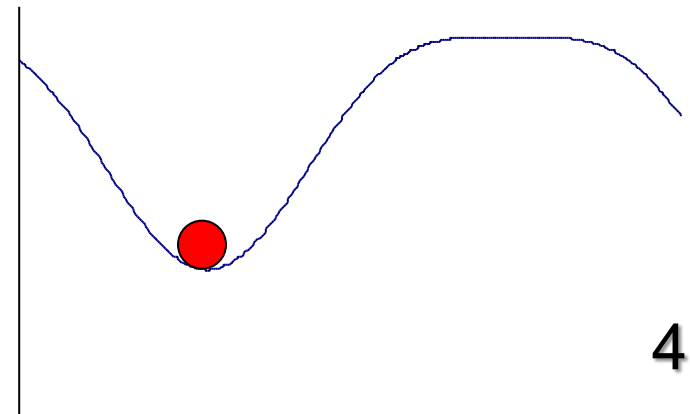
Décalage de phase



Décalage de phase



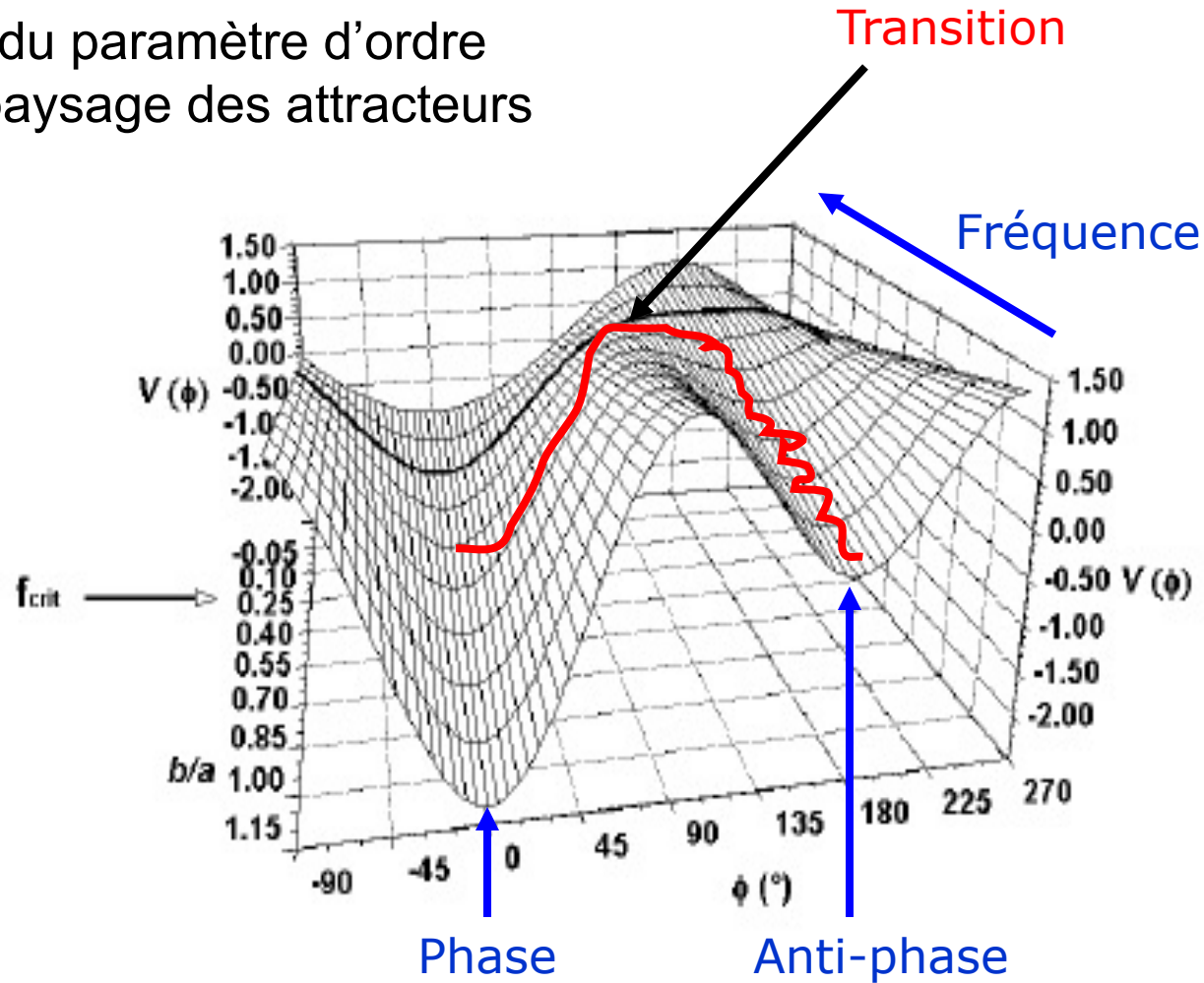
Décalage de phase



Décalage de phase

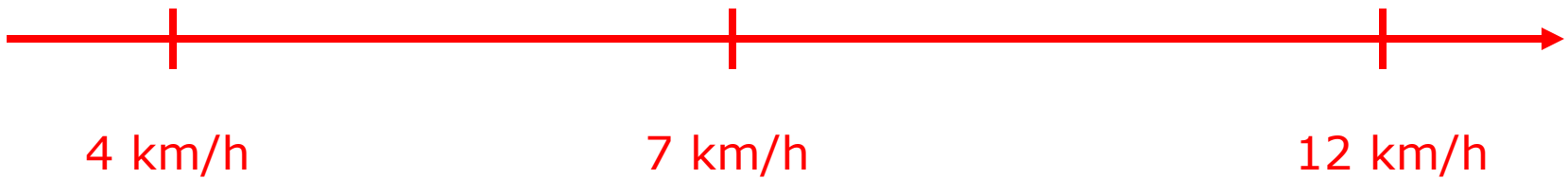
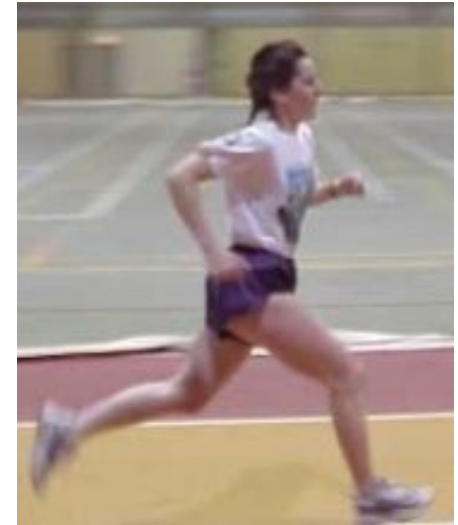
L'hypothèse:

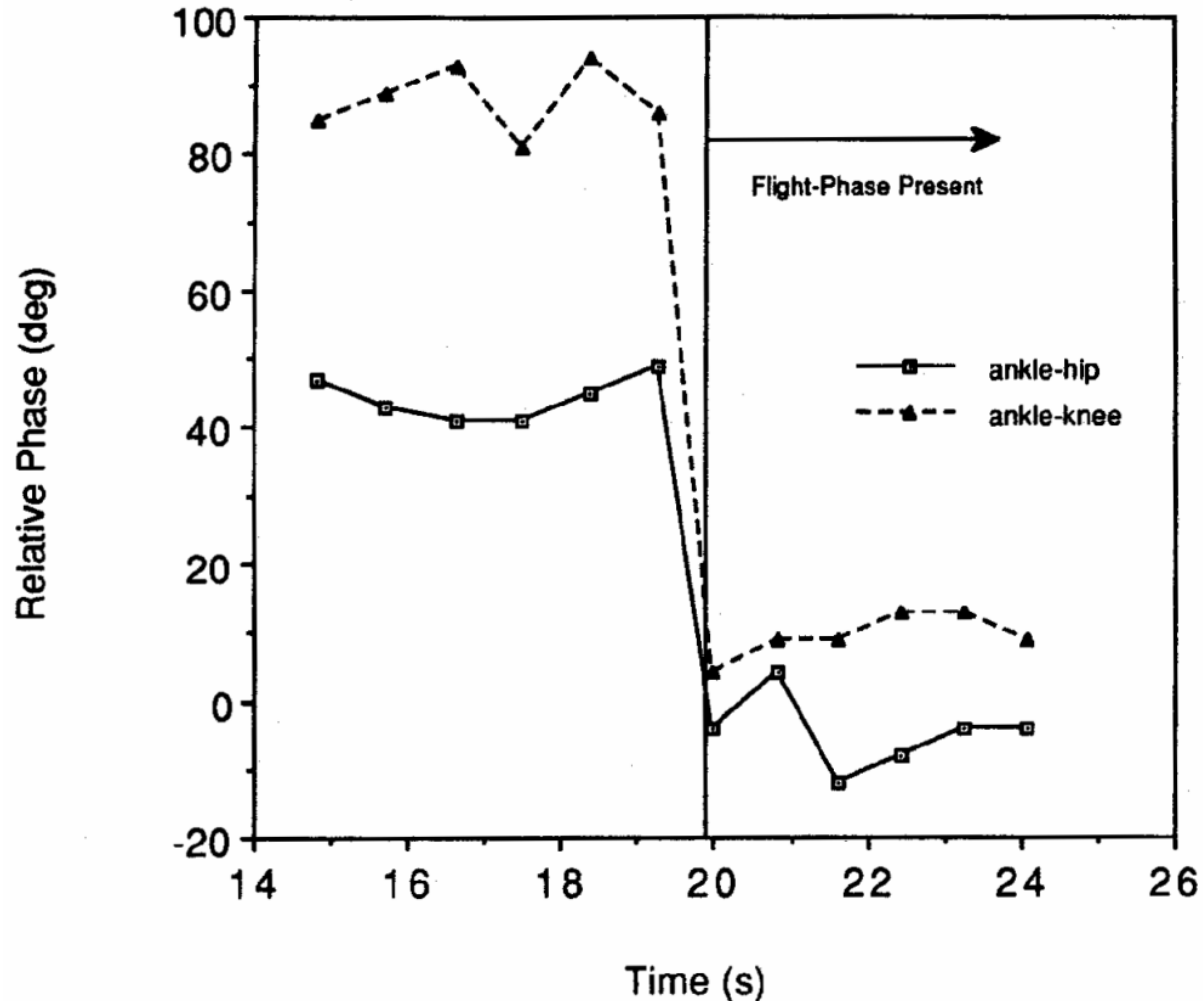
L'évolution du paramètre d'ordre modifie le paysage des attracteurs



$$V(\phi) = -a\cos\phi - b\cos 2\phi$$

# La transition marche-course





Evolution des phases relatives cheville-hanche et cheville-genou lors de la transition marche-course.  
(Diedrich & Warren, 1995)

# La transition marche-course

Marche



7,8 km/h

# La transition marche-course

Marche

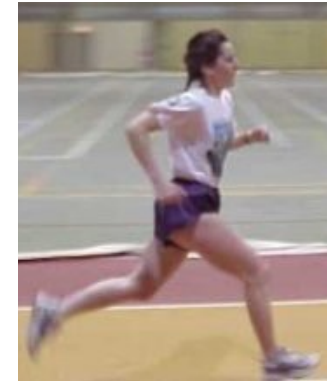


7,8 km/h



215

# La transition marche-course



Course

Marche

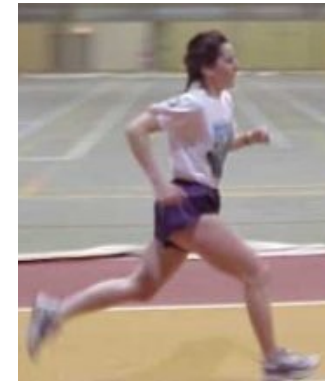


7,8 km/h



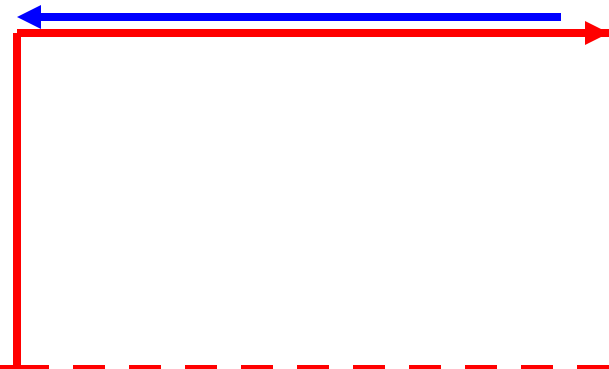


# La transition marche-course



Course

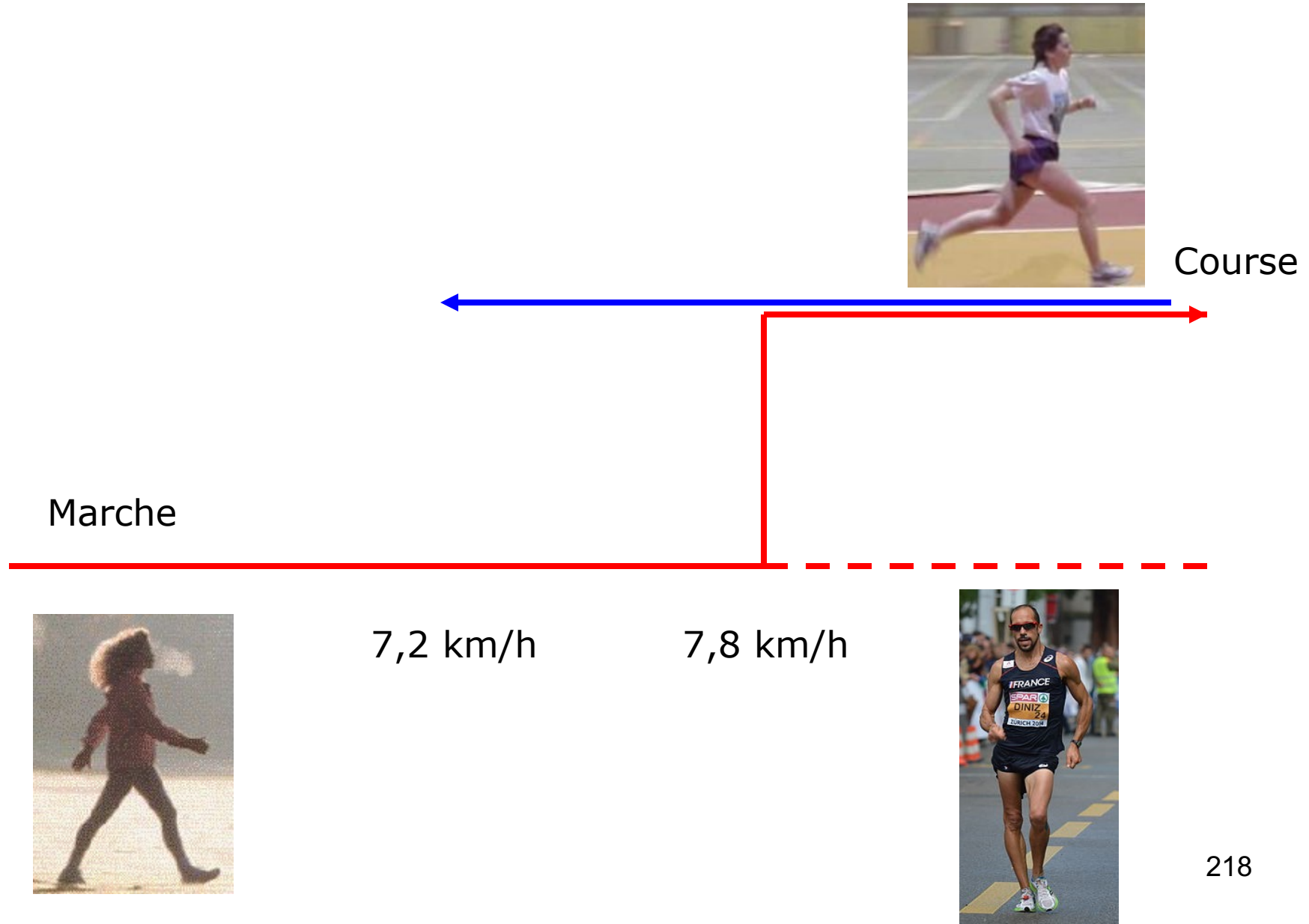
Marche



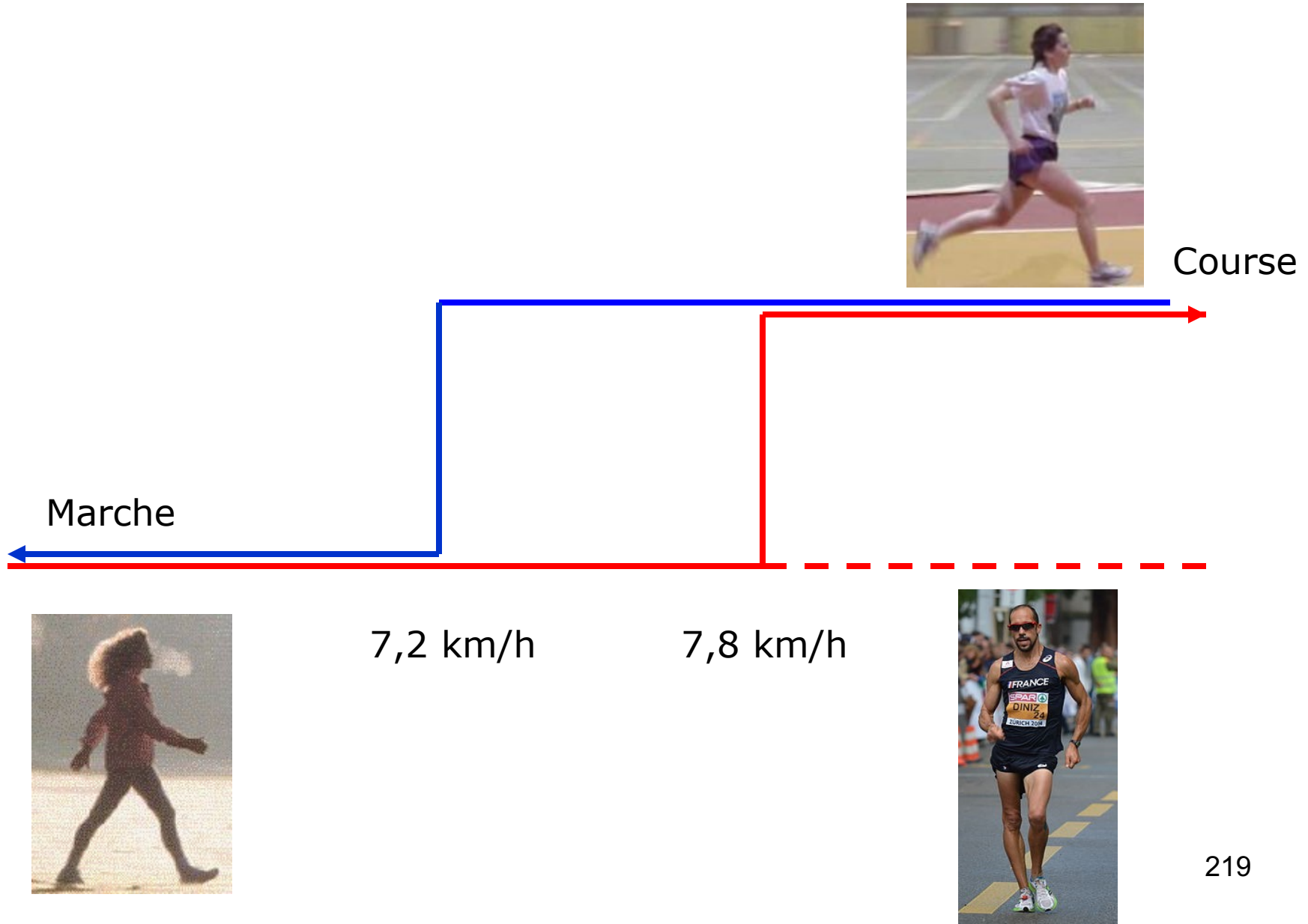
7,8 km/h



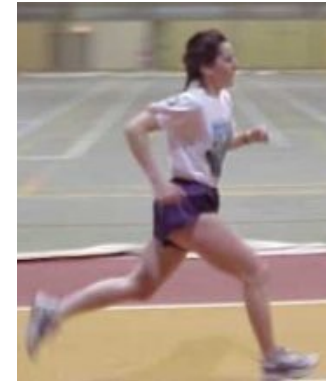
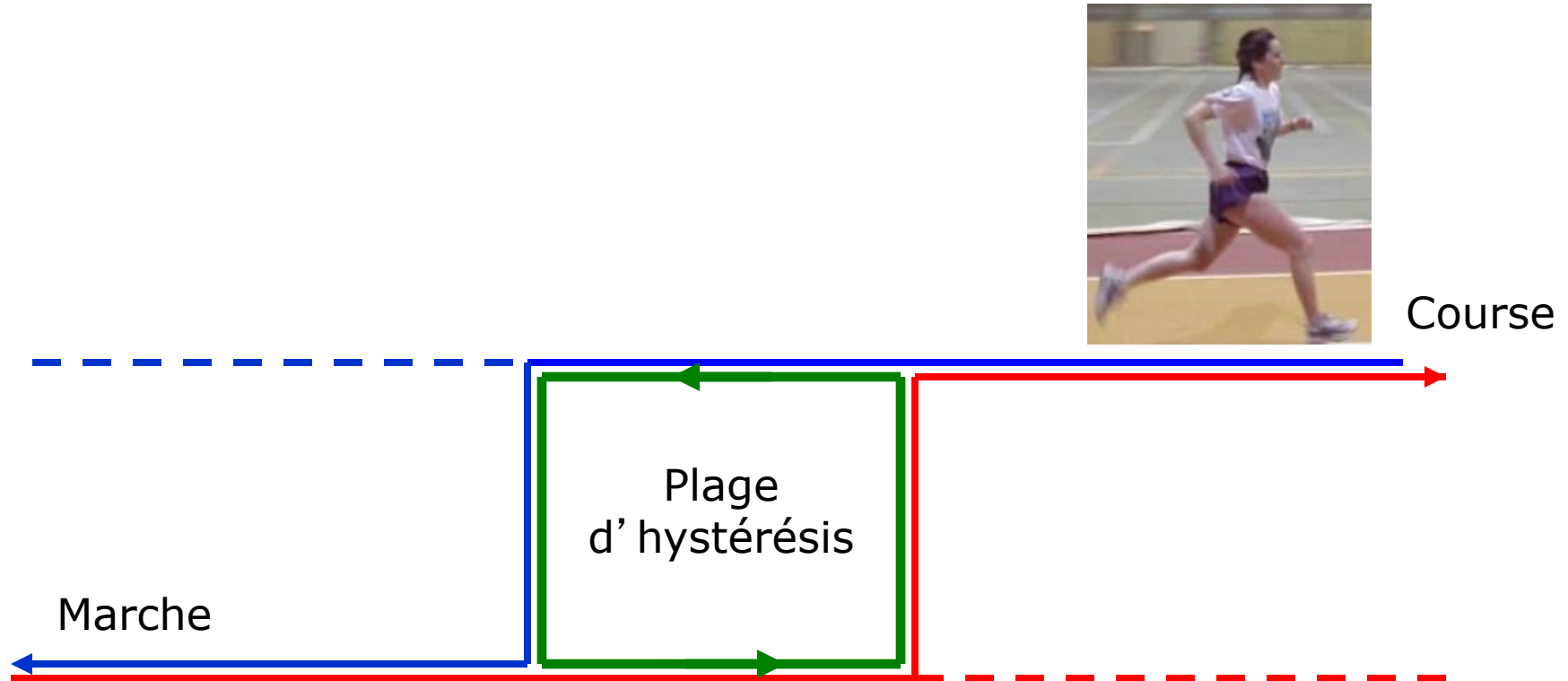
# La transition marche-course



# La transition marche-course



# La transition marche-course



Course

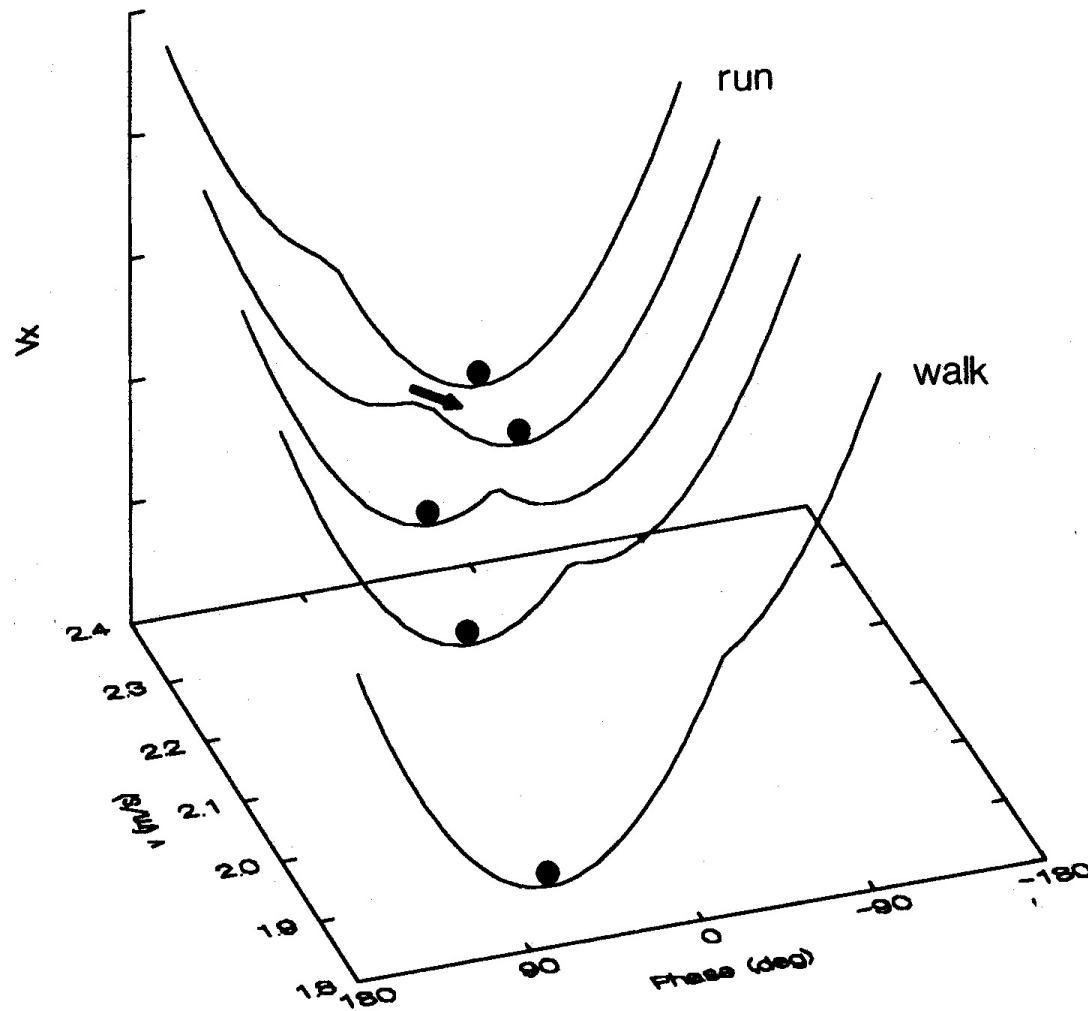


7,2 km/h

7,8 km/h

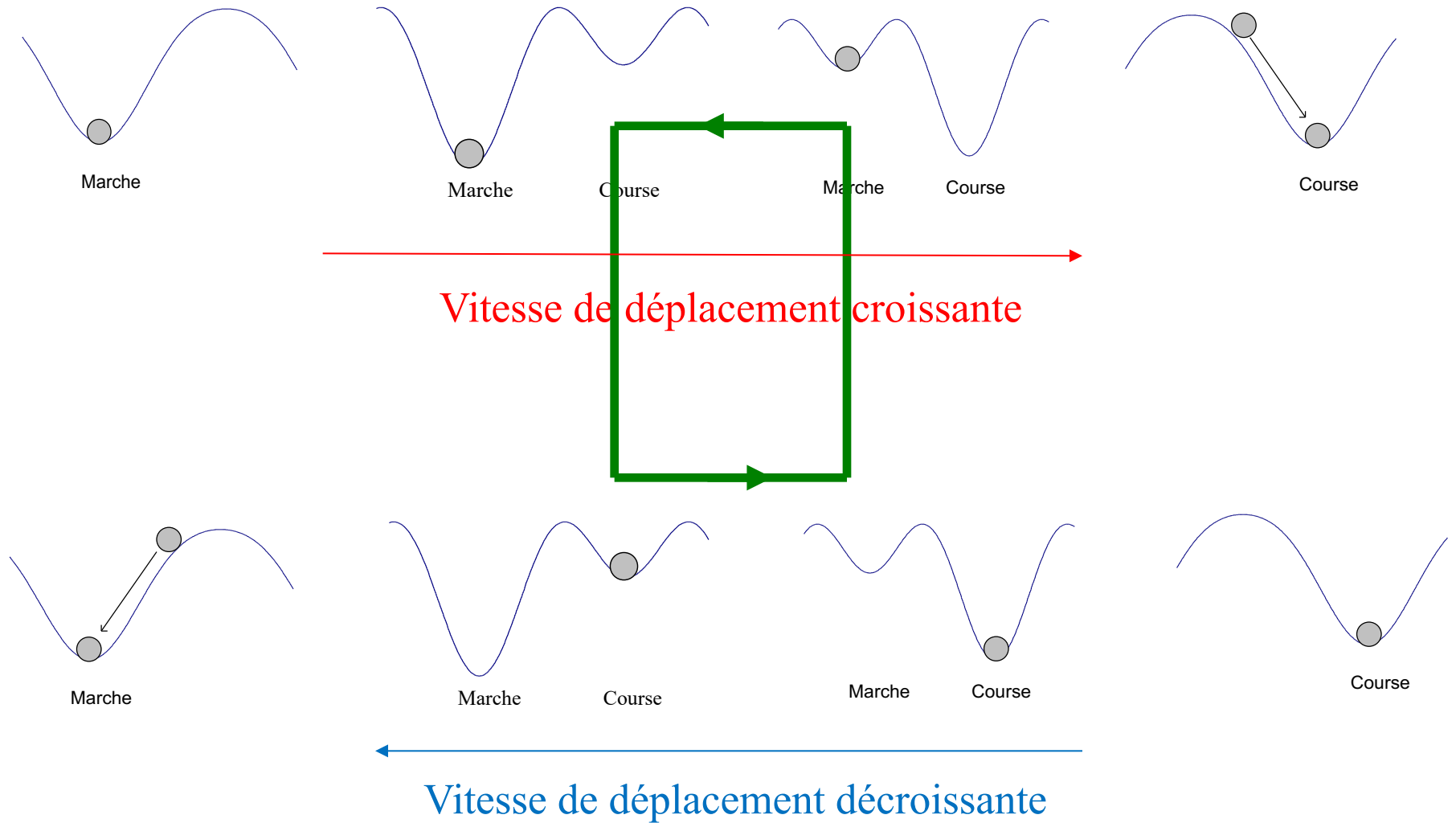


Comment s'expliquent la transition de phase marche-course et l'hystérèse?

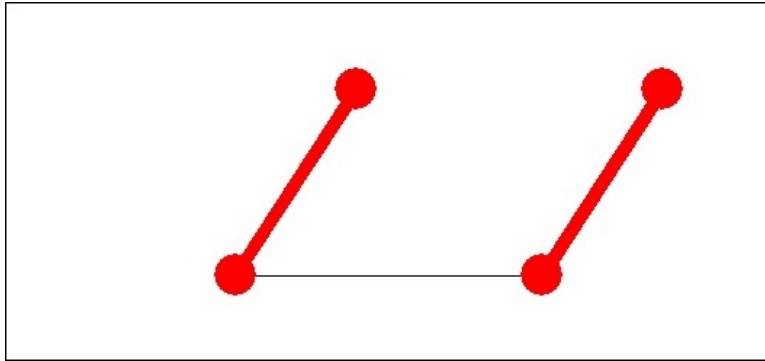


Modélisation de la transition marche-course  
(Diedrich & Warren, 1995)

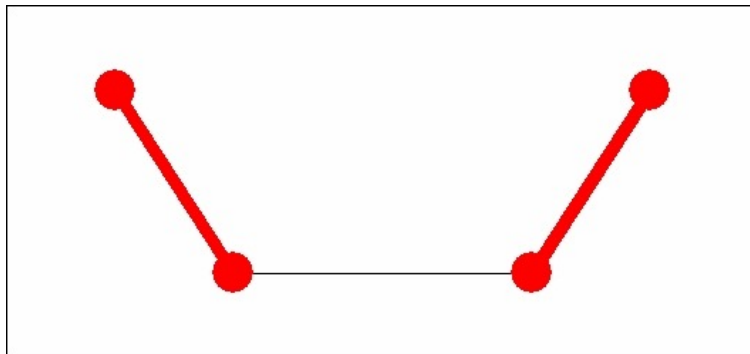
### 2.3. L'approche dynamique des coordinations motrices



## Coordination en anti-phase

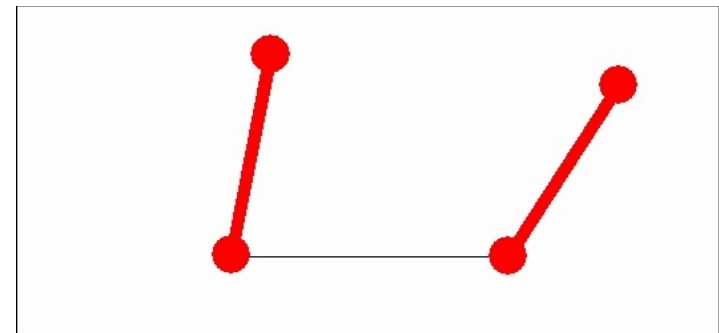


## Coordination en phase



D'autres modes de coordination sont plus difficiles à réaliser de manière stable

→ Apprentissage



Coordination à  $90^\circ$  de phase relative

# Plan du cours

## Introduction : définitions

1. Habileté et traitement de l'information
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficacité
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances



## 3. Les étapes de l'apprentissage moteur

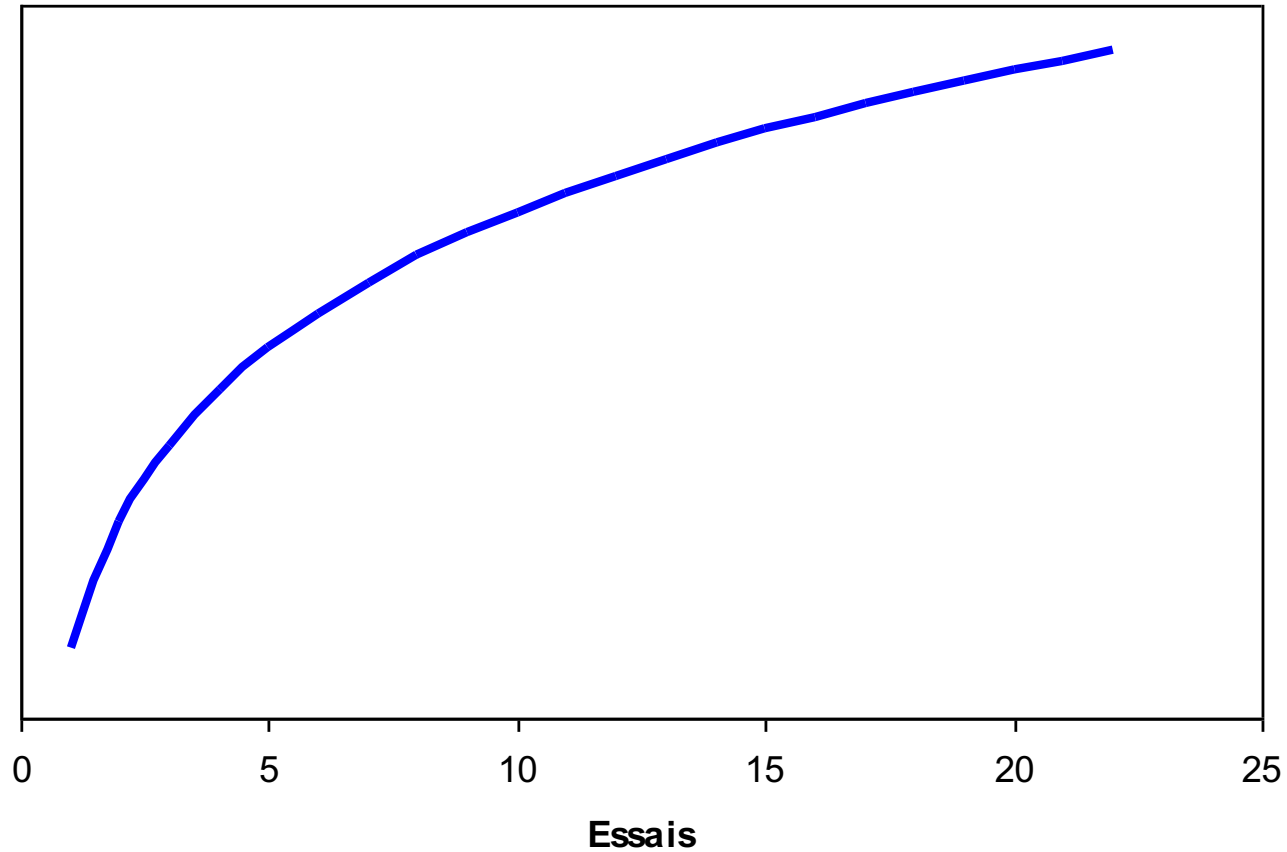
### 3.1. La mesure de l'apprentissage

3.2. Les théories cognitives: l'apprentissage comme affinement du programme moteur

3.3. Bernstein : l'apprentissage et la maîtrise des degrés de liberté

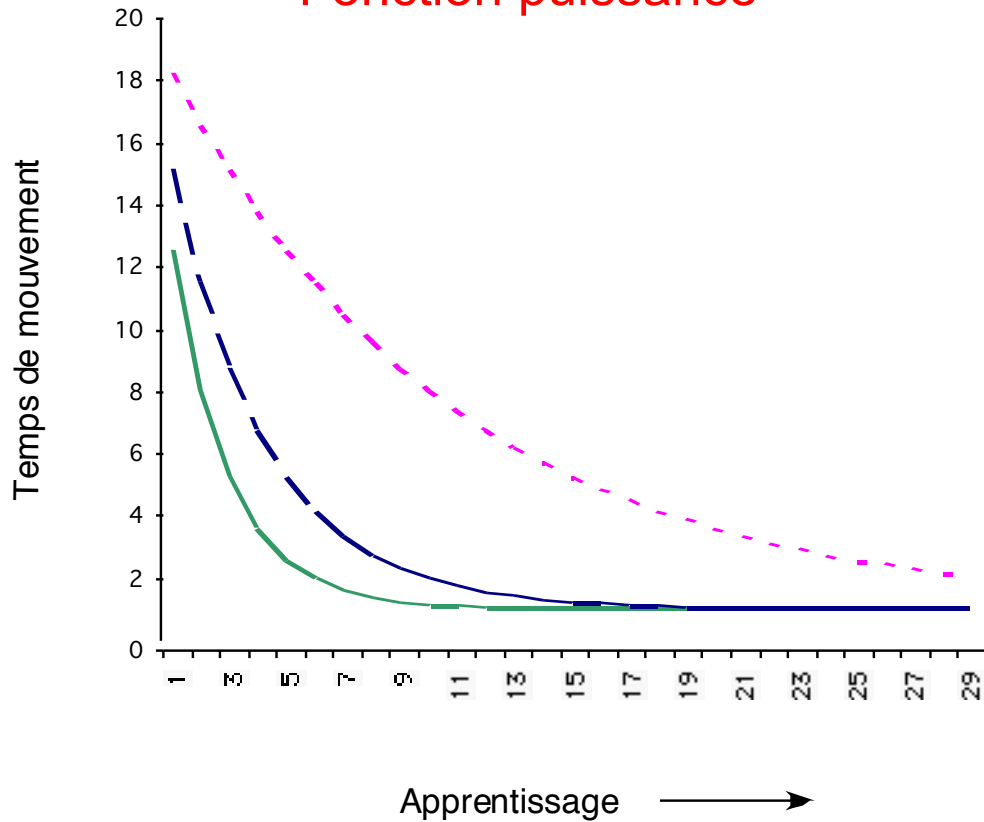
3.4. Newell : l'exploration de l'espace de travail perceptivo-moteur

3.5. La dynamique des coordinations



La mesure de l'apprentissage : les courbes de performance

Perf = Essais<sup>α</sup>  
Fonction puissance



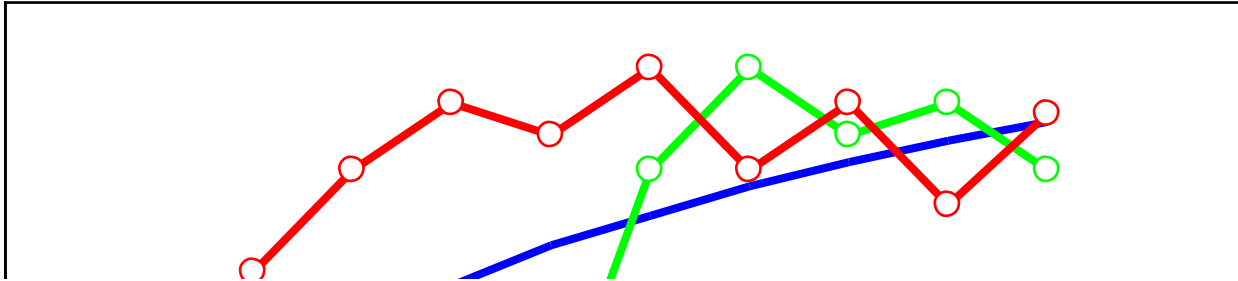
→ L'apprentissage est continu

→ Mais pas régulier: progrès plus rapides en début qu'en fin d'apprentissage

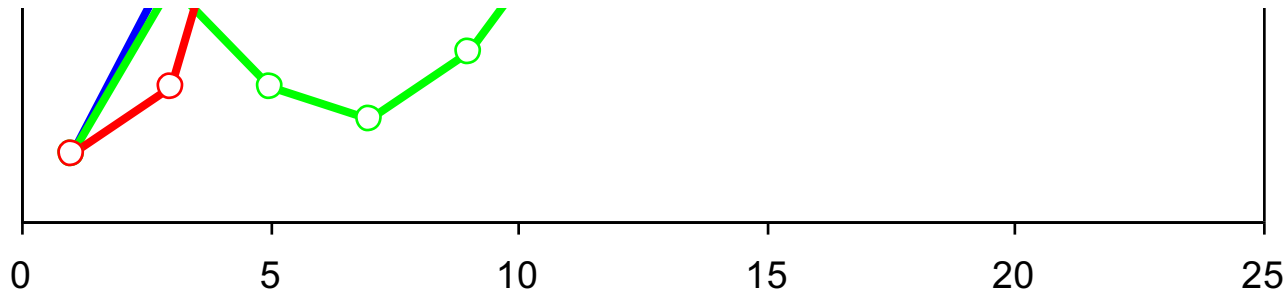
→ Notion fondamentale de répétition



Perf = Essais<sup>α</sup>  
Fonction puissance

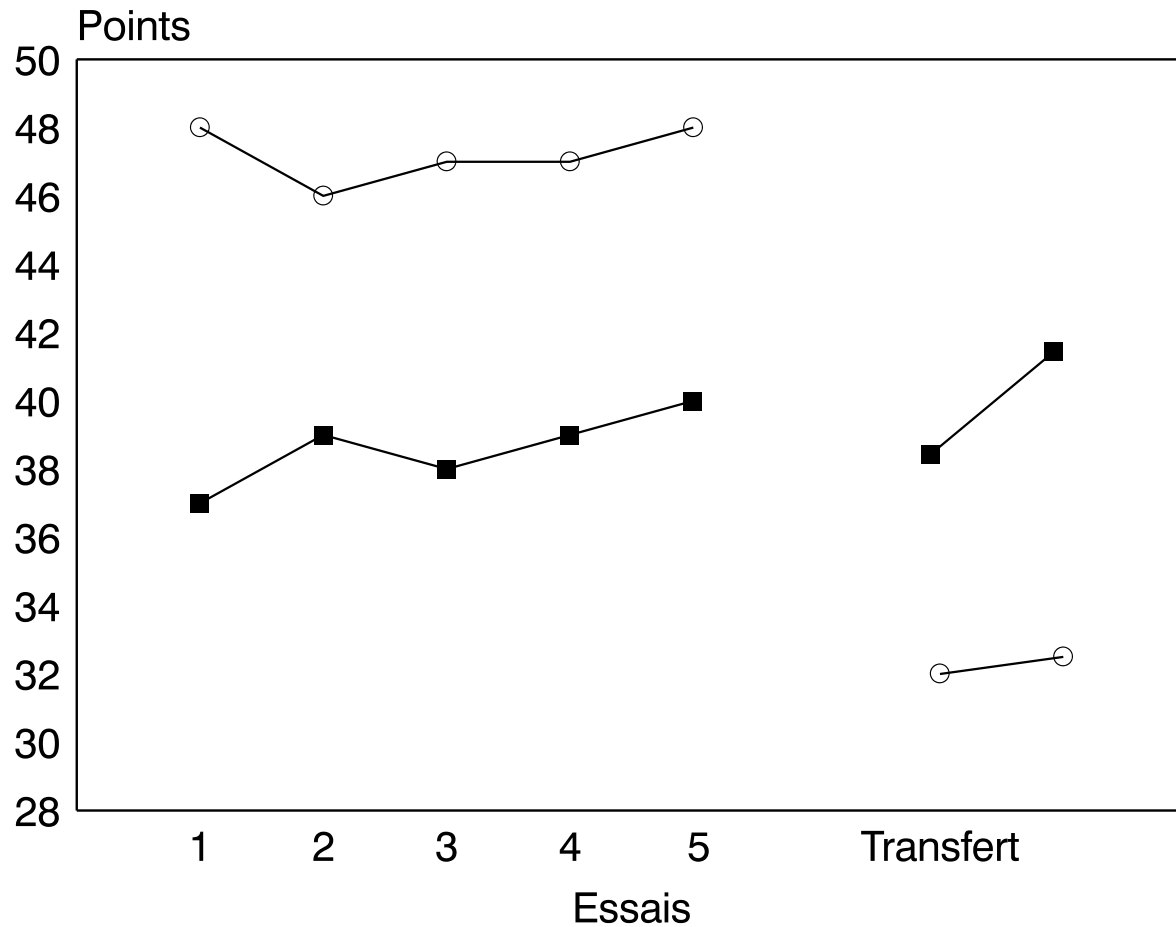


→ Alors comment mesurer l'apprentissage??

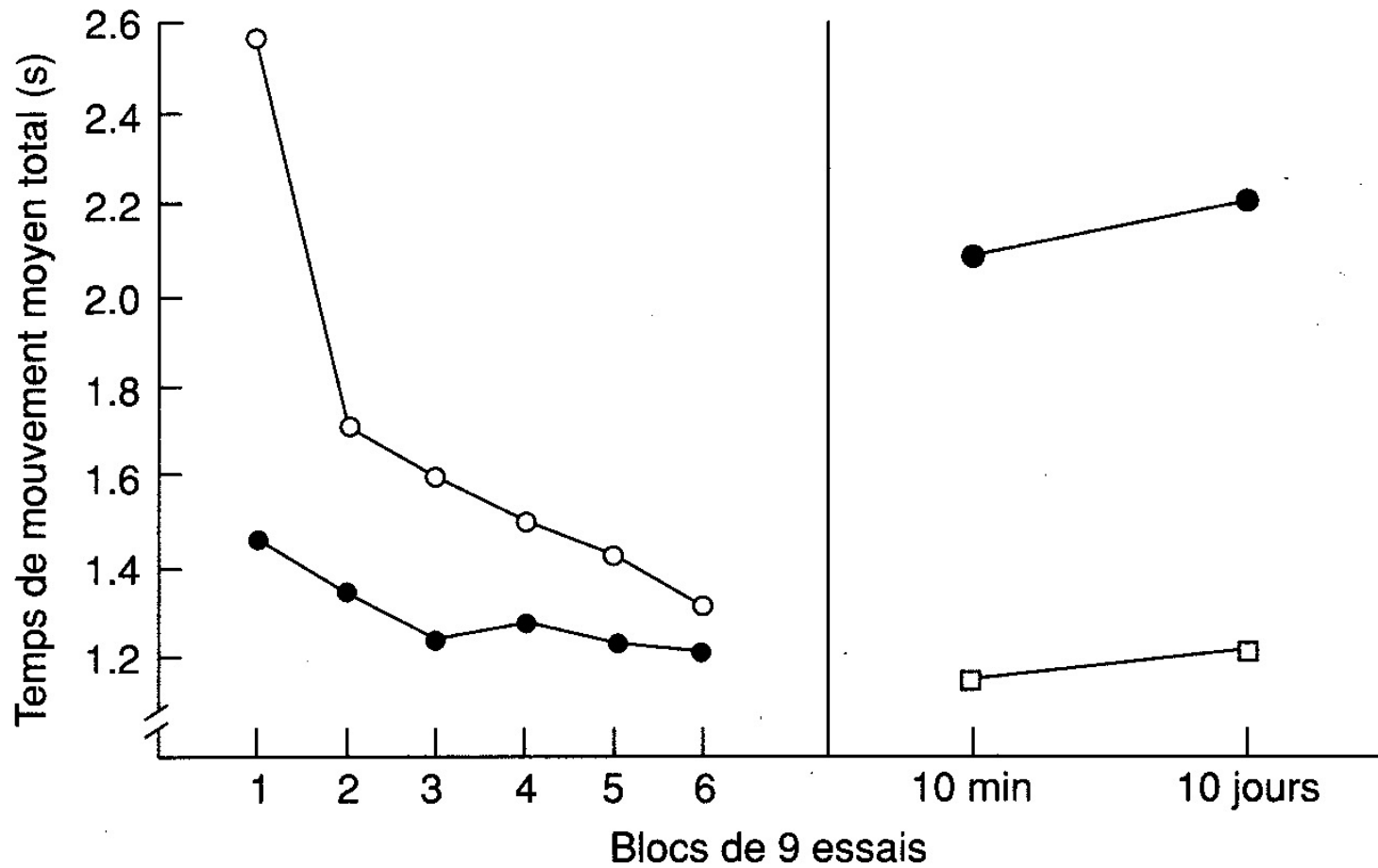


Loi Puissance:

- obtenue dans tâche de labo très simples
- obtenue en moyennant courbes individuelles
- marque une augmentation de perf., mais pas nécessairement un réel apprentissage



La mesure de l'apprentissage : les **tests de transfert**



La mesure de l'apprentissage: les **tests de rétention**

## 3. Les étapes de l'apprentissage moteur

3.1. La mesure de l'apprentissage

3.2. Les théories cognitives: l'apprentissage comme affinement du programme moteur

3.3. Bernstein : l'apprentissage et la maîtrise des degrés de liberté

3.4. Newell : l'exploration de l'espace de travail perceptivo-moteur

3.5. La dynamique des coordinations



# Le modèle de Fitts (1964)

## 1. Stade cognitif

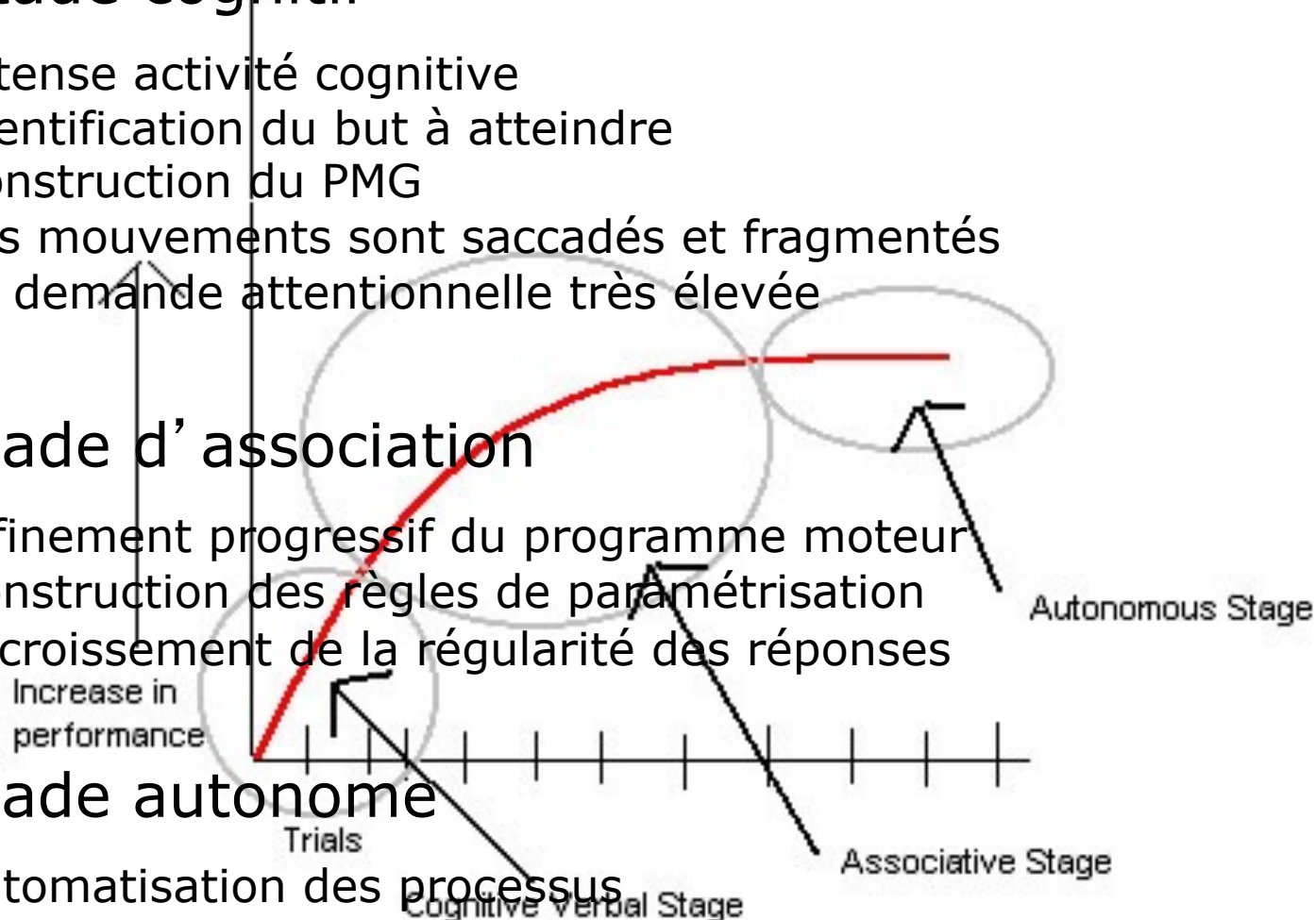
Intense activité cognitive  
 Identification du but à atteindre  
 Construction du PMG  
 Les mouvements sont saccadés et fragmentés  
 La demande attentionnelle très élevée

## 2. Stade d'association

Affinement progressif du programme moteur  
 Construction des règles de paramétrisation  
 Accroissement de la régularité des réponses

## 3. Stade autonome

Automatisation des processus  
 Plus aucun contrôle attentionnel



### 3. Les étapes de l'apprentissage moteur

3.1. La mesure de l'apprentissage

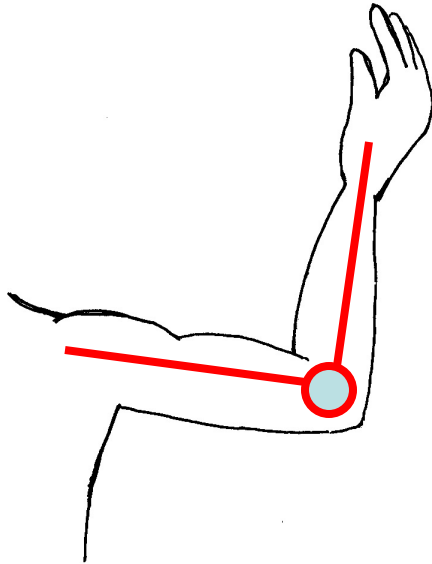
3.2. Les théories cognitives: l'apprentissage comme affinement du programme moteur

3.3. Berstein : l'apprentissage et la maîtrise des degrés de liberté

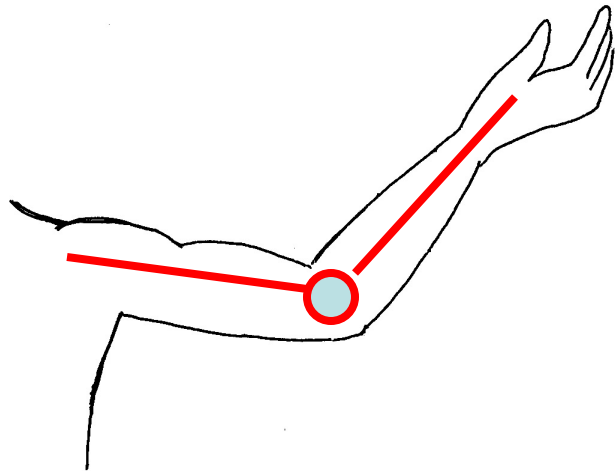
3.4. Newell : l'exploration de l'espace de travail perceptivo-moteur

3.5. La dynamique des coordinations

Degré de liberté: paramètre libre pour la spécification des propriétés d'un système



# Degré de liberté: paramètre libre pour la spécification des propriétés d'un système



1 seul ddl permet de définir le système



+++ ddl

## Hypothèses de Bernstein

Le problème du débutant est de **gérer la redondance de ses degrés de liberté**

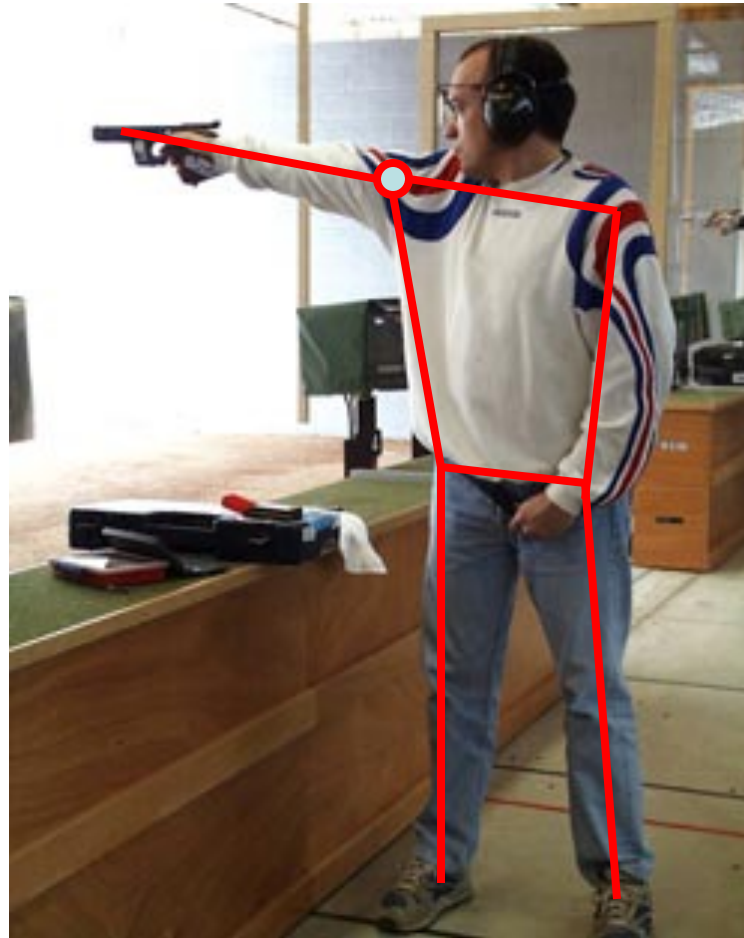
Hypothèses:

Dans un premier temps, **le débutant « gèle » la plupart des ddl**, et réalise la tâche avec les ddl résiduels

Dans un second temps, **le sujet libère les degrés de liberté**, et les intègre dans des « structures coordinatives »

## Analyse de la variabilité des positions articulaires dans le tir au pistolet

Débutants

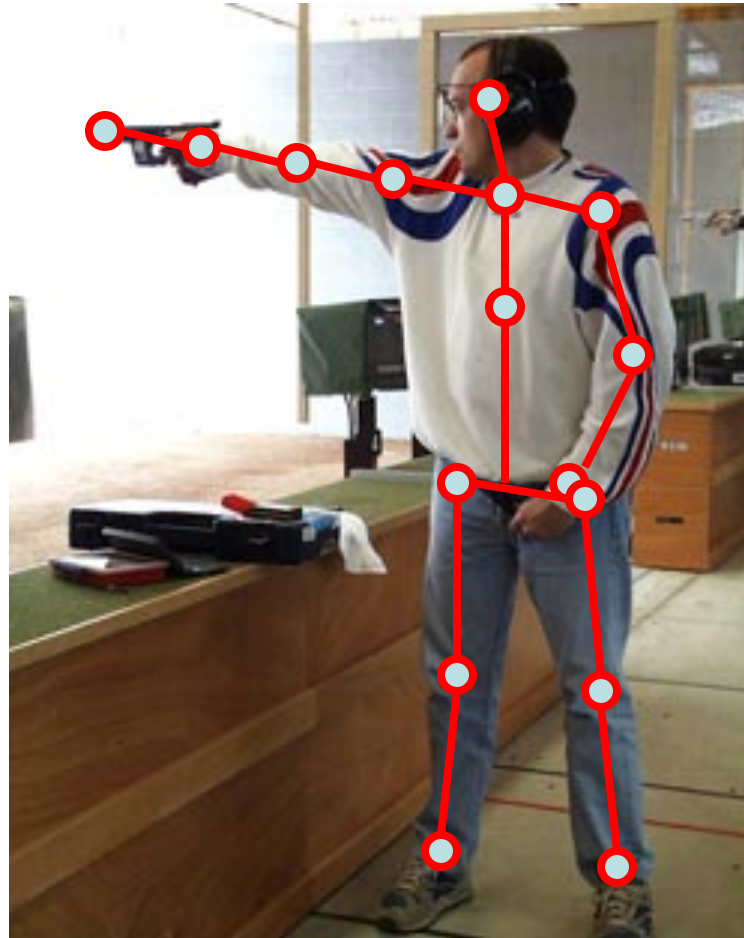


Gel de tous les ddl  
sauf l'épaule

→ Simplification du  
contrôle

## Analyse de la variabilité des positions articulaires dans le tir au pistolet

Experts



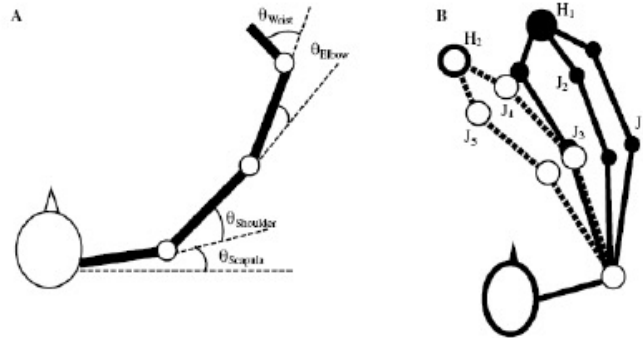
Tous les ddl sont libres

→ Coordination/  
synergie entre ddl

# Le problème de la redondance

N. Bernstein (1967), *The co-ordination and régulation of movements*

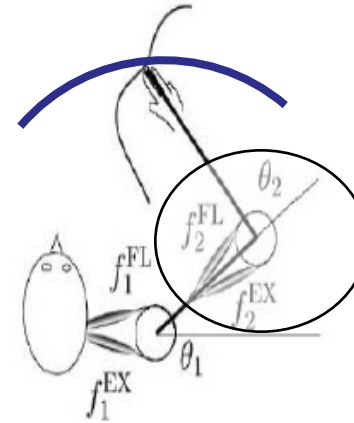
## Redondance



Plusieurs solutions, réduire la dimension du problème

## Rigidité articulaire: co-contraction

Gel des ddl  
→



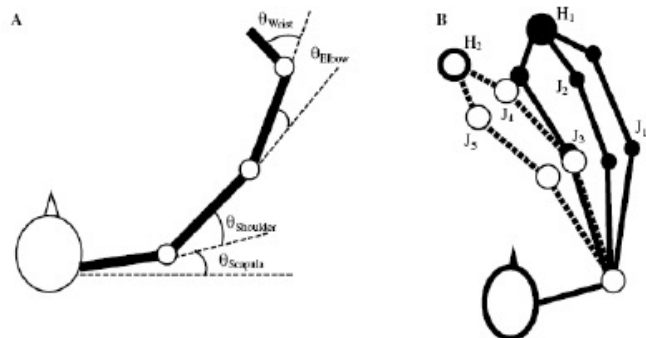
Immobilisation des articulations en augmentant la raideur



# Le problème de la redondance

N. Bernstein (1967), *The co-ordination and régulation of movements*

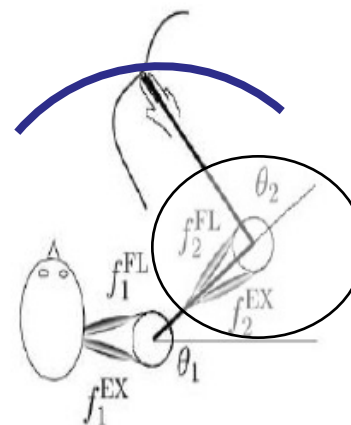
## Redondance



Plusieurs solutions, réduire la dimension du problème

## Rigidité articulaire: co-contraction

Gel des ddl



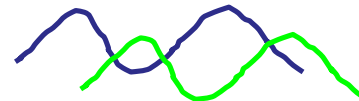
Immobilisation des articulations en augmentant la raideur

Dégel des ddl

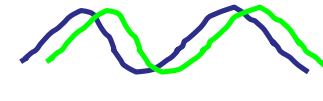
Structures coordinatives/  
synergies articulaires



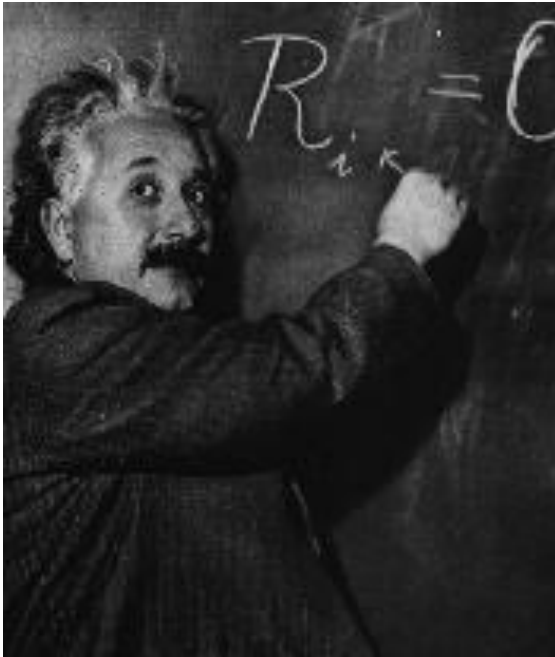
Phase



Anti-phase



Déphasage



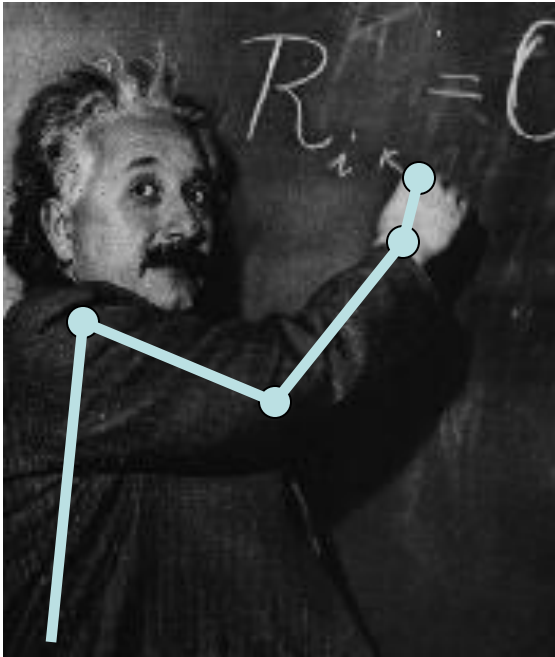
Newell & van Emmerik (1989)

Signature au tableau noir,  
réalisée avec la **main dominante**  
ou avec la **main non dominante**

Analyse des corrélations entre les déplacements verticaux:

- du stylo et du poignet,
- du poignet et du coude,
- du coude et de l'épaule

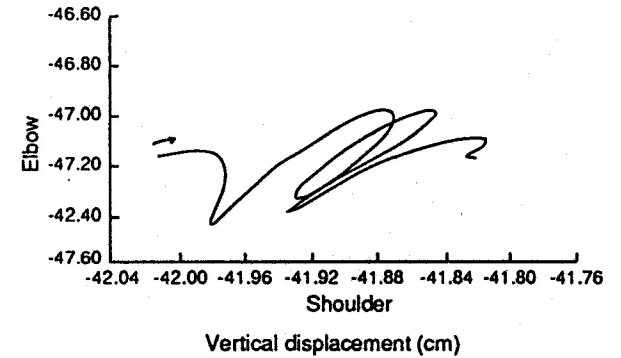
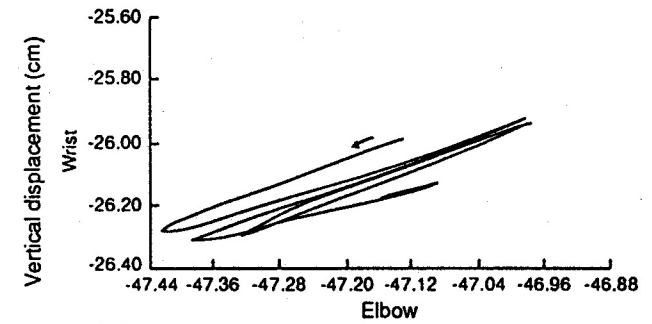
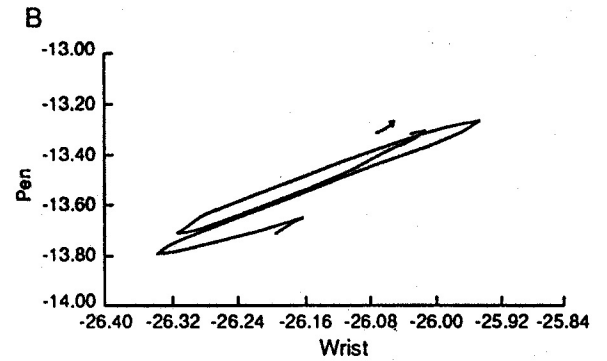
### 3.3. La maîtrise des degrés de liberté



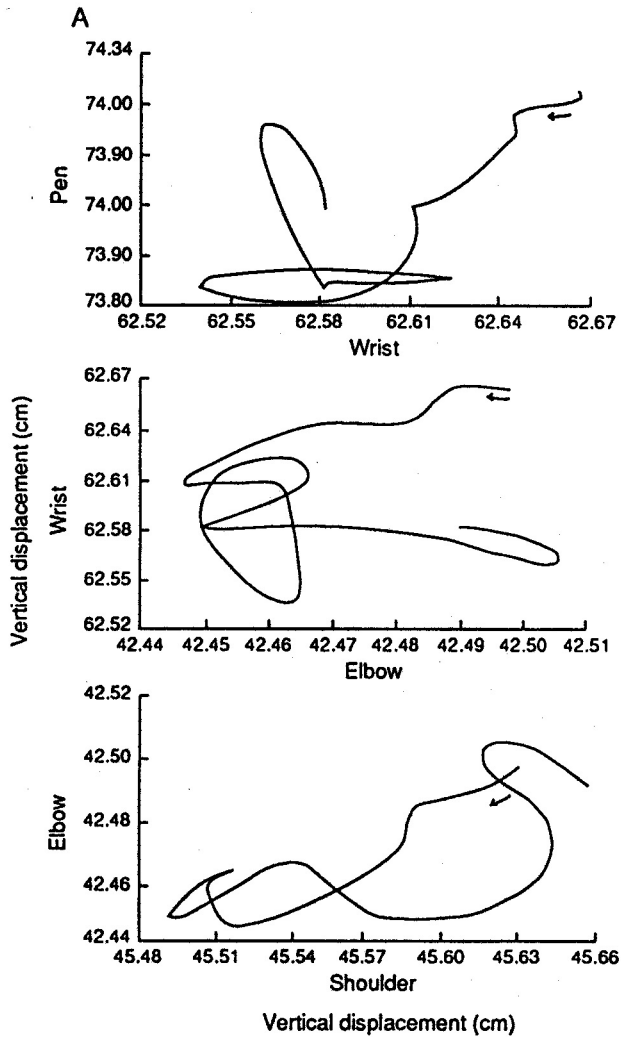
Stylo/poignet

Poignet/coude

Coude/épaule



### 3.3. La maîtrise des degrés de liberté

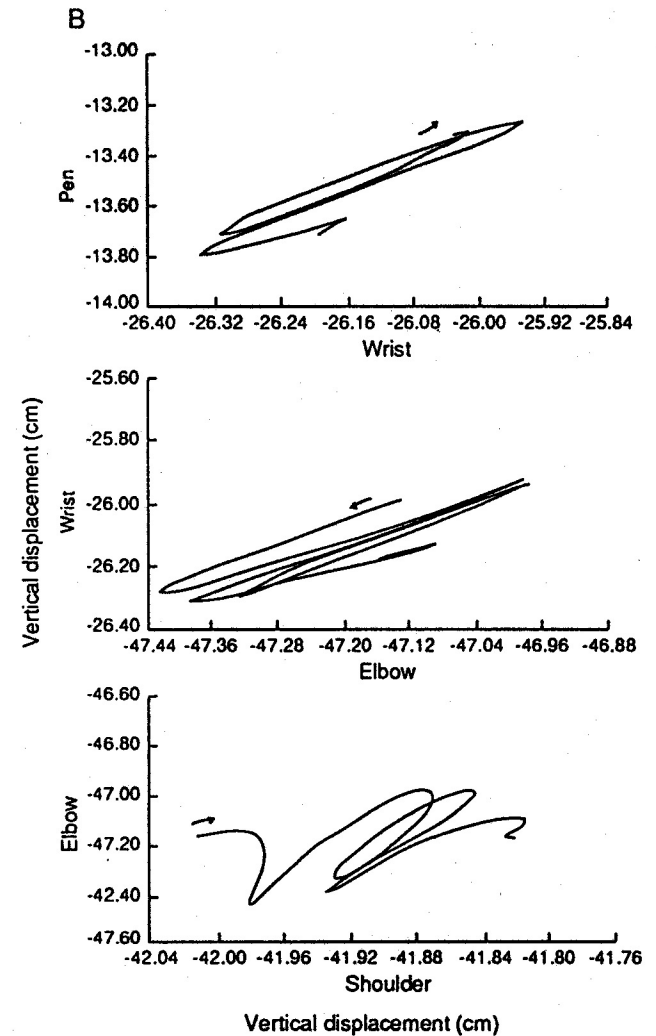


Stylo/poignet

Poignet/coude

Coude/épaule

Main dominante

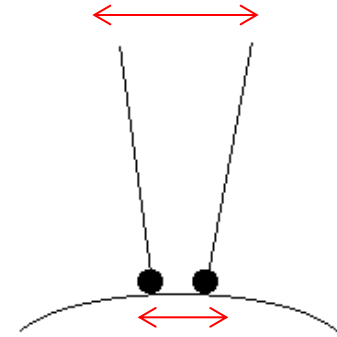


Main non dominante

### 3.3. La maîtrise des degrés de liberté

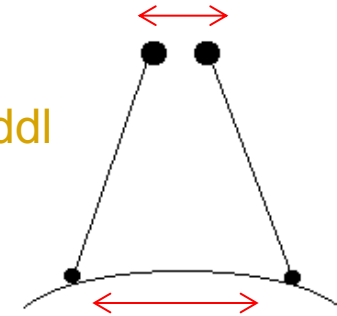
A

Gel de tous ddl



B

Libération de 1 ddl  
(cheville)



#### Simulateur de ski:

Modélisation analogique du comportement  
de sujets débutants (haut), débrouillés  
(milieu), et experts (bas)  
D'après Vereijken (1991).



En résumé:

1. Gel des ddl pour faciliter le contrôle

1. Dégel progressif des ddl avec ordination systématique des ddl libérés

### 3. Les étapes de l'apprentissage moteur

3.1. La mesure de l'apprentissage

3.2. Les théories cognitives: l'apprentissage comme affinement du programme moteur

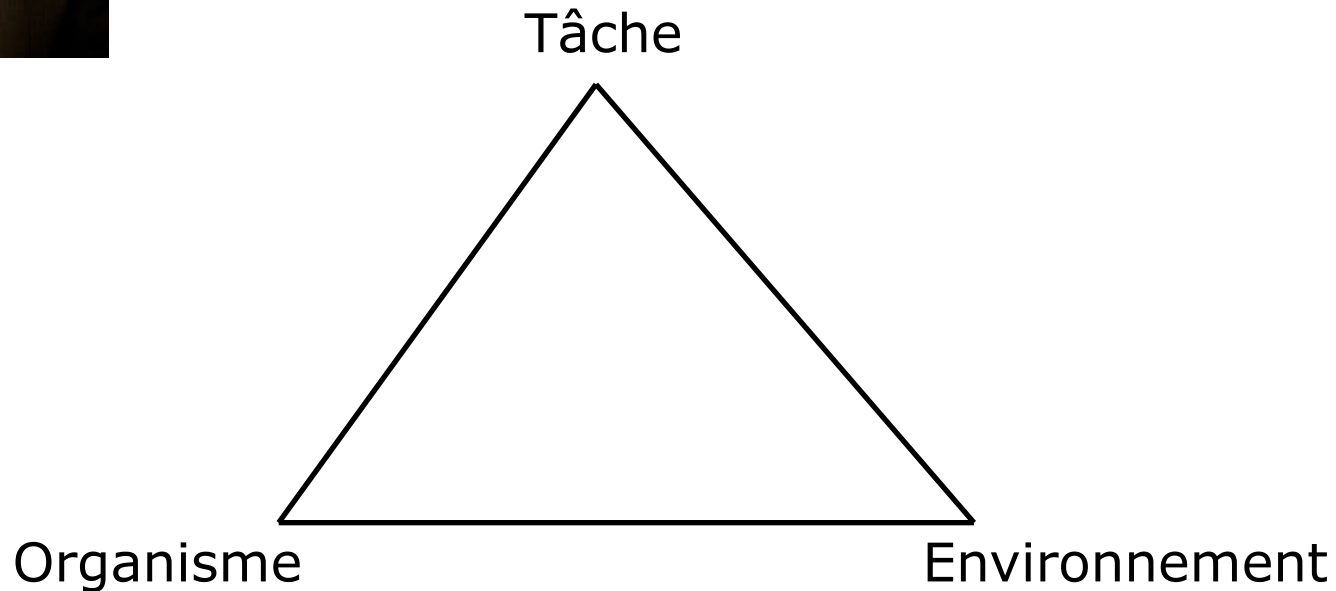
3.3. Bernstein : l'apprentissage et la maîtrise des degrés de liberté

3.4. Newell : l'exploration de l'espace de travail perceptivo-moteur

3.5. La dynamique des coordinations



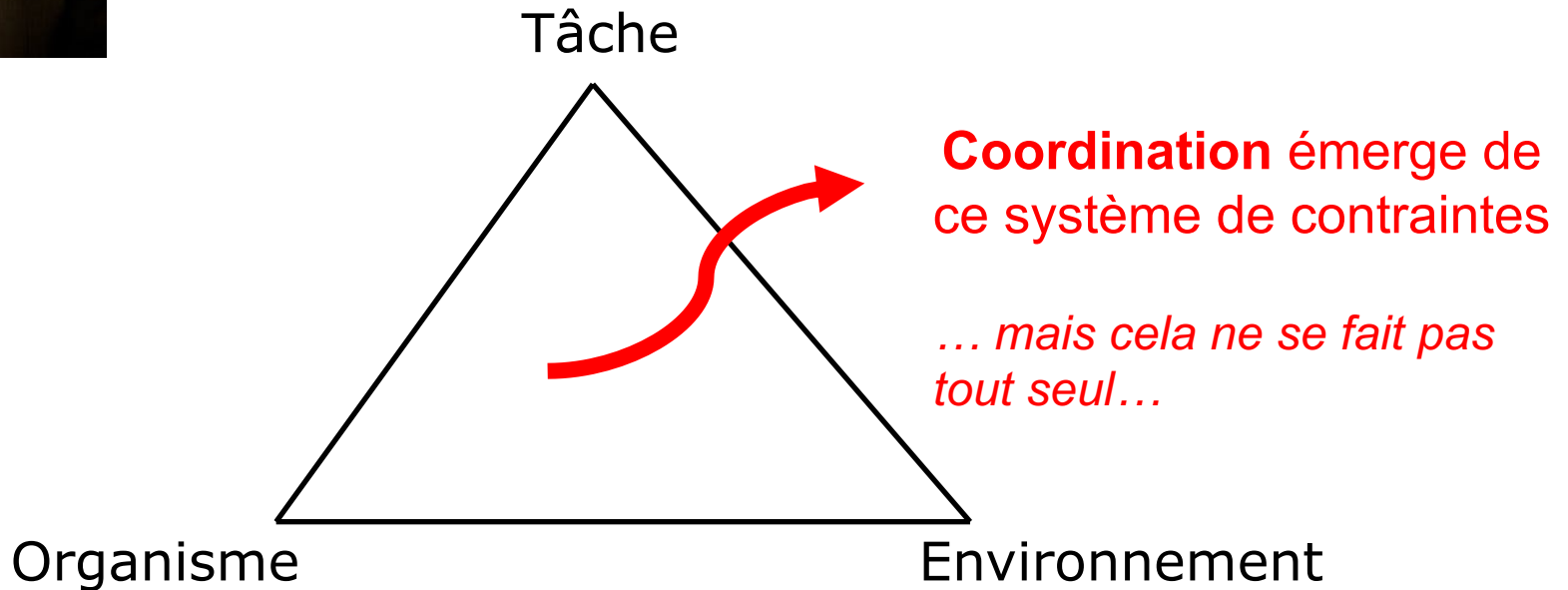
Karl Newell



La tâche, l'organisme et l'environnement constituent un système complexe de contraintes



Karl Newell



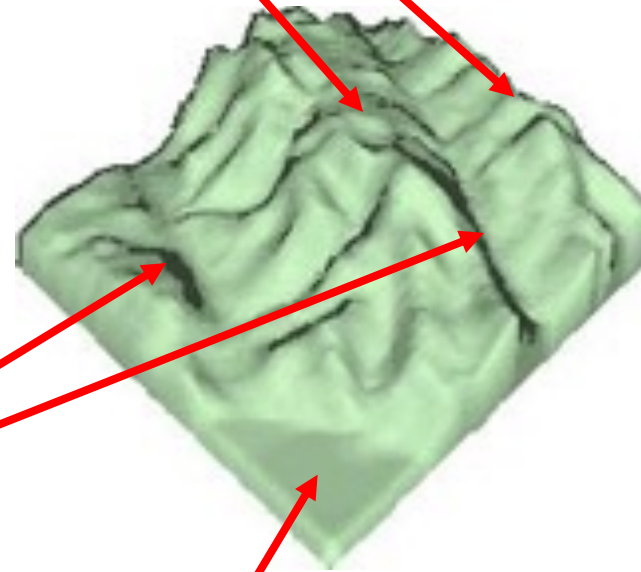
La tâche, l'organisme et l'environnement constituent un système complexe de contraintes



Ce système de contraintes définit un « espace de travail », dans lequel le sujet va devoir **chercher** une solution

Le débutant explore l'espace de travail (toutes les solutions possibles au système de contraintes) à la recherche des zones de stabilité optimale (comportement expert)

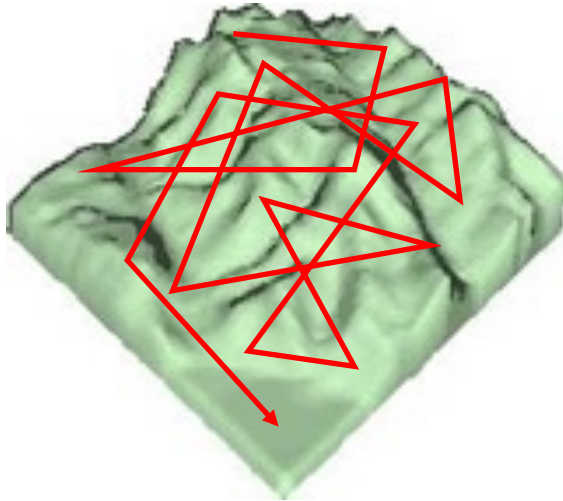
Zones instables



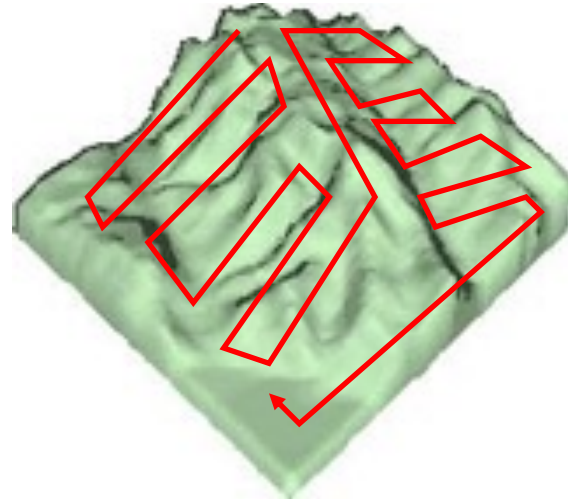
Zone de stabilité relative

Zone de stabilité optimale

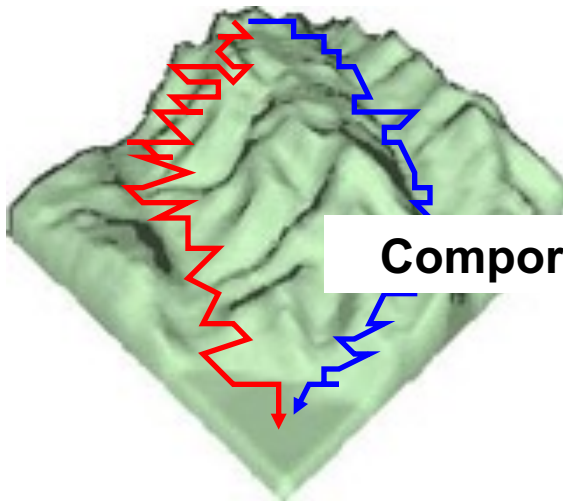
# Les stratégies d'exploration de l'espace de travail



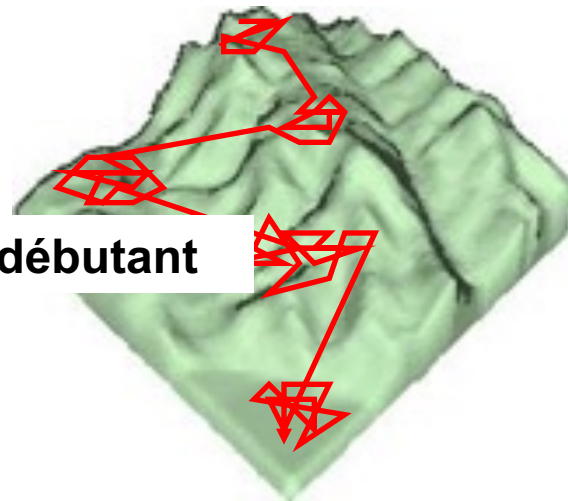
1. Exploration aveugle



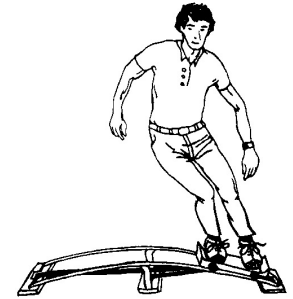
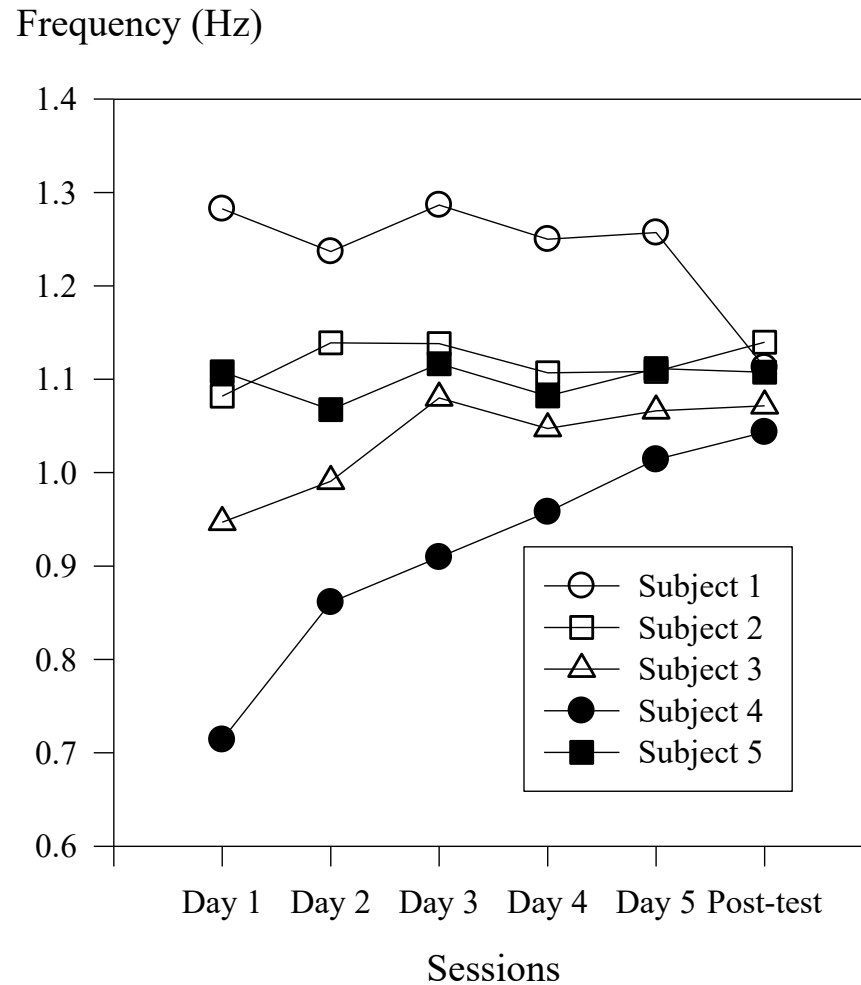
2. Exploration systématique



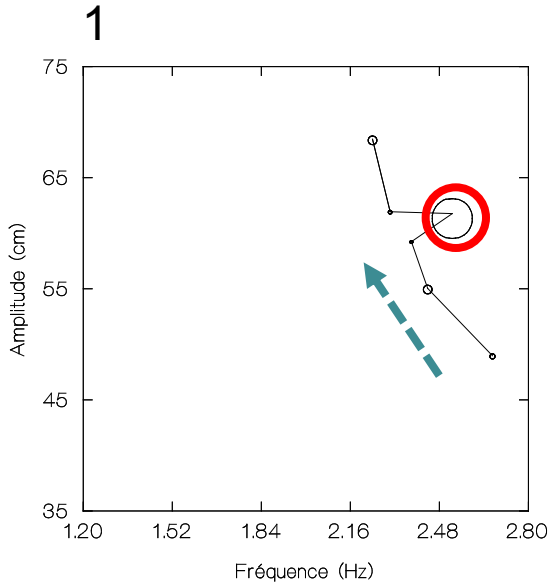
3. Exploration locale



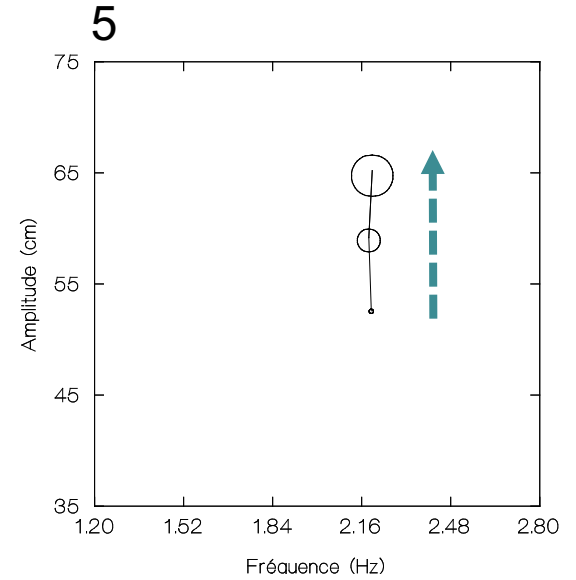
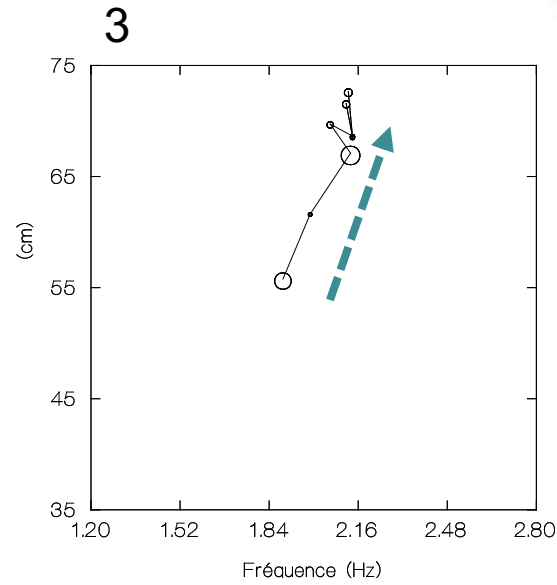
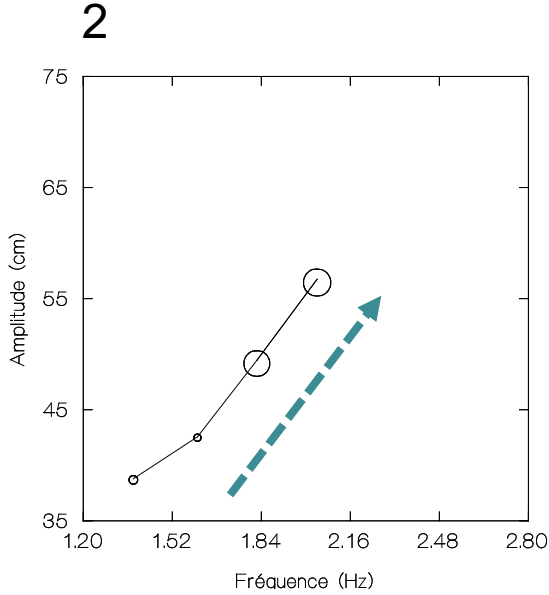
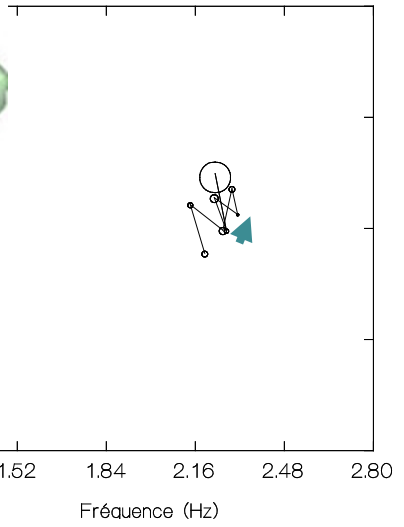
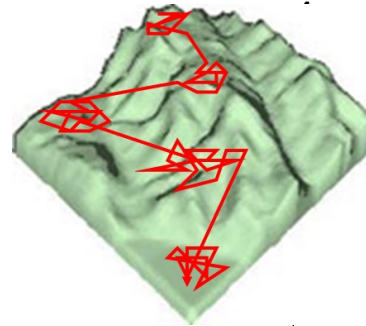
4. Exploration mixte



Evolution individuelle de la fréquence d'oscillation sur simulateur de ski lors des cinq sessions d'apprentissage et du post-test (d'après Durand, Geoffroi, Varray & Préfaut, 1994)

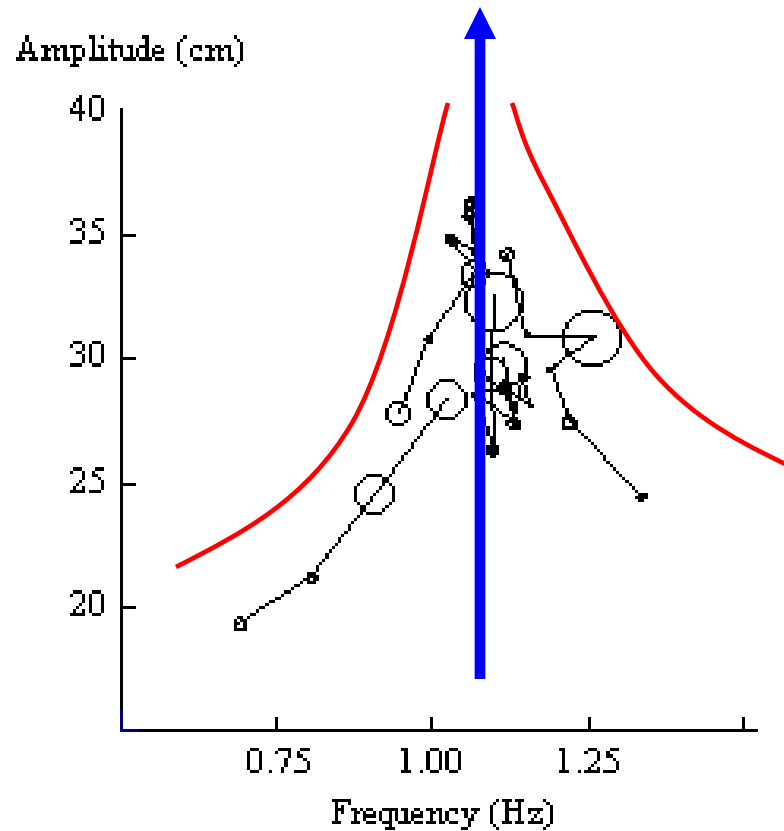


Analyse en clusters  
→ Stratégie mixte



Evolution individuelle des sujets dans un plan amplitude/fréquence  
(Geoffroi, Delignières et Durand, 1995)

### Fréquence optimale: dépense énergétique minimale



Evolution individuelle des sujets dans un espace de travail amplitude/fréquence (Geoffroi, Delignières et Durand, 1995)

## 3. Les étapes de l'apprentissage moteur

3.1. La mesure de l'apprentissage

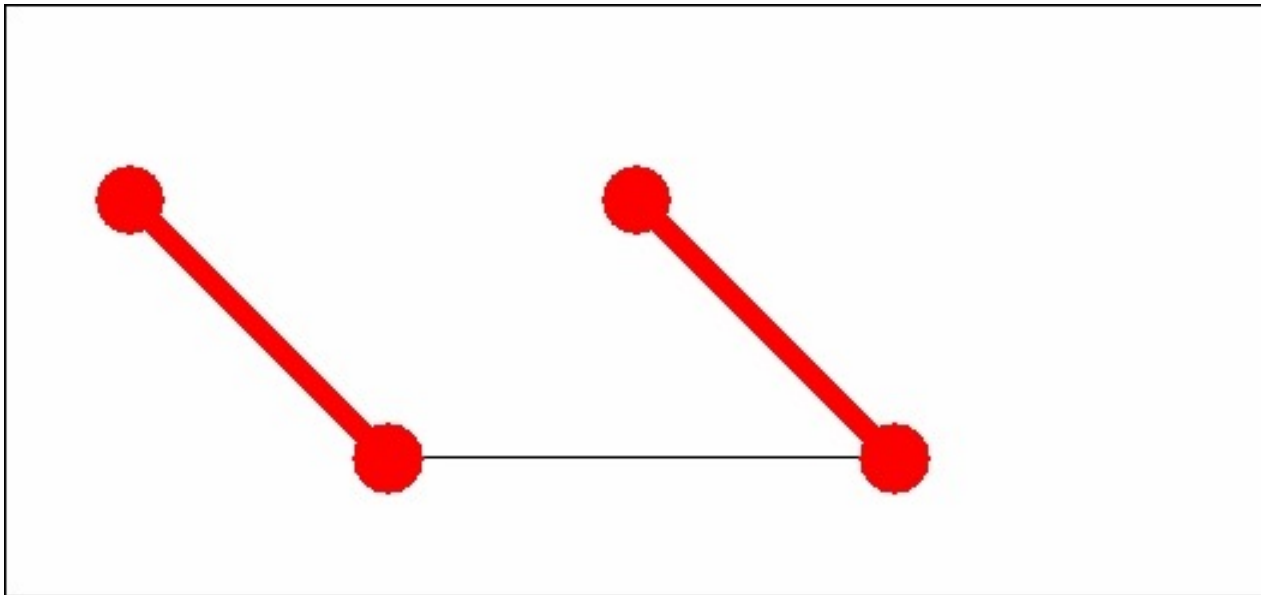
3.2. Les théories cognitives: l'apprentissage comme affinement du programme moteur

3.3. Bernstein : l'apprentissage et la maîtrise des degrés de liberté

3.4. Newell : l'exploration de l'espace de travail perceptivo-moteur

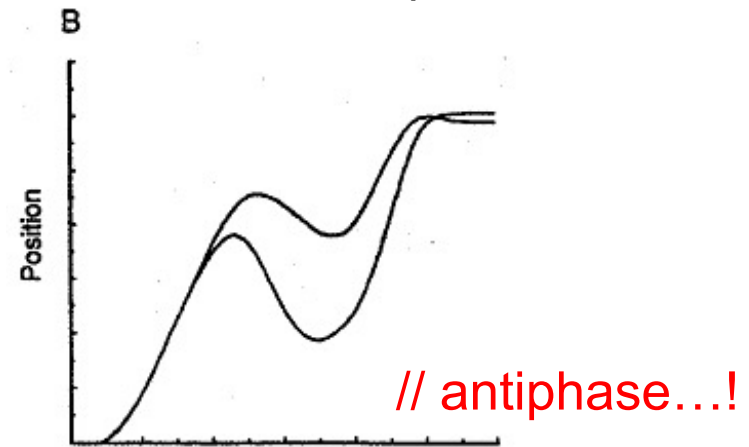
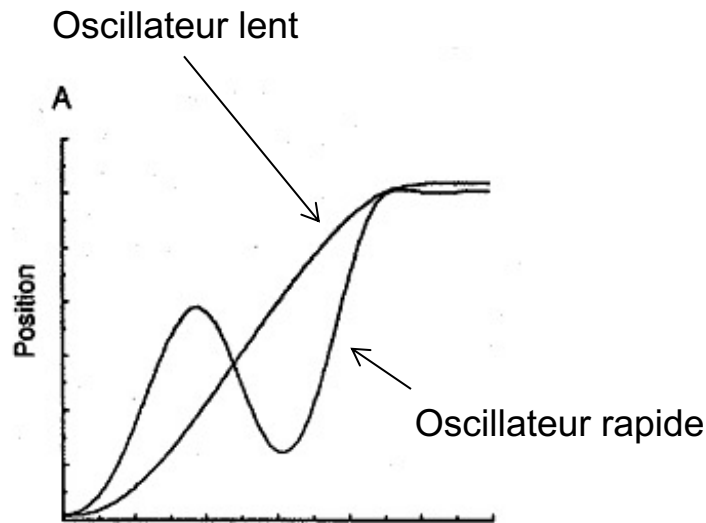
3.5. La dynamique des coordinations

Le mode de **coordination à apprendre** peut entrer en **compétition** avec les modes de coordination spontanés



Coordination 1:3 (Walter & Swinnen, 1994)

Le comportement de l'oscillateur lent est contaminé par celui de l'oscillateur rapide



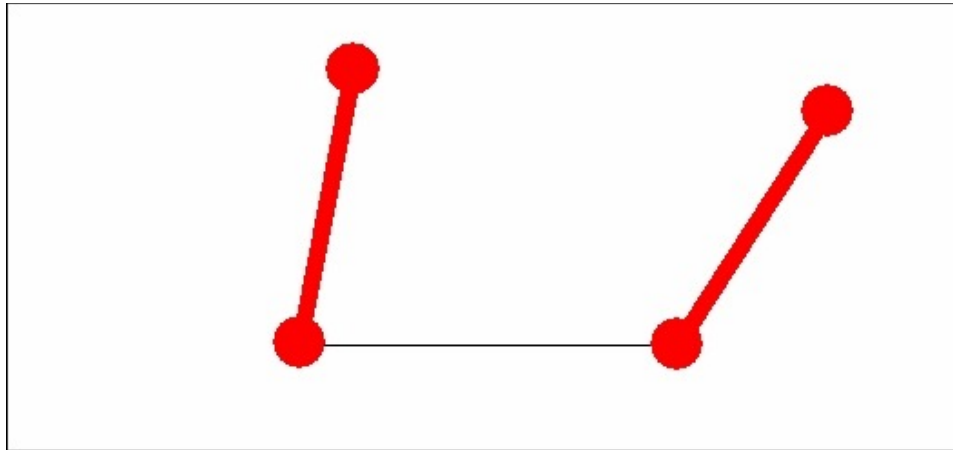
Le comportement débutant est attiré par les coordinations spontanées (Antiphase):

- Ces coordinations spontanées constituent une explication pour interpréter le comportement du débutant
- Les coordinations spontanées peuvent constituer un frein à l'Apprentissage de nouvelles coordinations motrices

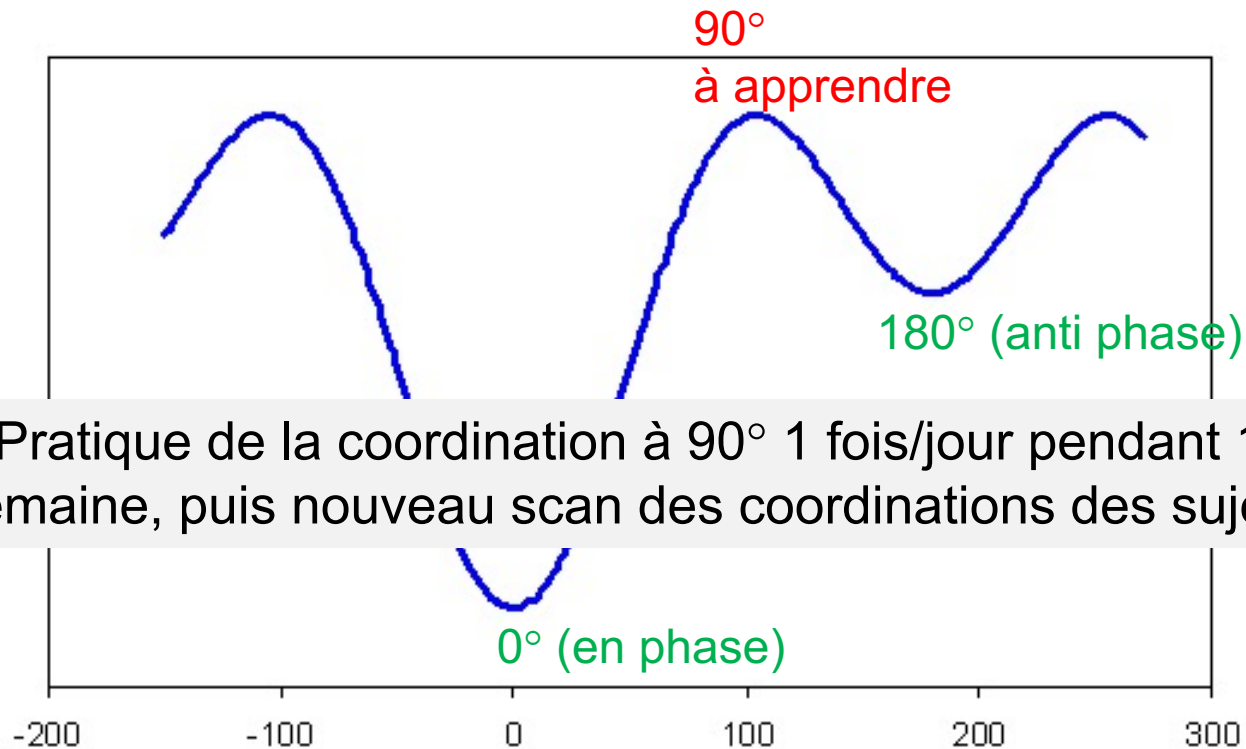


Zanone et Kelso (1992)

Apprentissage de la coordination à  $90^\circ$  de phase relative

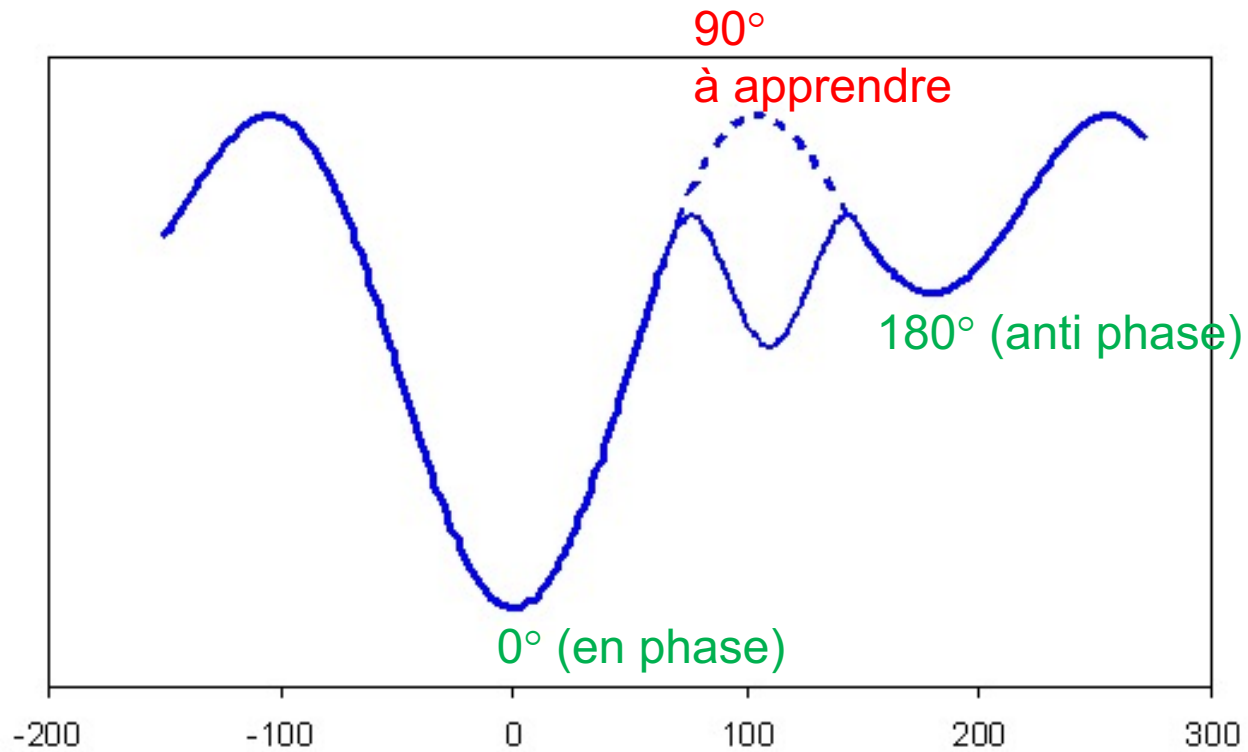


## Sujets initialement bistables

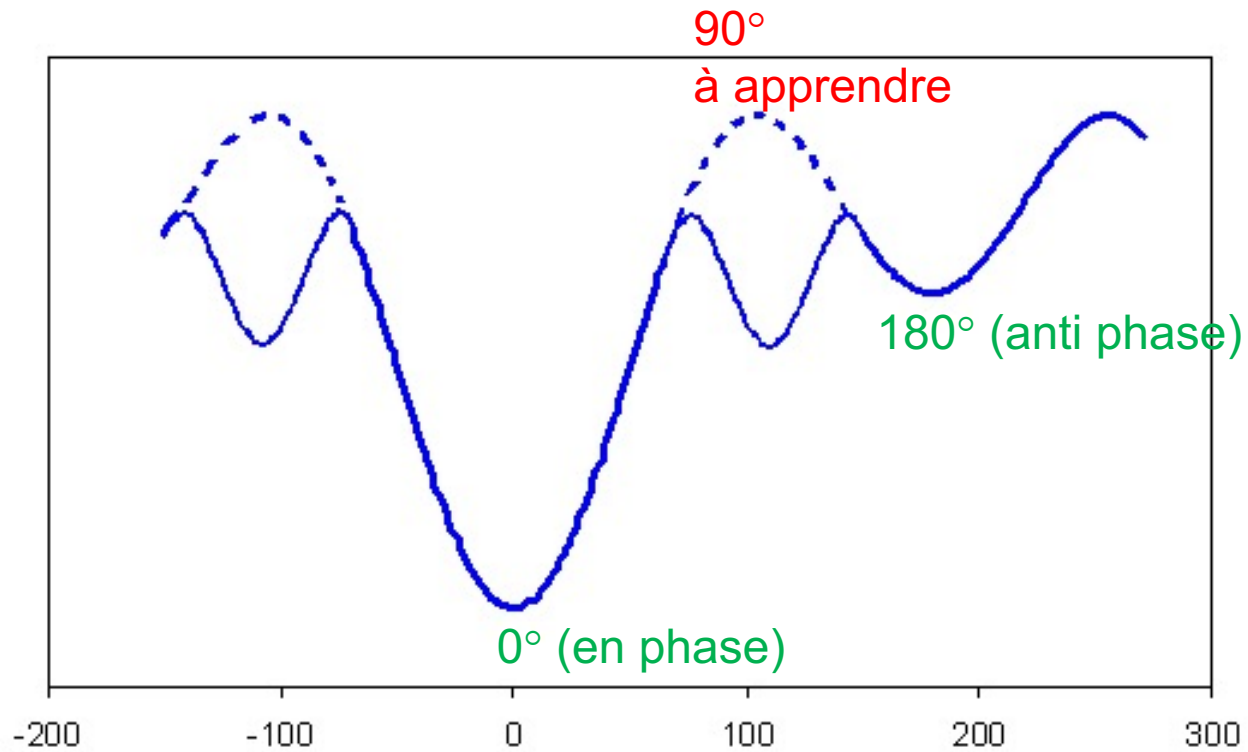


« **Scan** » des coordinations des sujets: Analyse de la variabilité pour déterminer les zones de stabilité

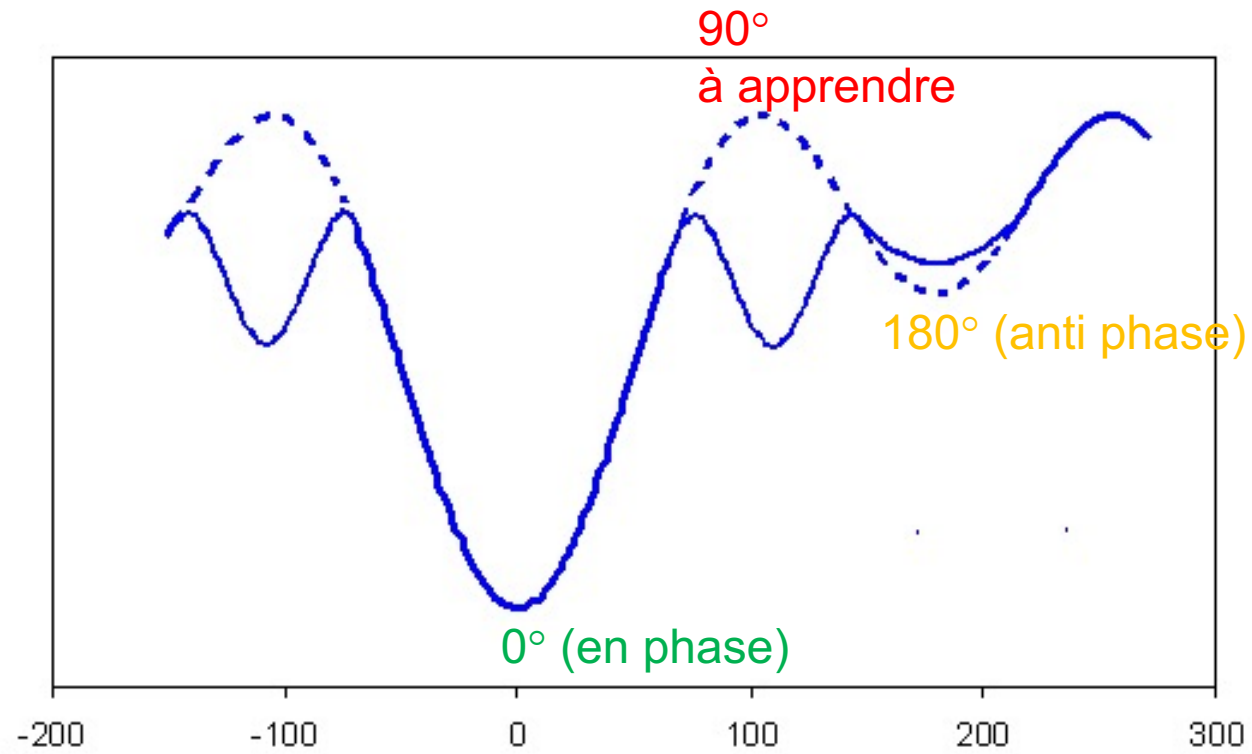
# 1. Apparition d'un attracteur à $90^\circ$



## 2. Apparition de l' attracteur miroir



### 3. Déstabilisation de l' attracteur $180^\circ$





Apparition de nouveaux attracteurs, non présents à l'origine

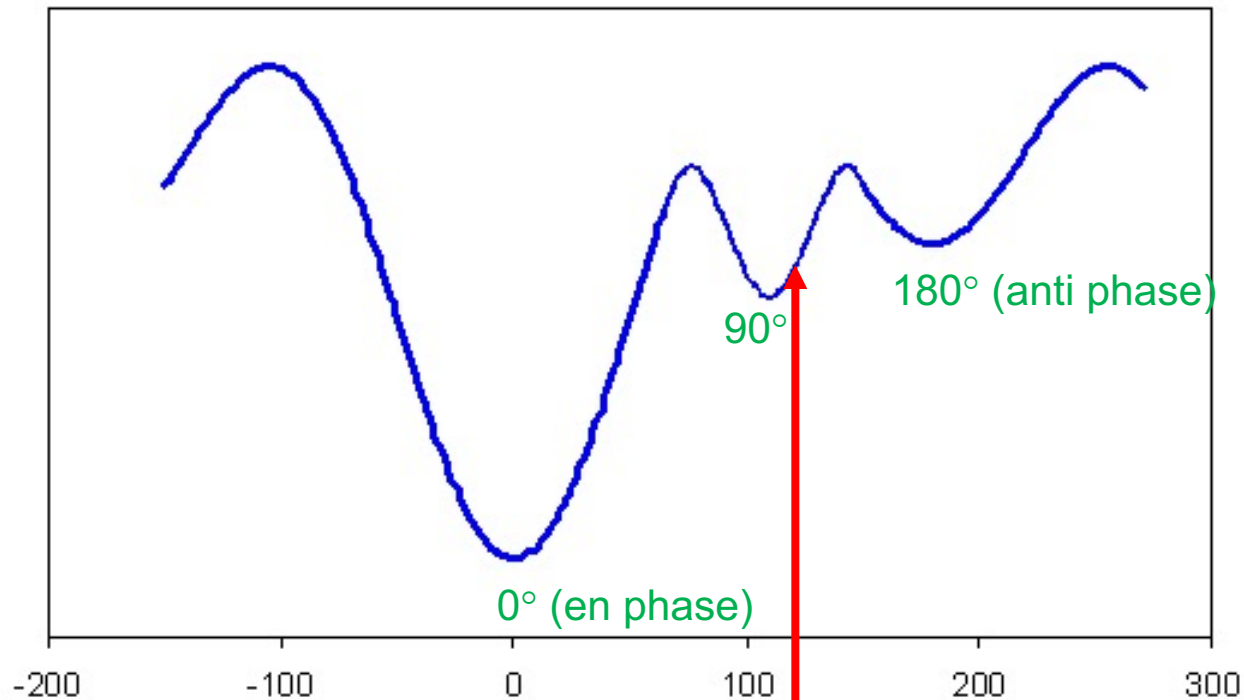
L'apprentissage peut être assimilé à une transition de phase

Stabilisation de coordinations non pratiquées: **transfert positif**

Déstabilisation de coordinations spontanées: **transfert négatif**

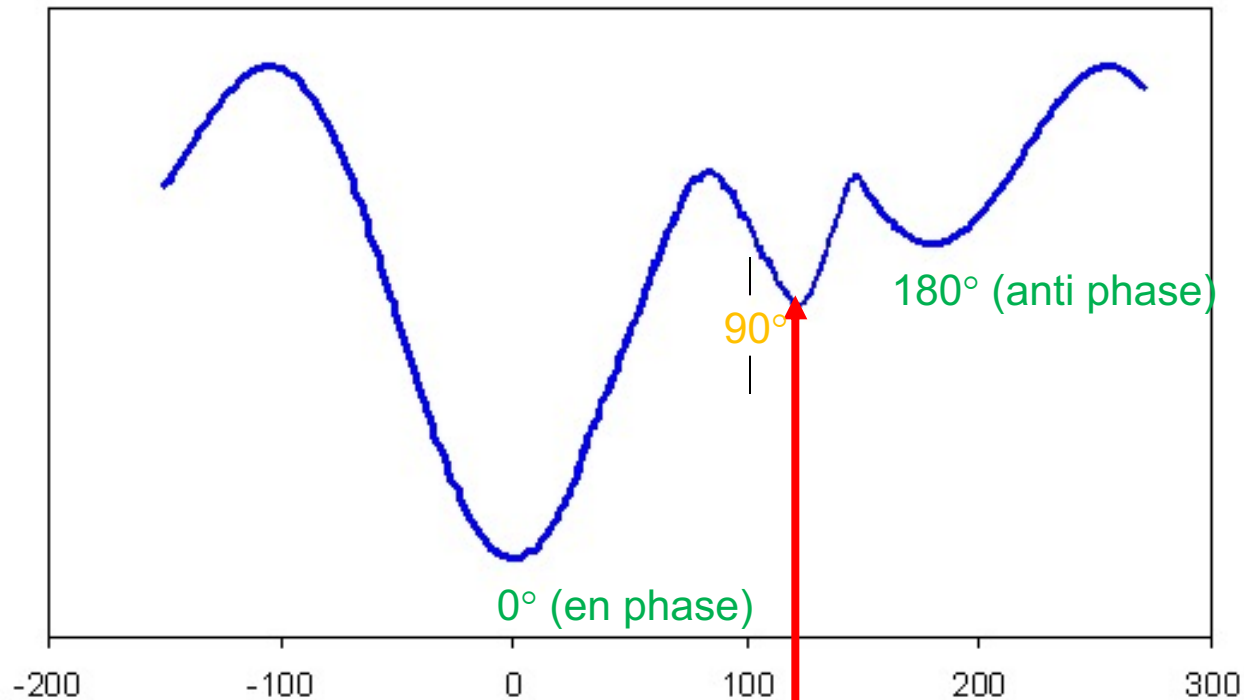
L'apprentissage entre en compétition avec la dynamique **intrinsèque** : l'apprenant lutte contre les coordinations spontanées, quitte à les déstabiliser pour en apprendre une nouvelle

## Zanone et Kelso (1997) Sujets initialement tristables



Apprentissage de la coordination **135°**

# Zanone et Kelso (1997) Sujets initialement tristables



Apprentissage de la coordination  $135^\circ$





Pas d'apparition de nouvel attracteur, MAIS stabilisation du nouveau comportement par **déformation de la dynamique intrinsèque**

**L' apprentissage n' est pas assimilé à une transition de phase**

L' apprentissage **exploite la dynamique intrinsèque**

**Convergence entre le pattern à apprendre et la dynamique intrinsèque**

## Deux types de situations d'apprentissage



Situations de  
compétition



Apparition de nouveaux attracteurs,  
entrant en compétition avec la  
dynamique intrinsèque

Situations de  
convergence



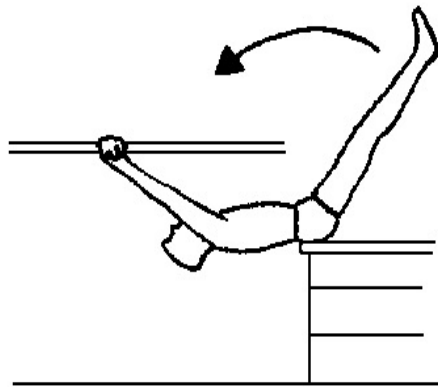
Déformation progressive de la  
dynamique intrinsèque

## **Comment analyser le comportement du débutant dans les tâches complexes?**

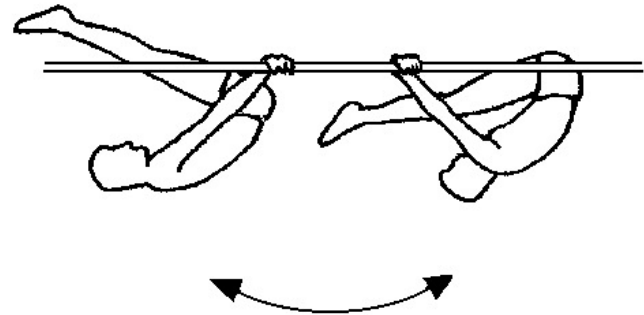
Idée centrale:

**Le comportement débutant exploite typiquement les coordinations spontanées (dynamique intrinsèque)**

# L'apprentissage des balancers en suspension mi-renversée aux barres parallèles.

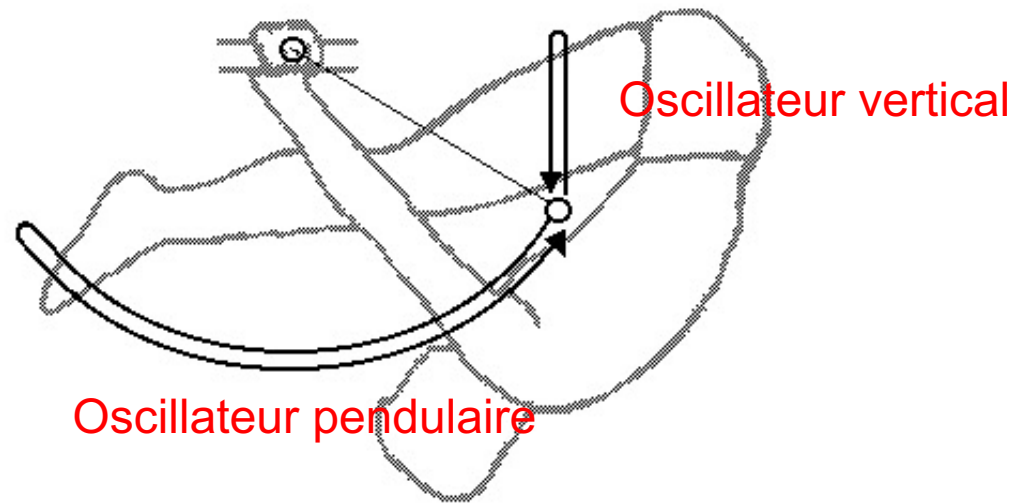


a.



b.

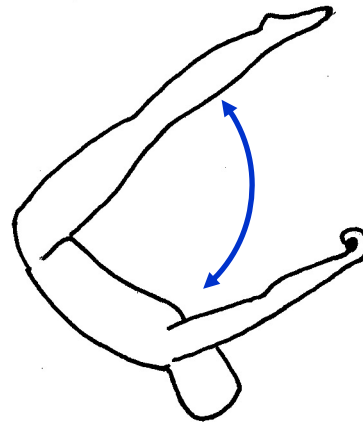
## Modélisation de la tâche comme système d'oscillateurs couplés



→ Analyse de la coordination entre ces 2 oscillateurs  
pour comparer le **comportement débutant** vs. le **comportement expert**

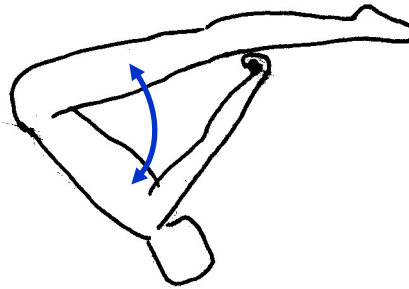
## Comportement des experts

Point de revirement du balancer  
avant



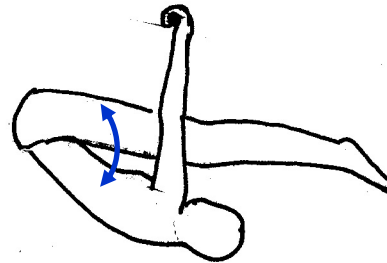
## Comportement des experts

Le sujet s'engage dans balancer  
arrière



## Comportement des experts

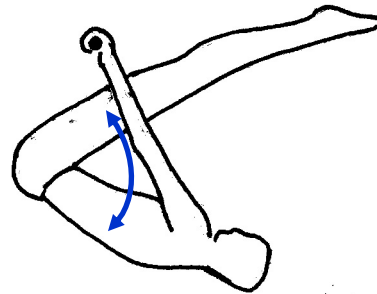
Passage en verticale basse





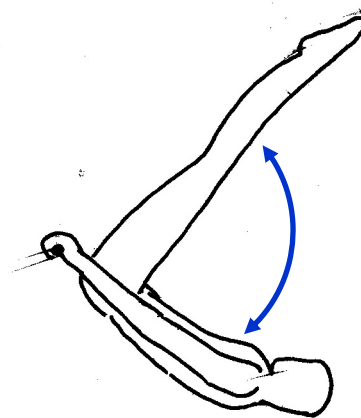
## Comportement des experts

...

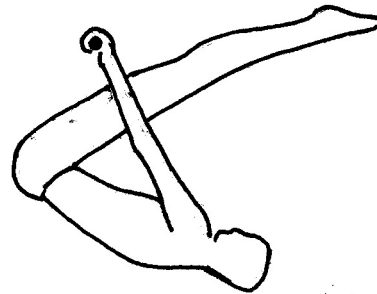


## Comportement des experts

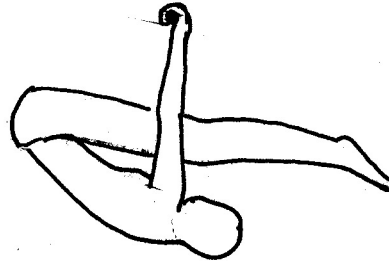
|  
Point de revirement du balancer  
arrière



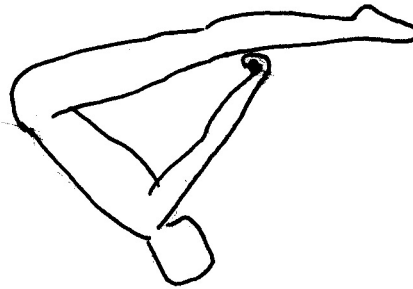
## Comportement des experts



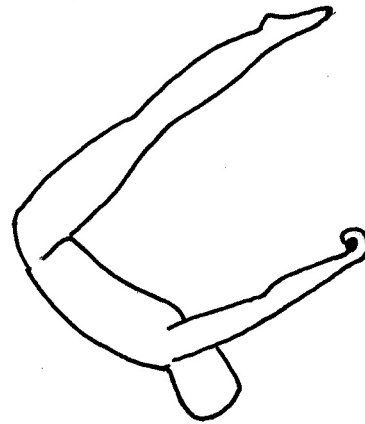
## Comportement des experts



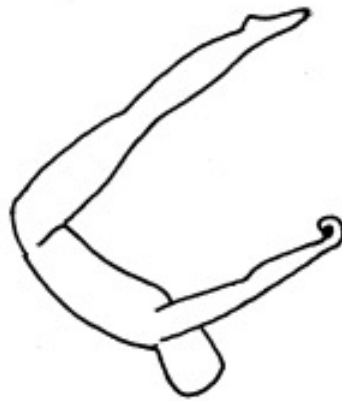
## Comportement des experts



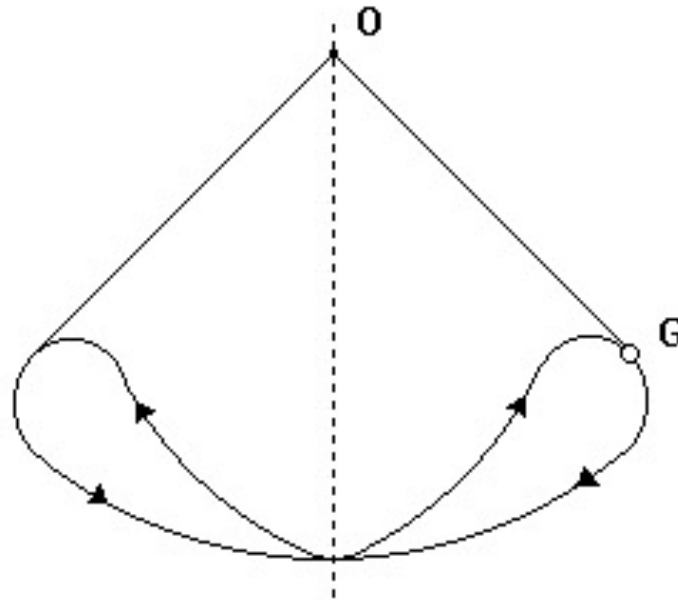
## Comportement des experts



## Comportement des experts



## Trajectoire du centre de gravité chez les experts

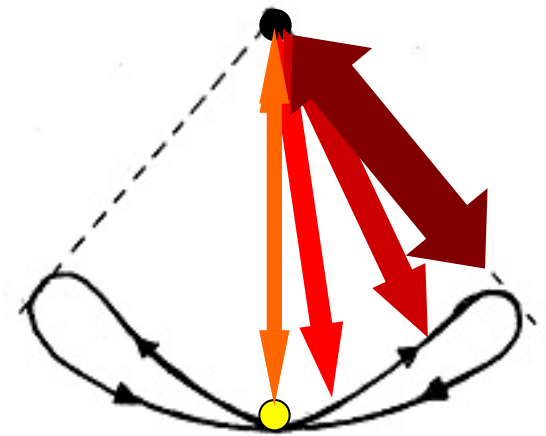




# Trajectoire du centre de gravité chez les experts

Exploitation optimale et efficiente des forces passives (gravité)

✓ Réduction de la distance pendant les phases ascendantes  
= Diminuer les résistances

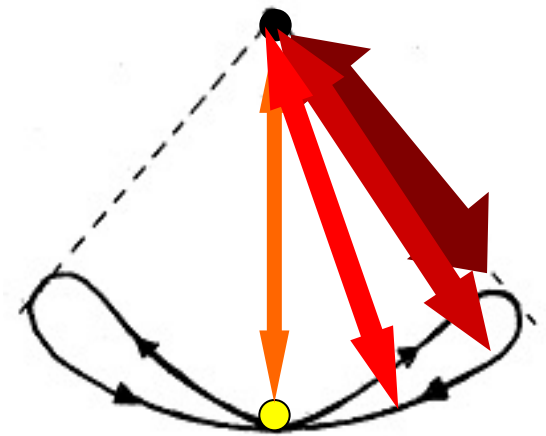


# Trajectoire du centre de gravité chez les experts

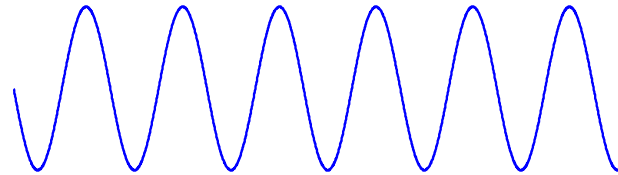
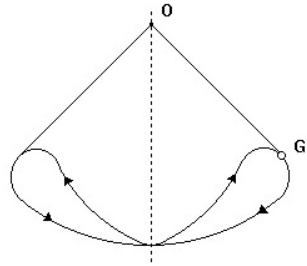
Exploitation optimale et efficiente des forces passives (gravité)

✓ Réduction de la distance  
pendant les phases ascendantes  
= Diminuer les résistances

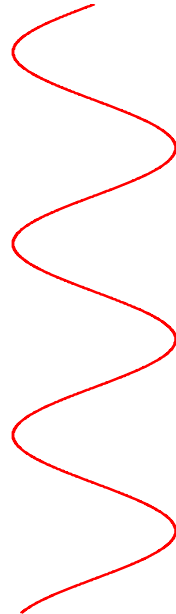
✓ Augmentation de la distance  
pendant les phases descendantes  
= Exploiter la gravité



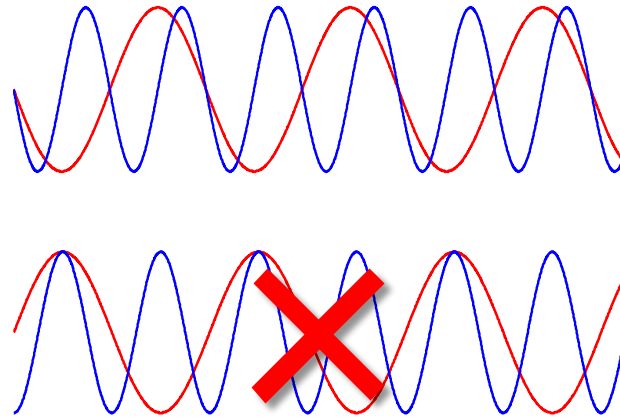
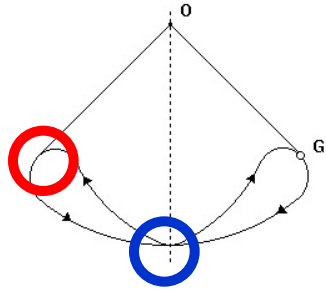
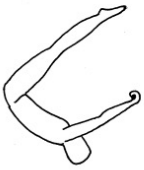
## Description de la coordination mise en œuvre



Des oscillations verticales deux fois plus rapides

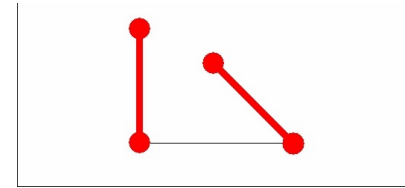
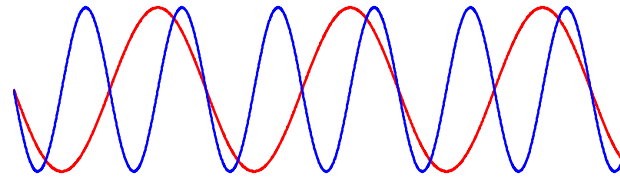
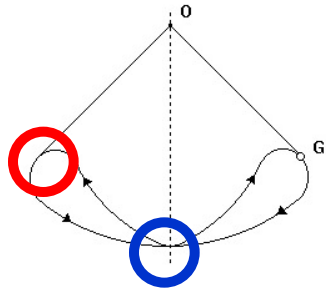
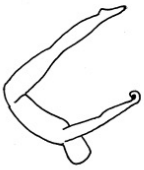


Des oscillations pendulaires lentes



La coordination experte présente un rapport de fréquence de 2:1

De plus, les deux oscillations ne sont initiées au même moment: elles présentent un décalage temporel



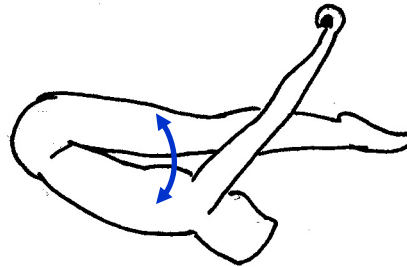
La coordination experte présente un rapport de fréquence de 2:1 associée à un décalage  $90^\circ$  /  $270^\circ$

La coordination experte est efficace, mais très complexe

On fait l'hypothèse que la coordination débutante sera plus simple

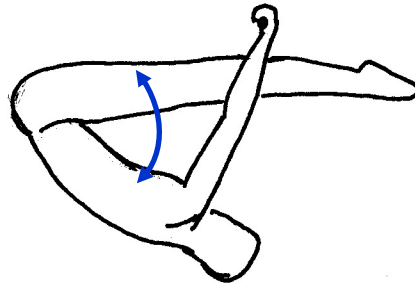
## Comportement des débutants

Point de revirement du balancer  
avant



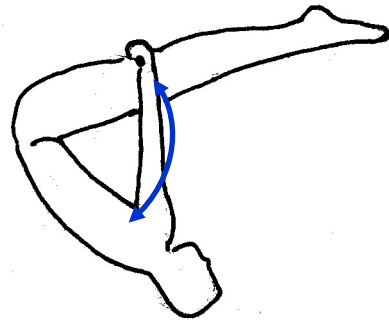
## Comportement des débutants

Engagement dans balancer  
arrière



## Comportement des débutants

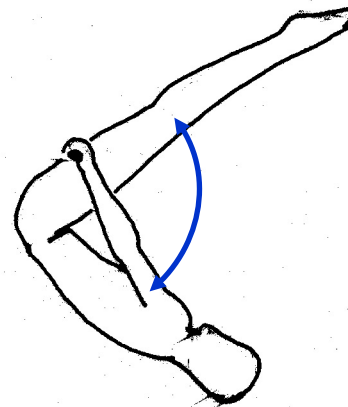
Passage en verticale basse





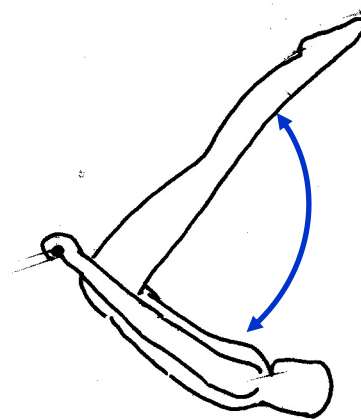
## Comportement des débutants

...

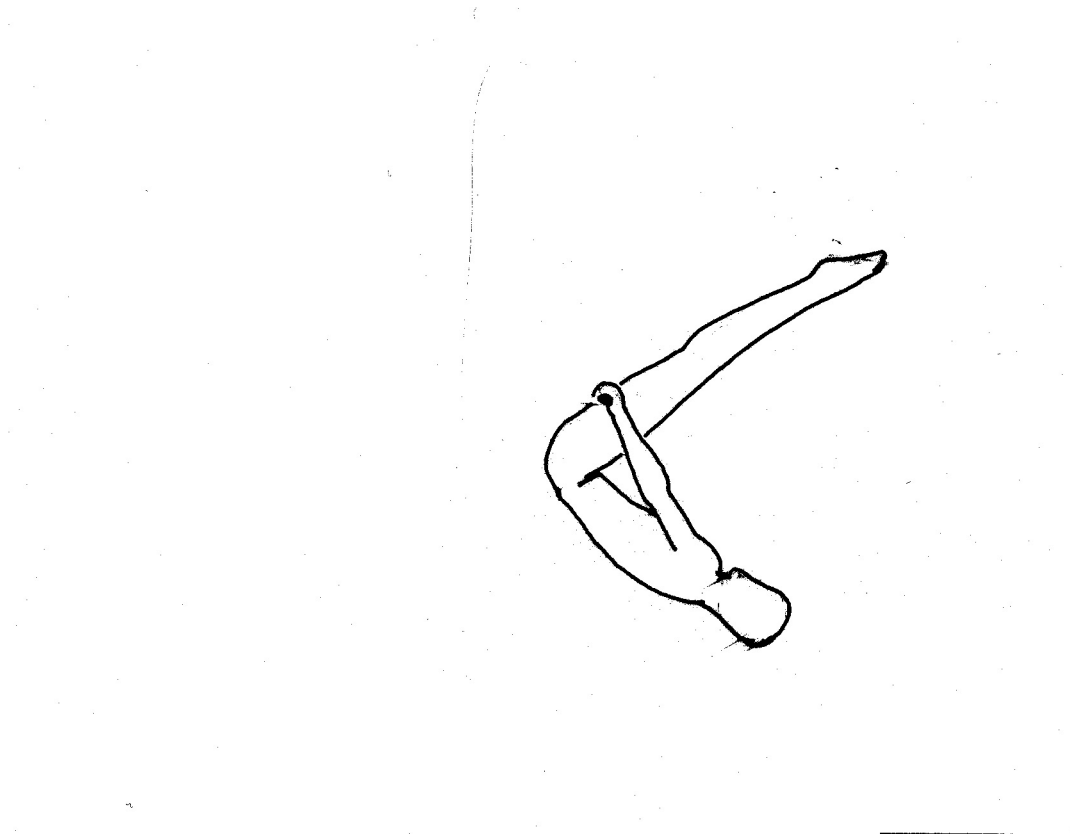


## Comportement des débutants

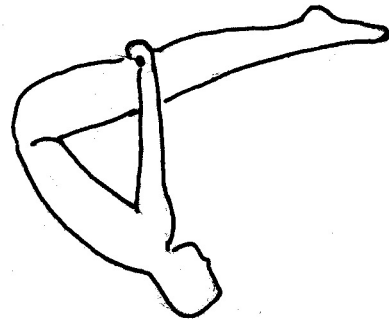
Point de revirement du balancer  
avant



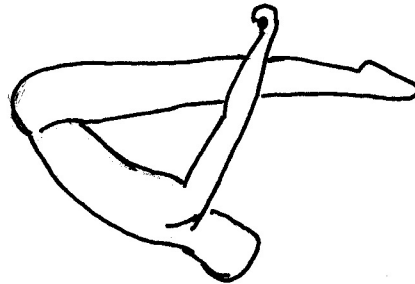
## Comportement des débutants



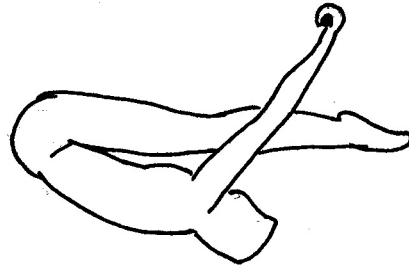
## Comportement des débutants



## Comportement des débutants

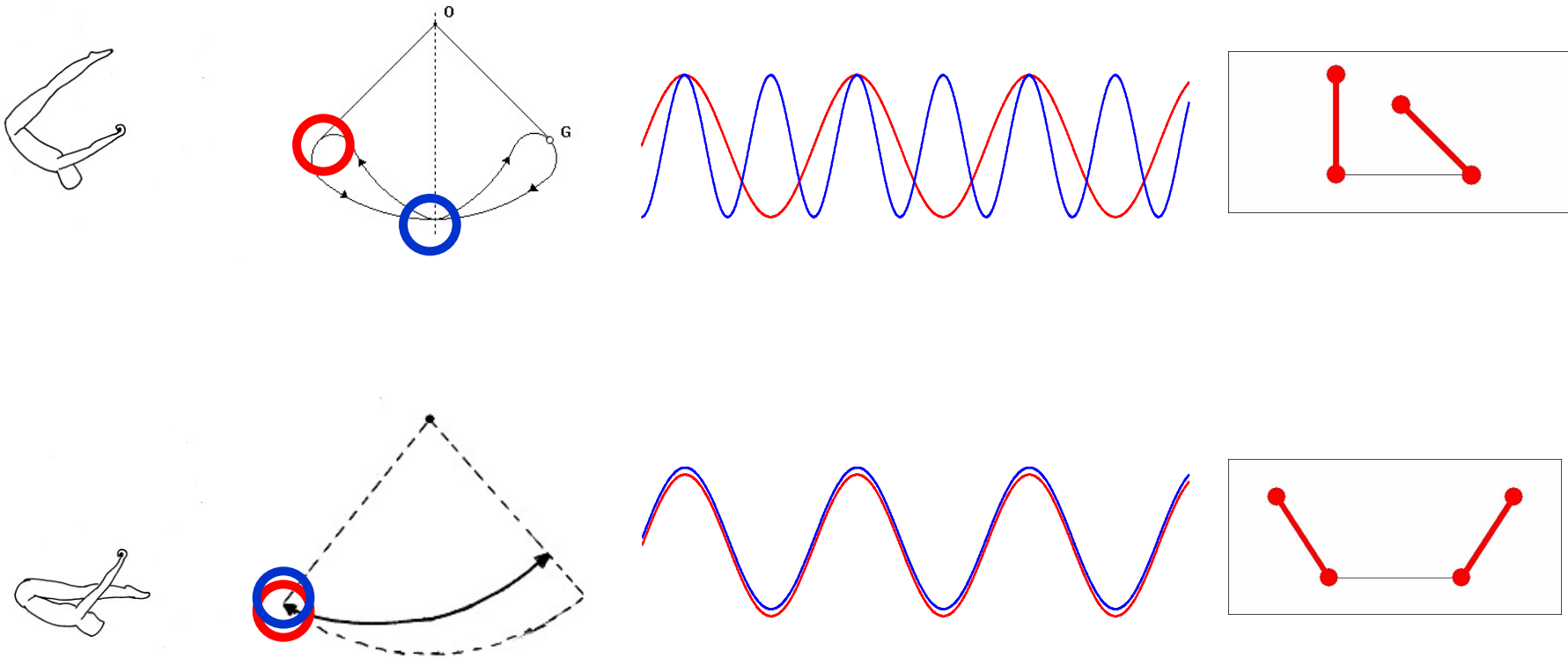


## Comportement des débutants



# Comportement des débutants





→ Le comportement du débutant est caractérisé par une coordination très simple, mais inefficace du point de vue biomécanique

→ Le comportement du débutant est expliqué par les tendances spontanées de coordination (synchronisation des phases et des fréquences)













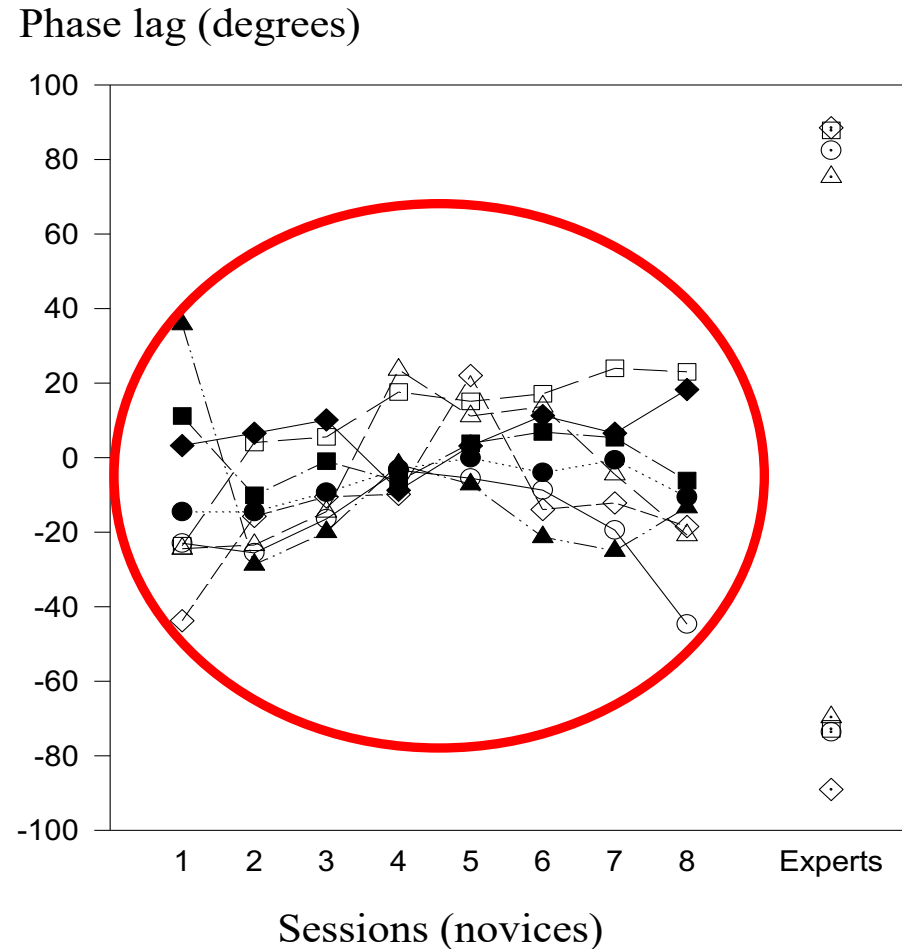




Le comportement du débutant reste variable d'un sujet à l'autre et pour un même sujet entre les essais

Malgré 80 essais, le comportement du débutant n'a pas changé

Le coordinations débutantes sont extrêmement résistantes au changement







**Lancer à l'amble**  
Coordination en phase

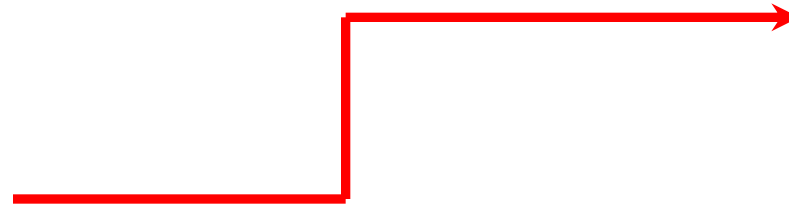
Analyse de la coordination entre  
ceintures scapulaires et  
pelviennes



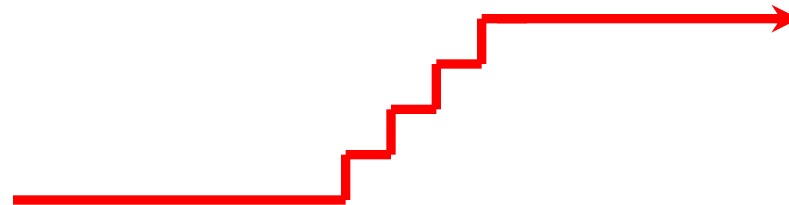
**Lancer en opposition**  
Coordination en antiphase

# Comment passe-t-on du comportement débutant au comportement expert?

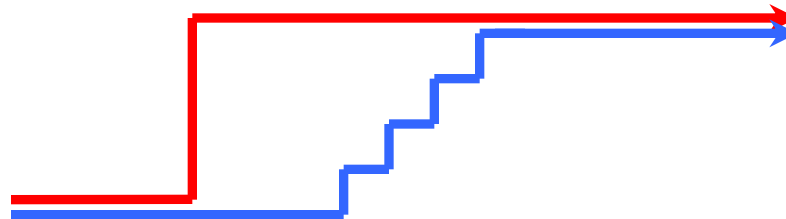
Transition abrupte



Transition progressive  
(avec comportements intermédiaires)

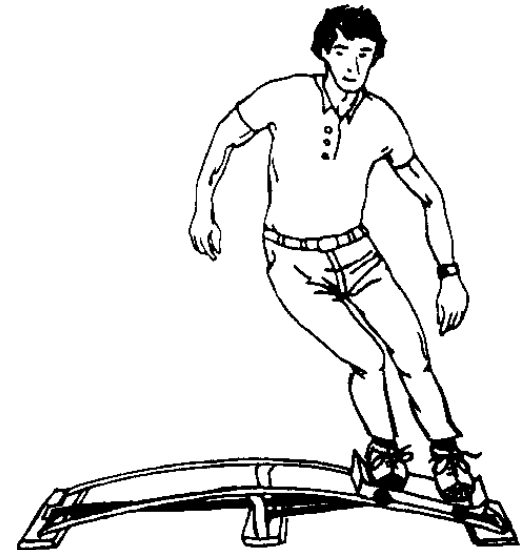


Il y a-t-il des différences inter-individuelles dans cette transition?

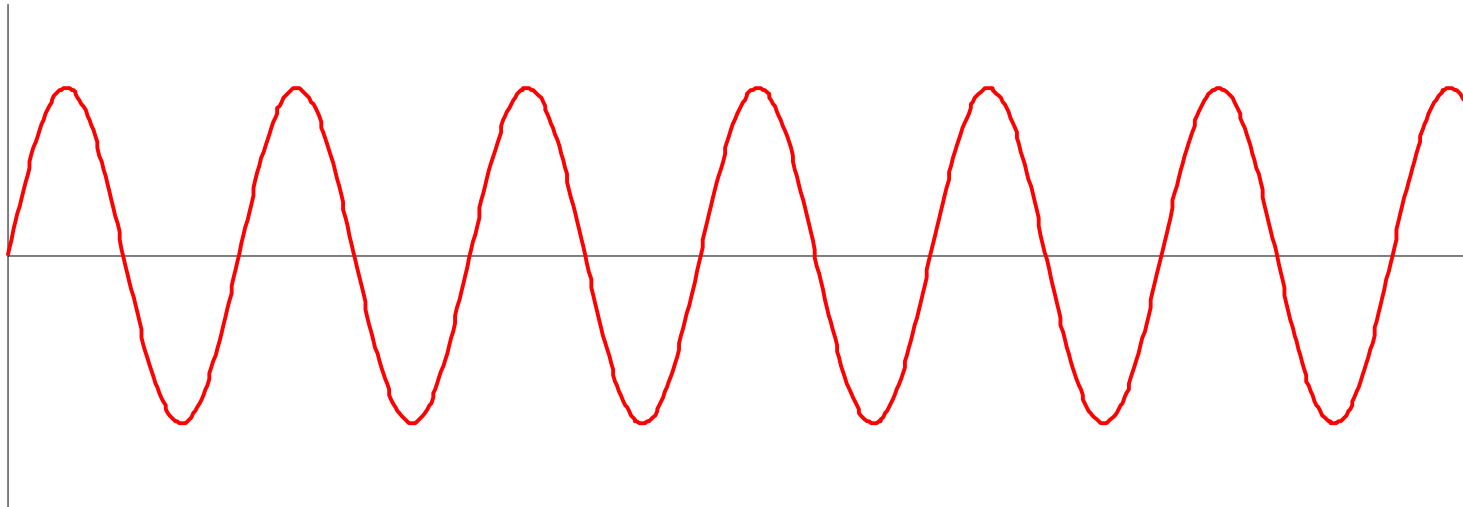
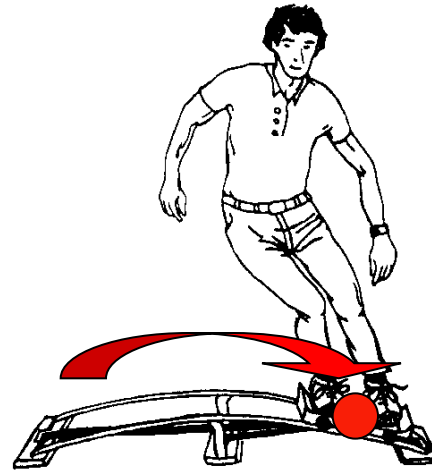


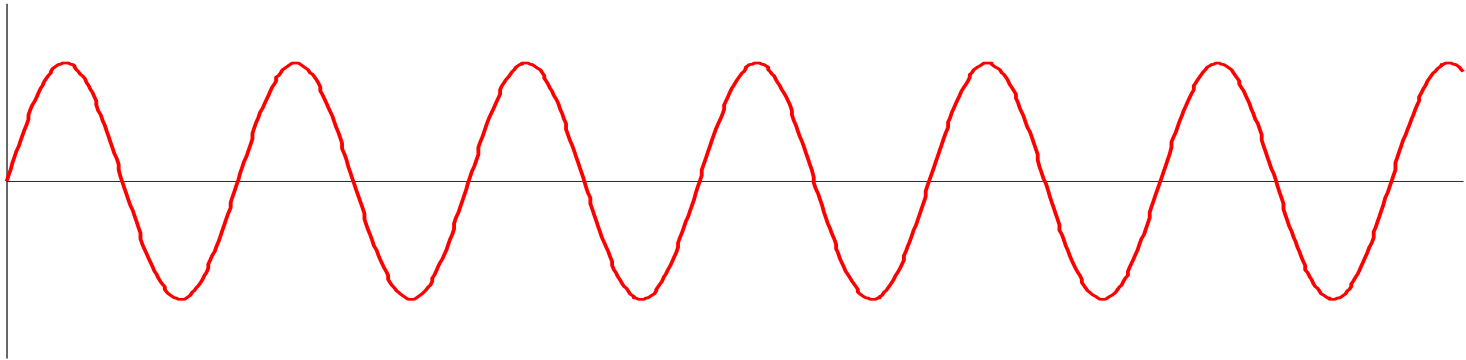
## Apprentissage sur simulateur de ski

- 5 sujets débutants
- 13 semaines de pratique
- 3 sessions par semaine
- 10 essais de 1 minute par session
- Soit un total de 390 essais

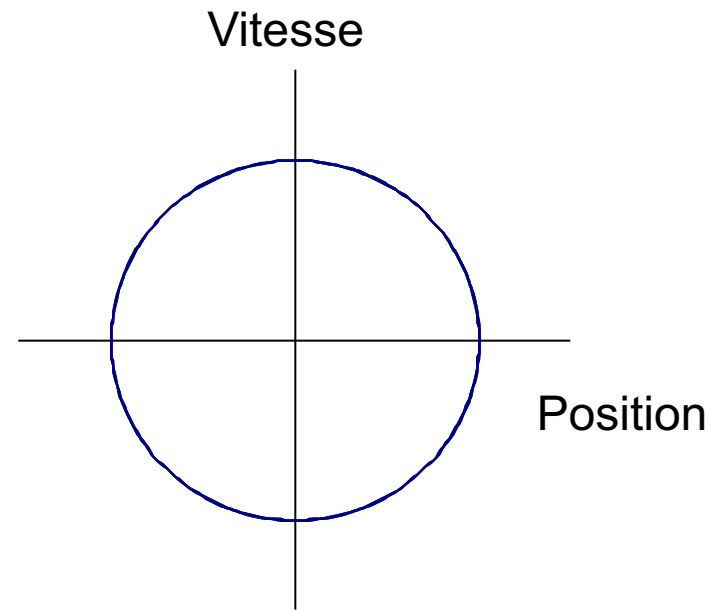
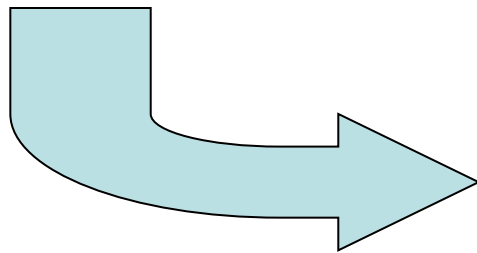


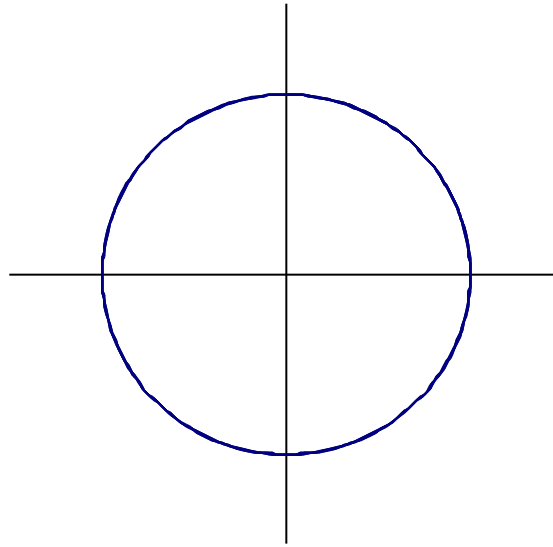
Analyses des déplacements de la  
plateforme



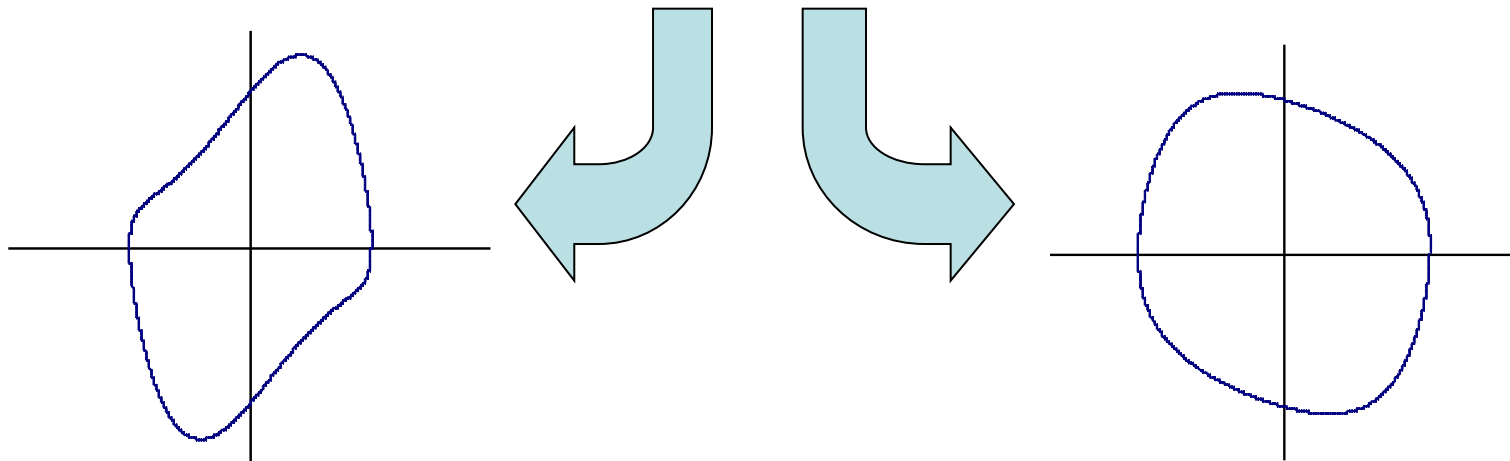


Analyse des portraits de phase  
(position/vitesse)

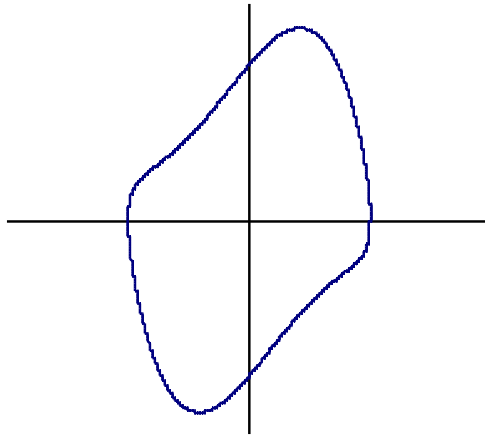




Analyse des déviations du cercle parfait (mouvement harmonique)



# On trouve deux sortes de comportement oscillatoires

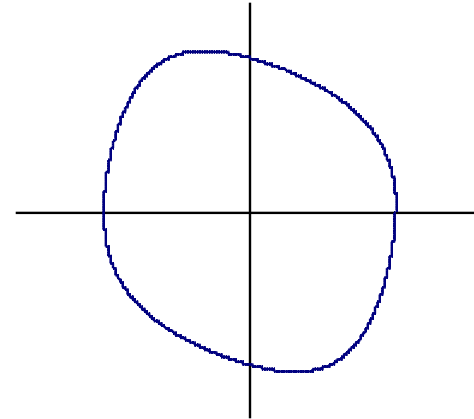


Rayleigh

Novice

Pic de vitesse/forçage dans la première moitié du cycle

Quand fréquence ↗  
amplitude ↘



Van der Pol

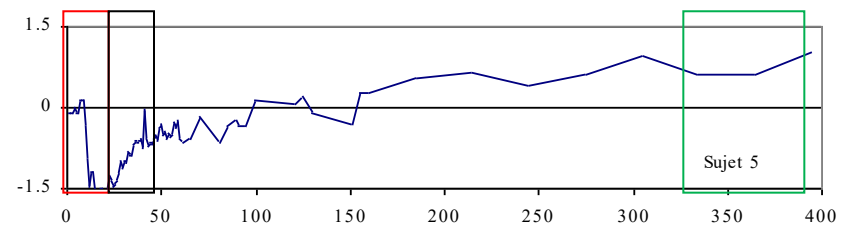
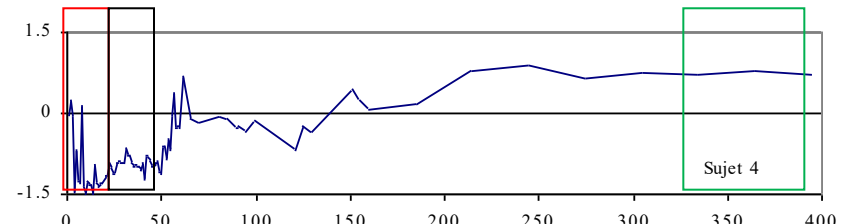
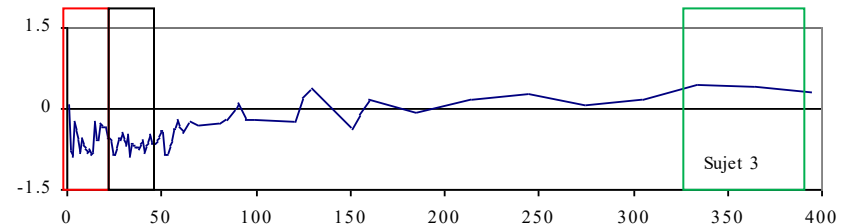
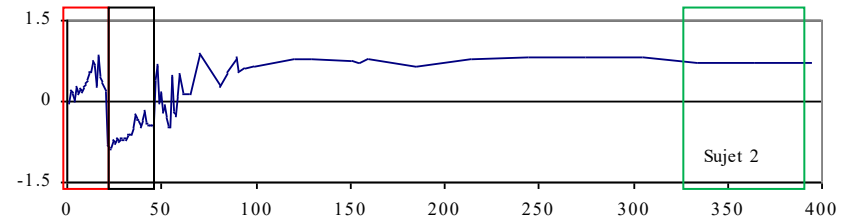
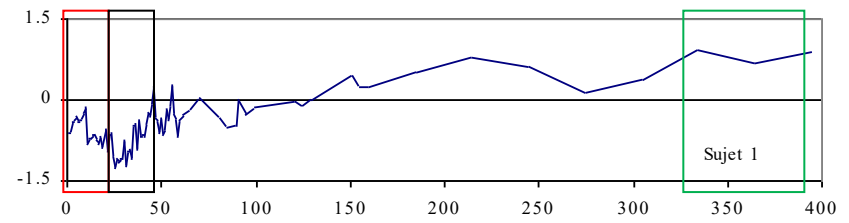
Expert

Pic de vitesse/forçage dans la deuxième moitié du cycle

Fréquence et amplitude indépendantes

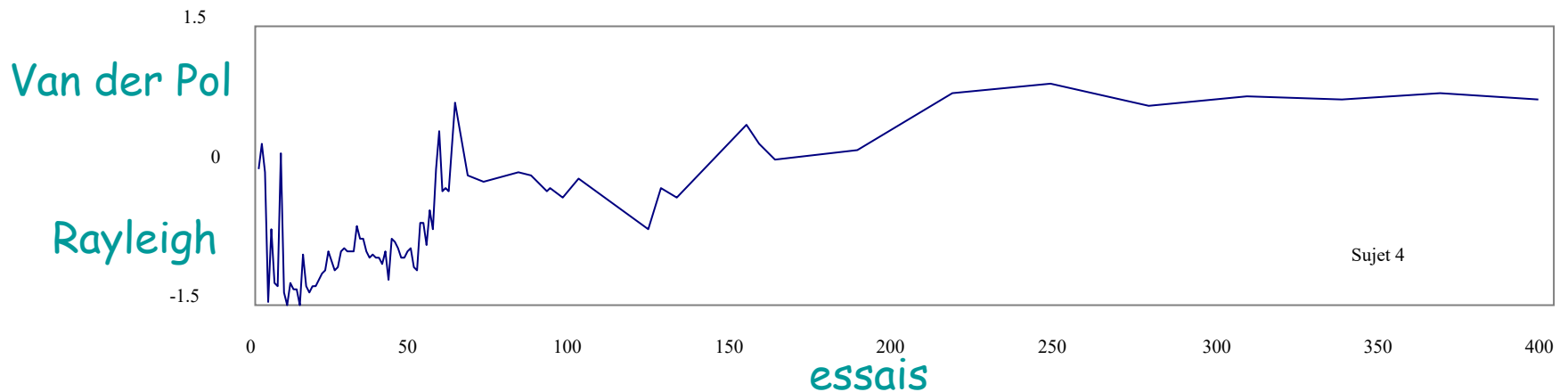
Les **valeurs négatives** renvoient à un comportement **débutant (Rayleigh)**

Les **valeurs positives** renvoient à l'adoption du comportement **expert (van der Pol)**

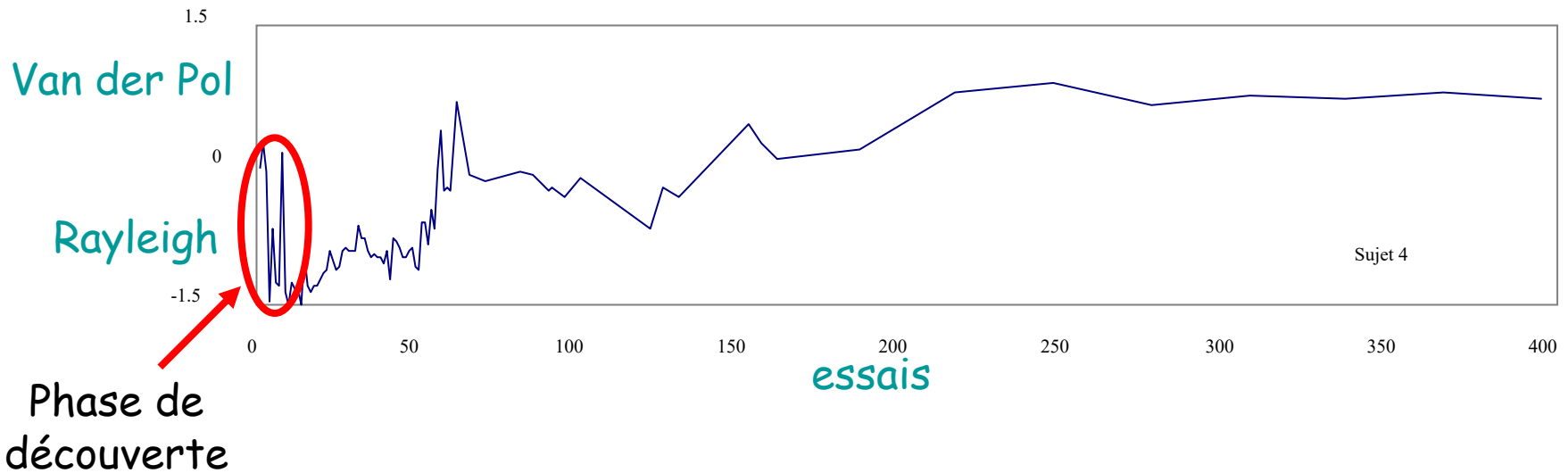
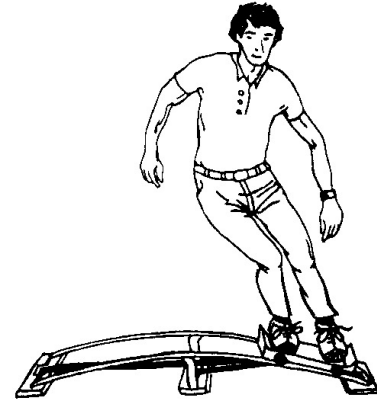




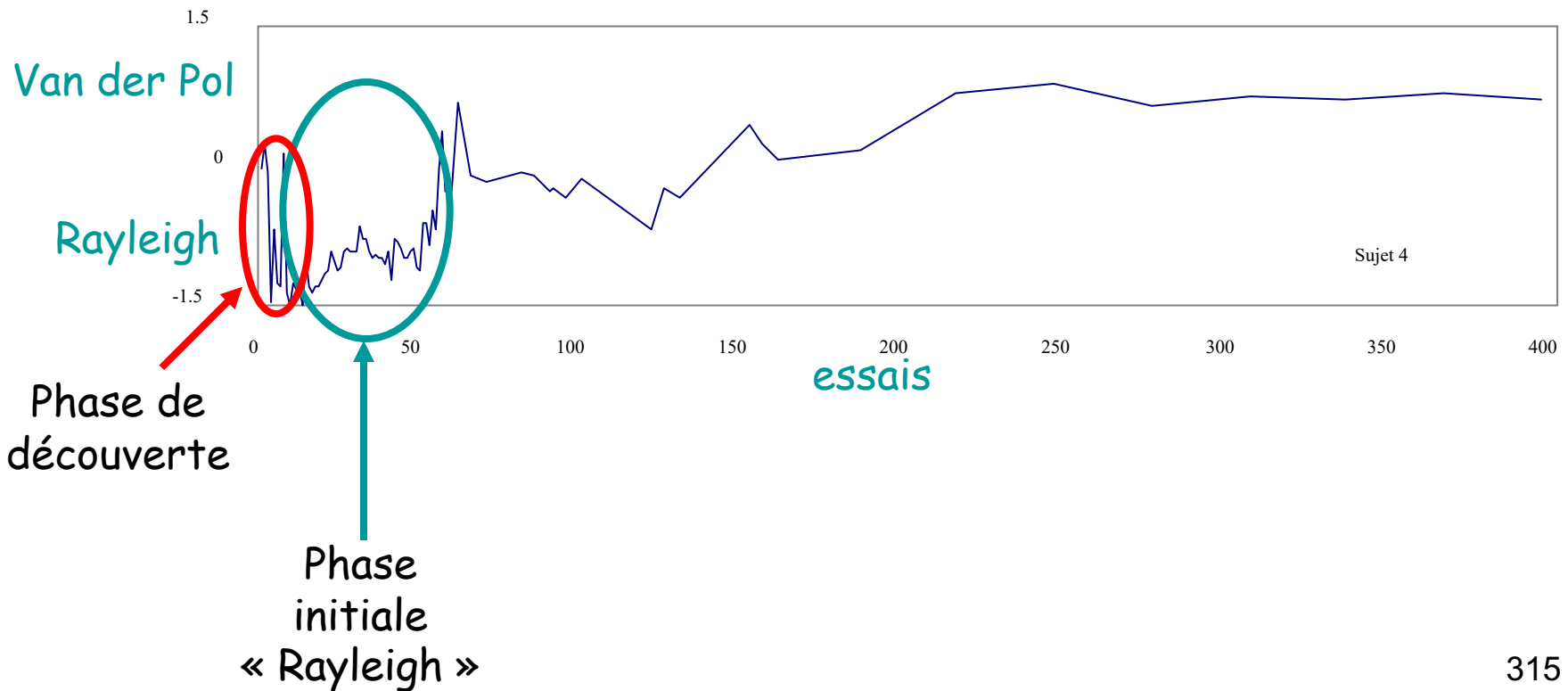
# Evolution du comportement d'amortissement lors de l'apprentissage sur un simulateur de ski



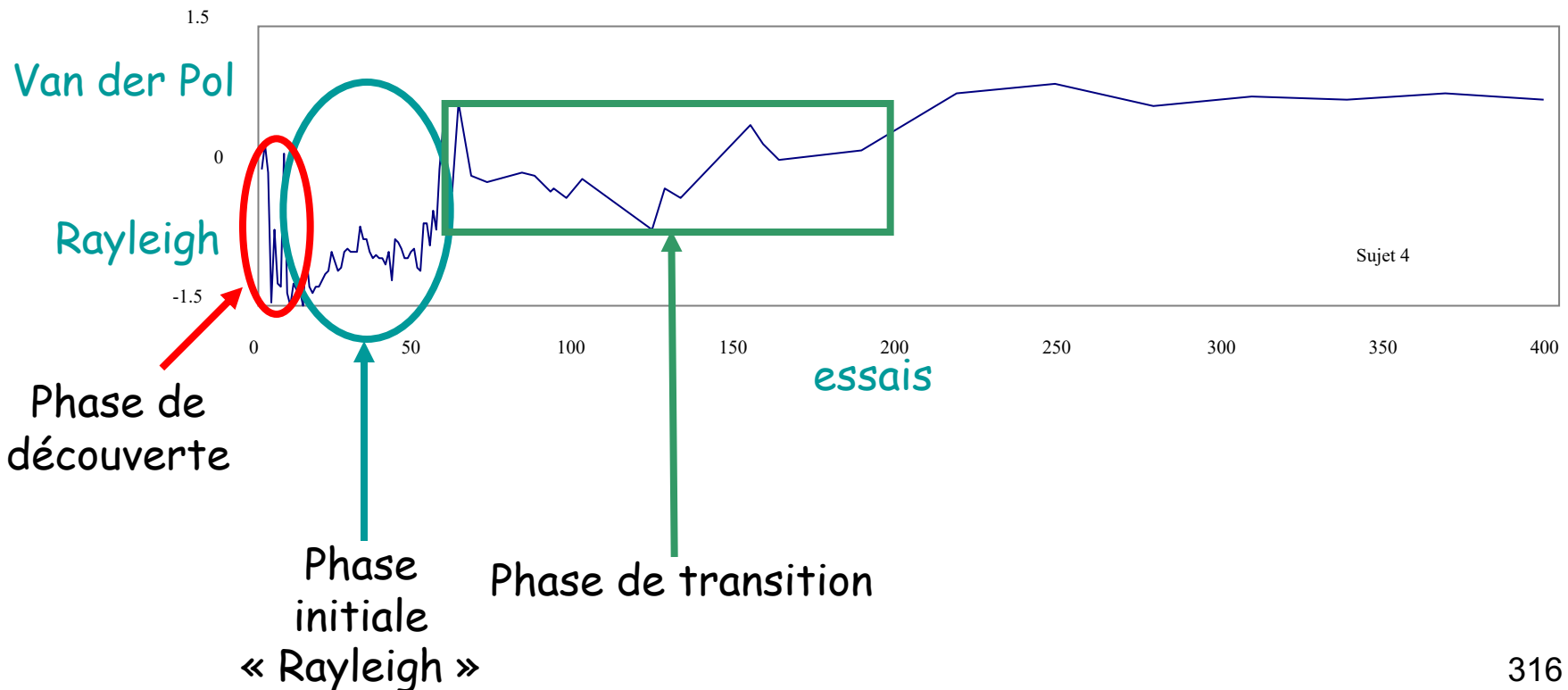
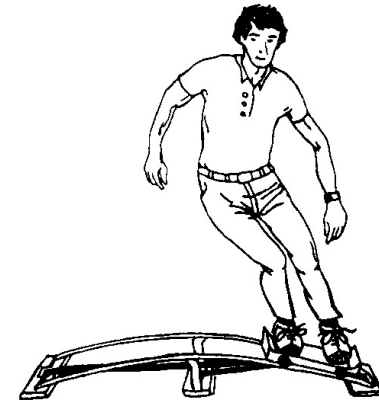
Lors des premiers essais le comportement est erratique: le débutant cherche à comprendre la tâche et ses contraintes



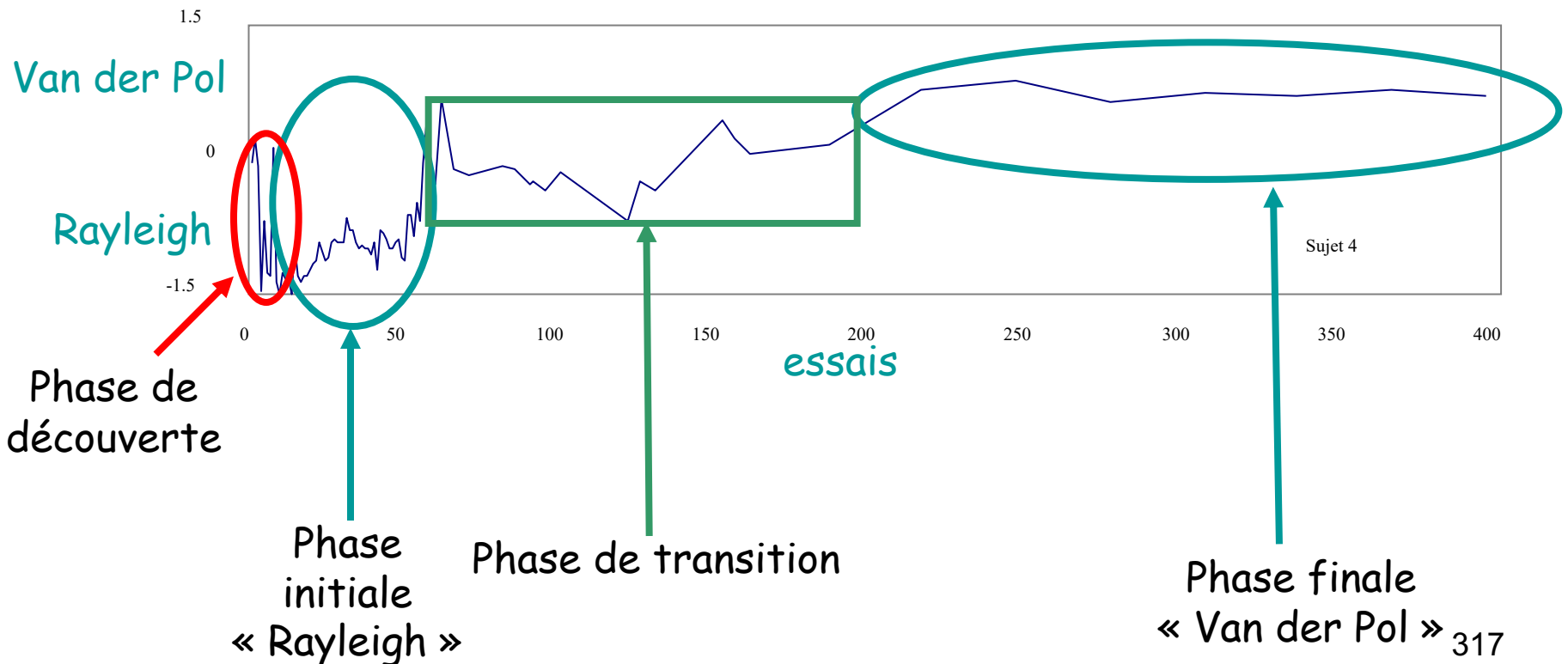
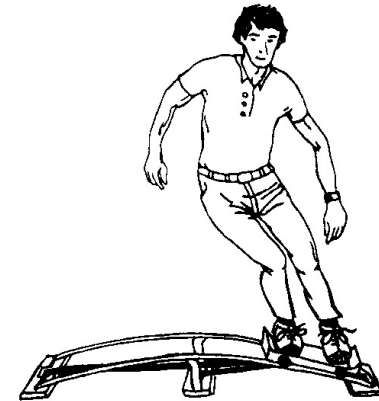
Dans une seconde phase le sujet stabilise le comportement debutant. Cette phase peut durer jusqu' à une centaine d' essais



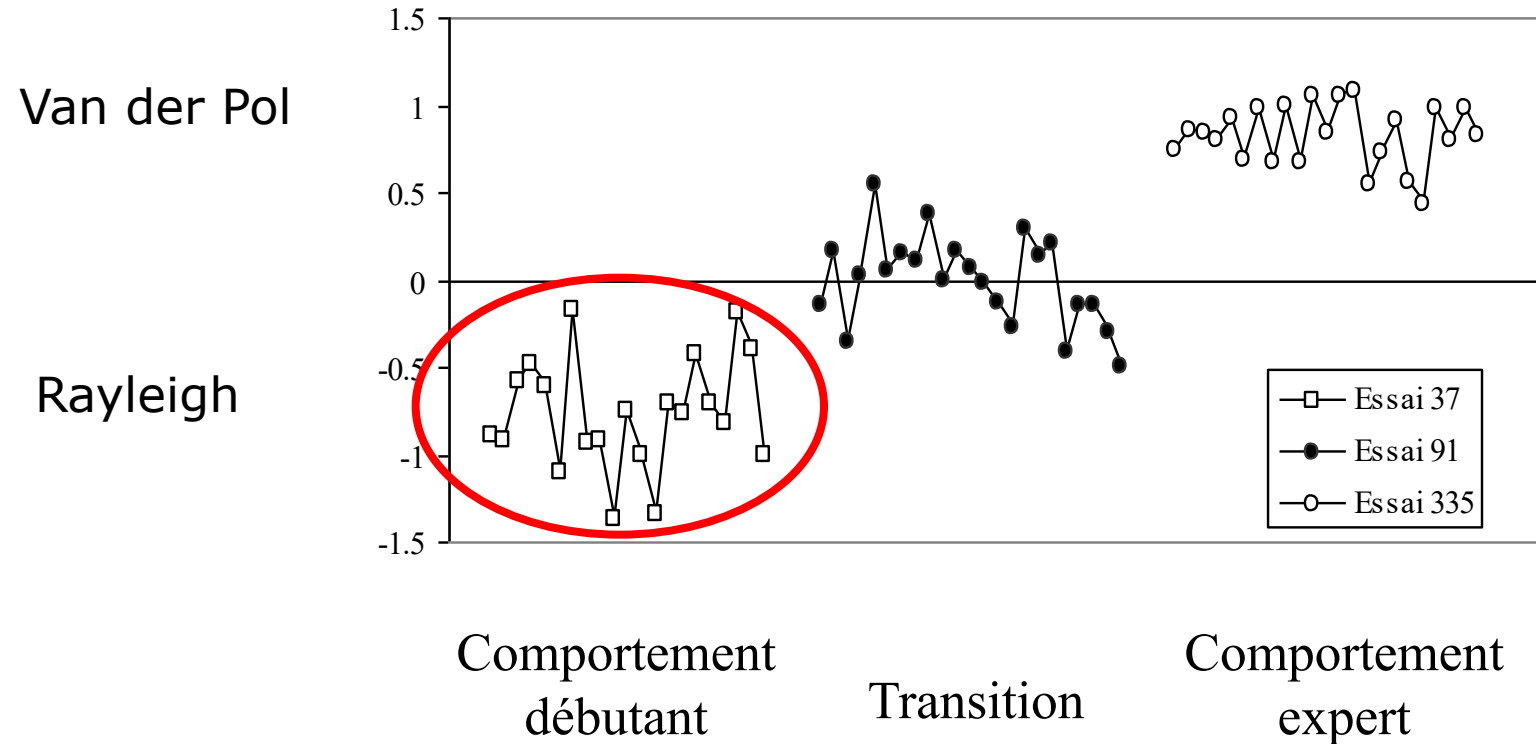
Puis le sujet entre dans une phase de transition.  
Durant cette phase les deux comportements sont exploités en alternance. Cette phase peut durer jusqu'à 150 essais



Enfin le sujet adopte de manière exclusive le comportement expert. Il ne revient plus au comportement débutant.

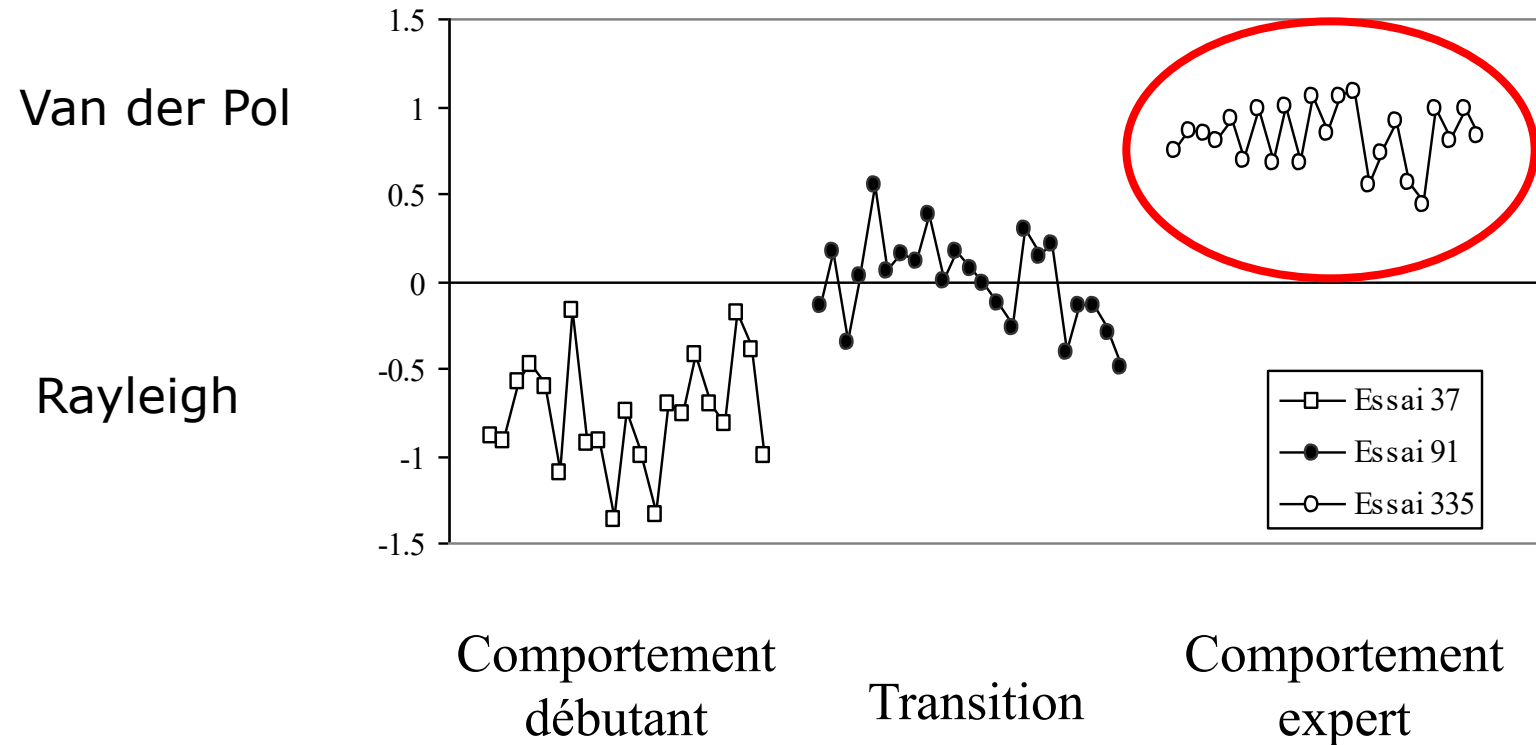


## Evolution cycle-à-cycle de l'amortissement dans trois essais caractéristiques



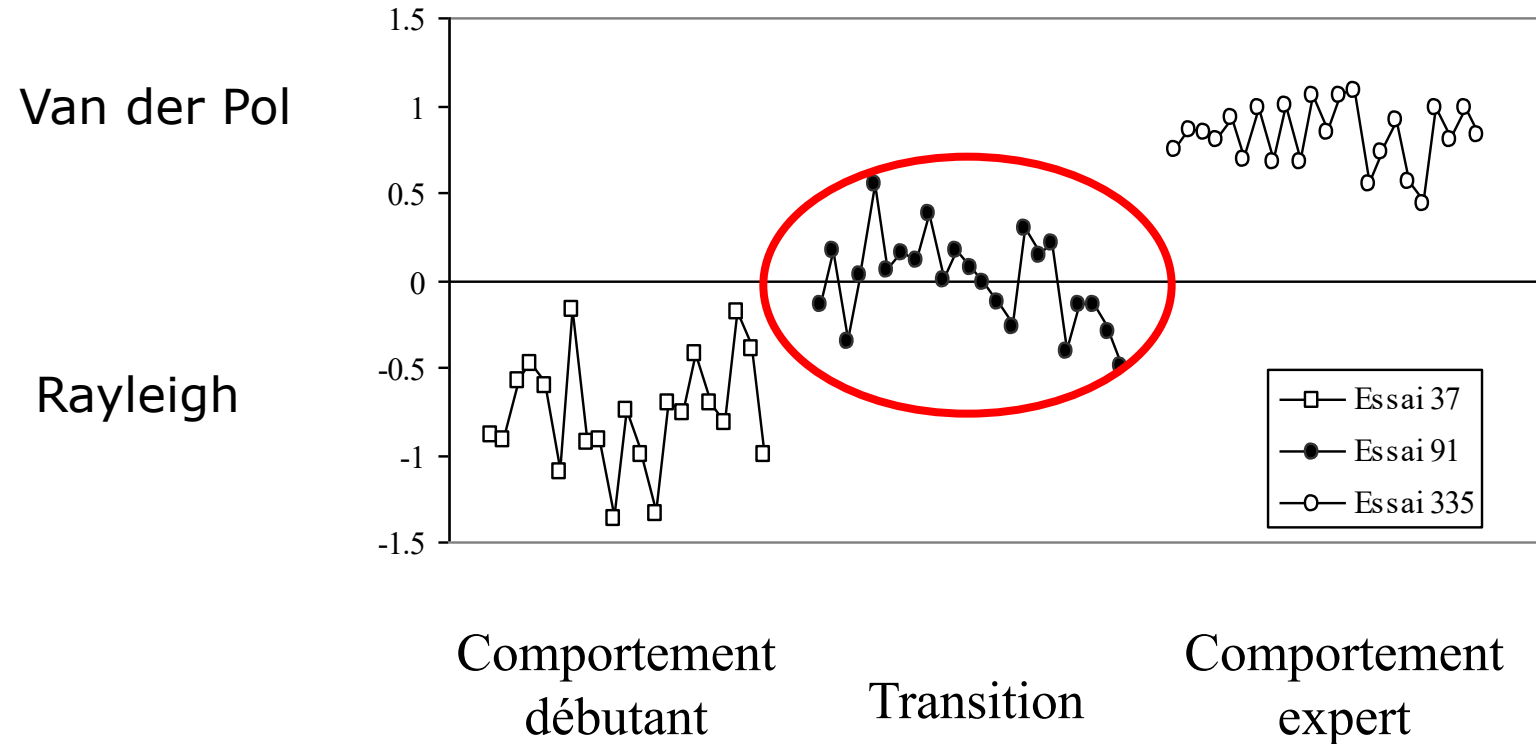
Lors de la phase initiale le comportement débutant est utilisé de manière exclusive. Il présente une grande variabilité d'un cycle à l'autre

## Evolution cycle-à-cycle de l'amortissement dans trois essais caractéristiques



Lors de la phase finale le comportement expert est utilisé de manière exclusive. Il présente une grande stabilité d'un cycle à l'autre

## Evolution cycle-à-cycle de l'amortissement dans trois essais caractéristiques



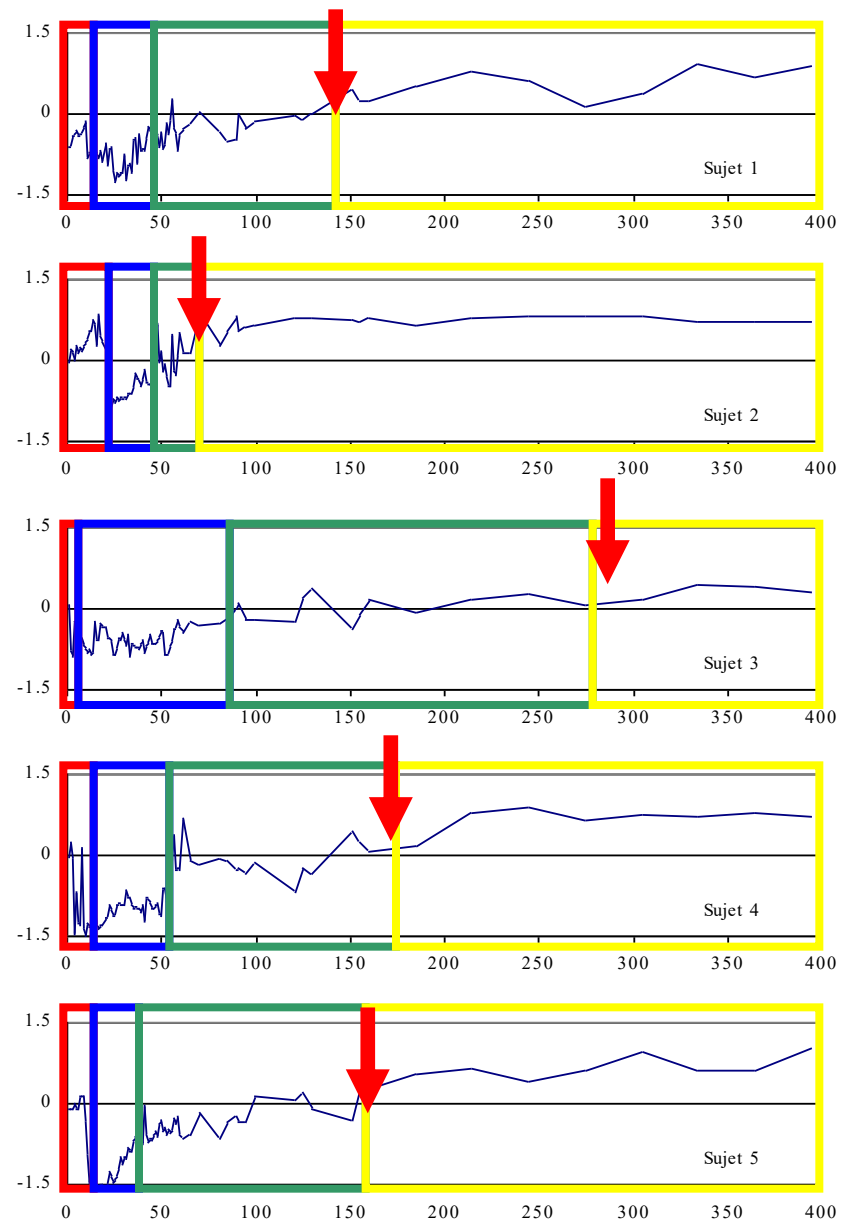
Durant la période de transition les deux comportements sont exploités de manière alternée, d'un cycle à l'autre



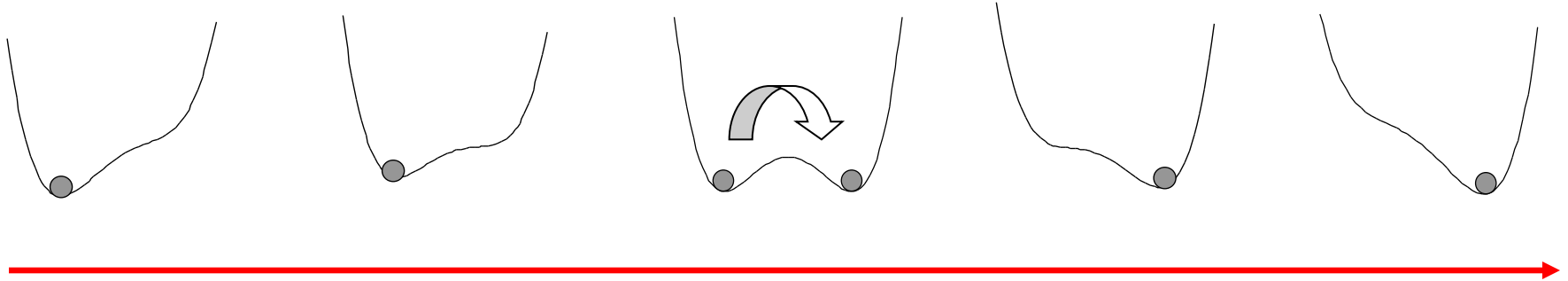
Tous les sujets présentent les mêmes phases, dans le même ordre

La durée de ces phases peut être variable d'un sujet à l'autre

Le passage définitif au comportement expert se fait après un temps de pratique très variable



# Une modélisation dynamique de l'apprentissage



L'apprentissage est une transition de phase, déterminée par l'évolution du paysage des attracteurs.

Régime  
monostable  
(Van der Pol  
/ débutant)

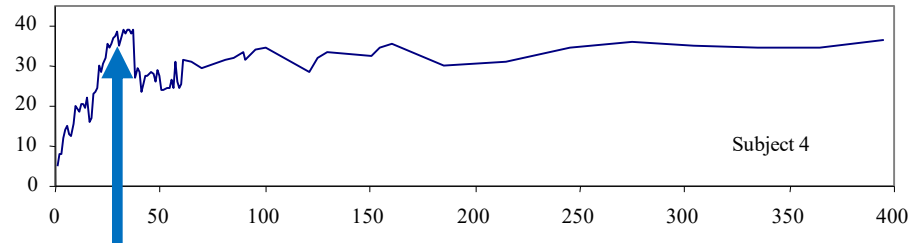


Régime  
bistable  
(transition)

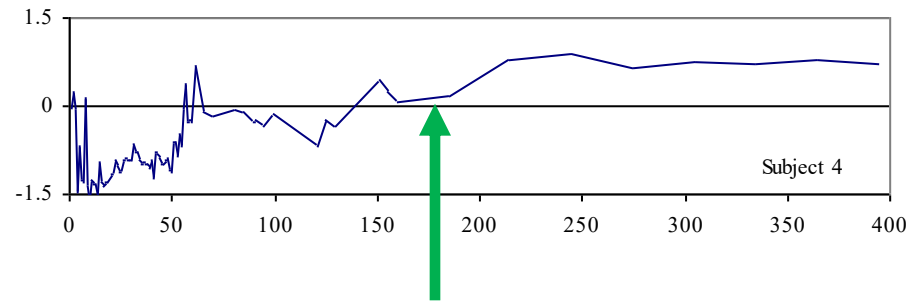


Régime  
monostable  
(Rayleigh /  
expert)

Amplitude  
(perf quantitative)



Comportement  
(qualitatif)



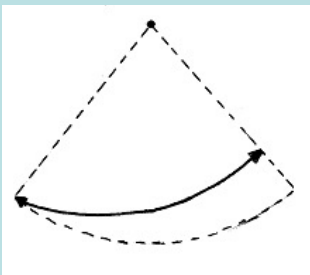
L' amplitude maximale est atteinte très tôt, par exploitation du comportement débutant

Le véritable apprentissage intervient plus tard, lors de l' adoption du comportement expert

→ La performance ne constitue pas nécessairement un bon indicateur de l' apprentissage



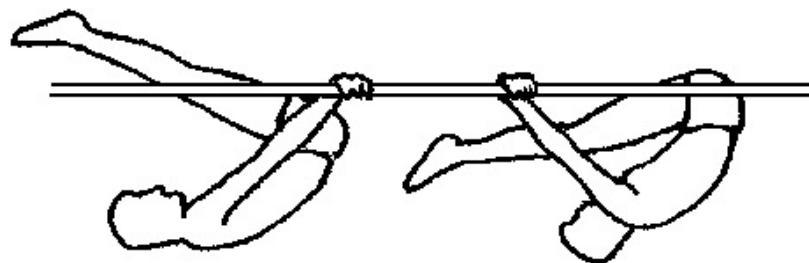
# Apprentissage des balancers en suspension mi-renversée aux barres parallèles



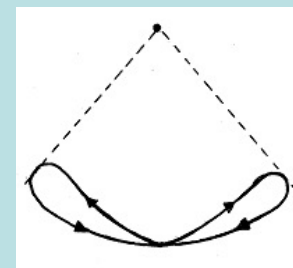
Débutant

PR de  $0^\circ$

Rapport de 1:1



b.



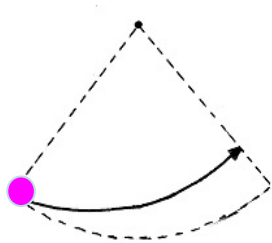
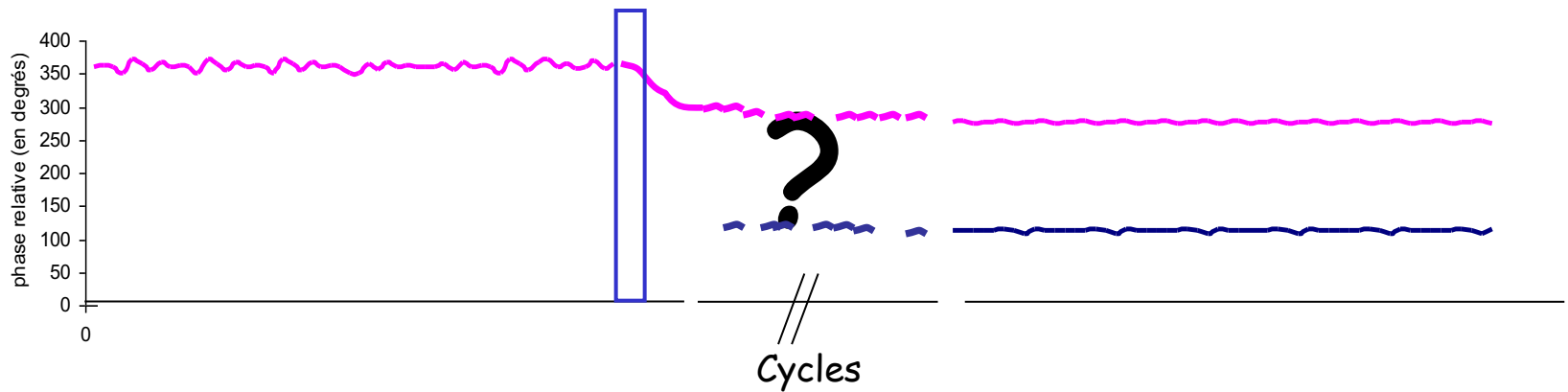
Expert

PR de  $90^\circ$  /  $270^\circ$

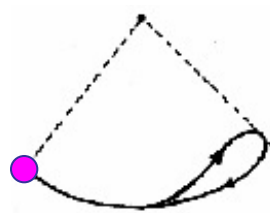
Rapport de 2:1

# Débutants

# Experts

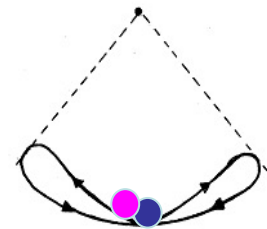


1 forçage  
Vers 0°



Dérive

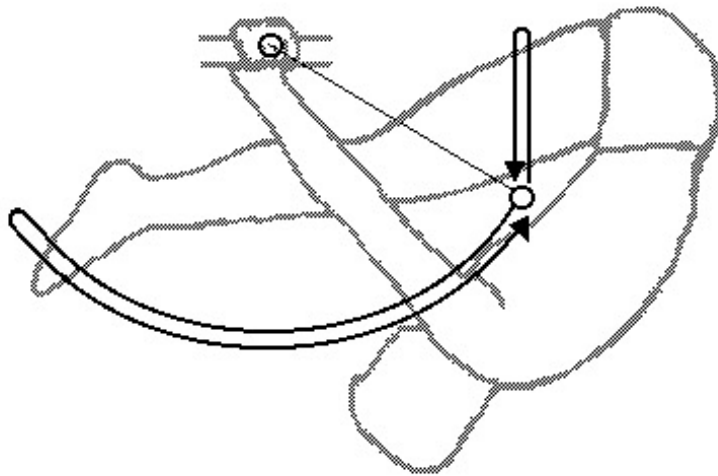
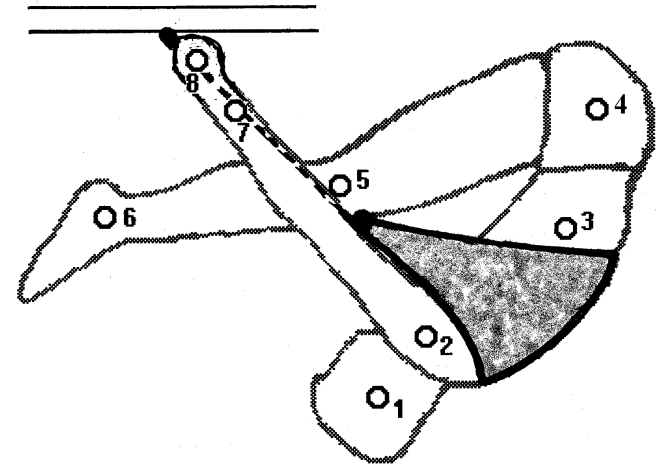
↖ Alternance ↗



2 forçages  
Vers  
90° / 270°

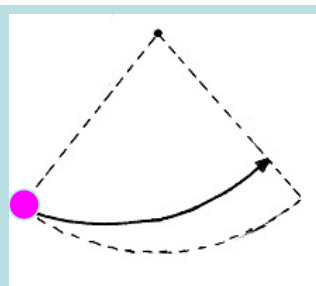
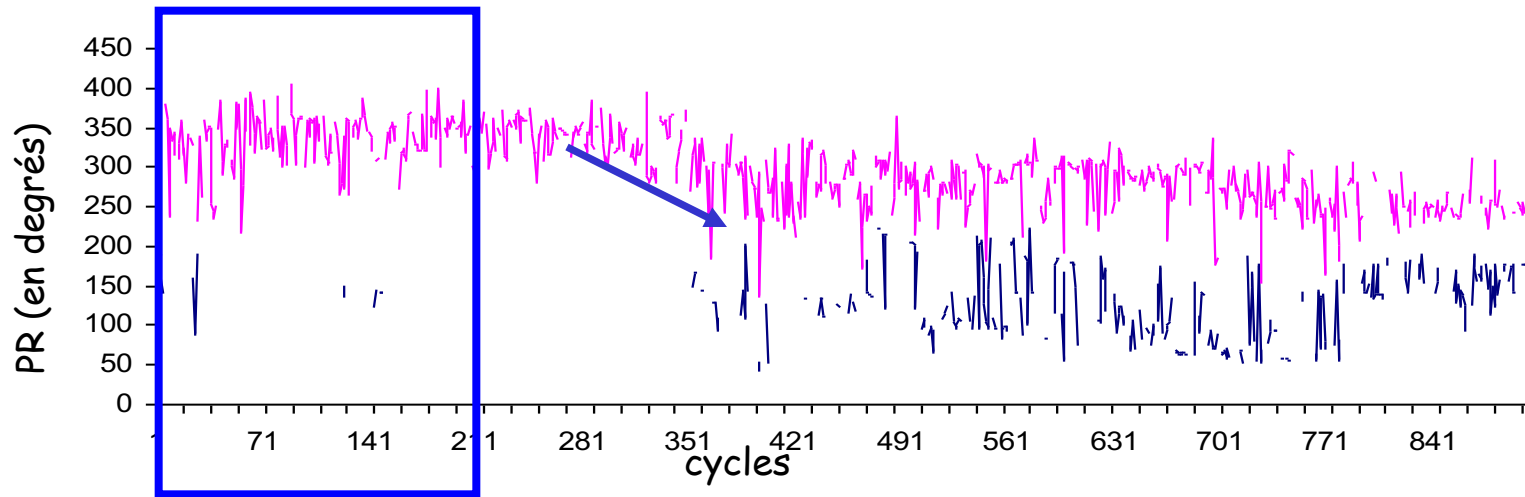
*Teulier, 2005*

- ✓ 3 sujets
- ✓ 12 sessions sur 4 semaines
- ✓ 8 essais de 20 secondes par sessions



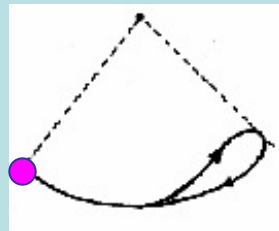
Oscillations pendulaires/  
Oscillations **verticales**  
du centre de gravité

# Participant 1



PR 0°

1:1



PR 270°

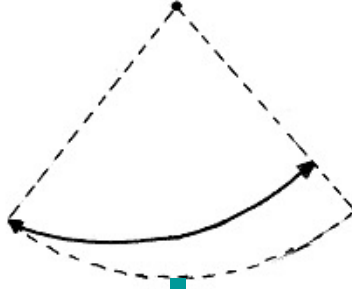
dérive

Alternance

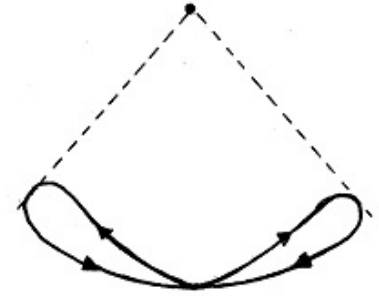
PR 140° / 270°

1:1 / 2:1

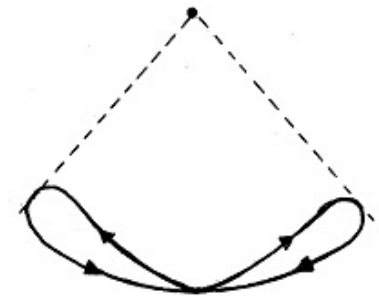
Phase initiale



Phase de transition



Phase finale





**Le comportement débutant** est une première adaptation la tâche, répondant à des exigences de facilité de contrôle

Le comportement débutant permet de satisfaire aux exigences de la tâche et d'atteindre des niveaux acceptables de performance

**Le comportement expert** est caractérisé par une exploitation optimale des contraintes, un haut niveau d'efficacité et une grande stabilité

La transition du comportement débutant au comportement expert n'est ni progressive, ni brutale

Cette transition s'opère au travers d'une phase d'alternance, où les deux comportements sont utilisés de manière alternée

## La phase initiale est essentielle:

Le comportement débutant doit dans un premier temps être stabilisé pour permettre son dépassement

Le comportement débutant constitue une sorte de « tête de pont », permettant l'exploration du système, la découverte et l'exploitation de la coordination experte

# Plan du cours

## Introduction : définitions

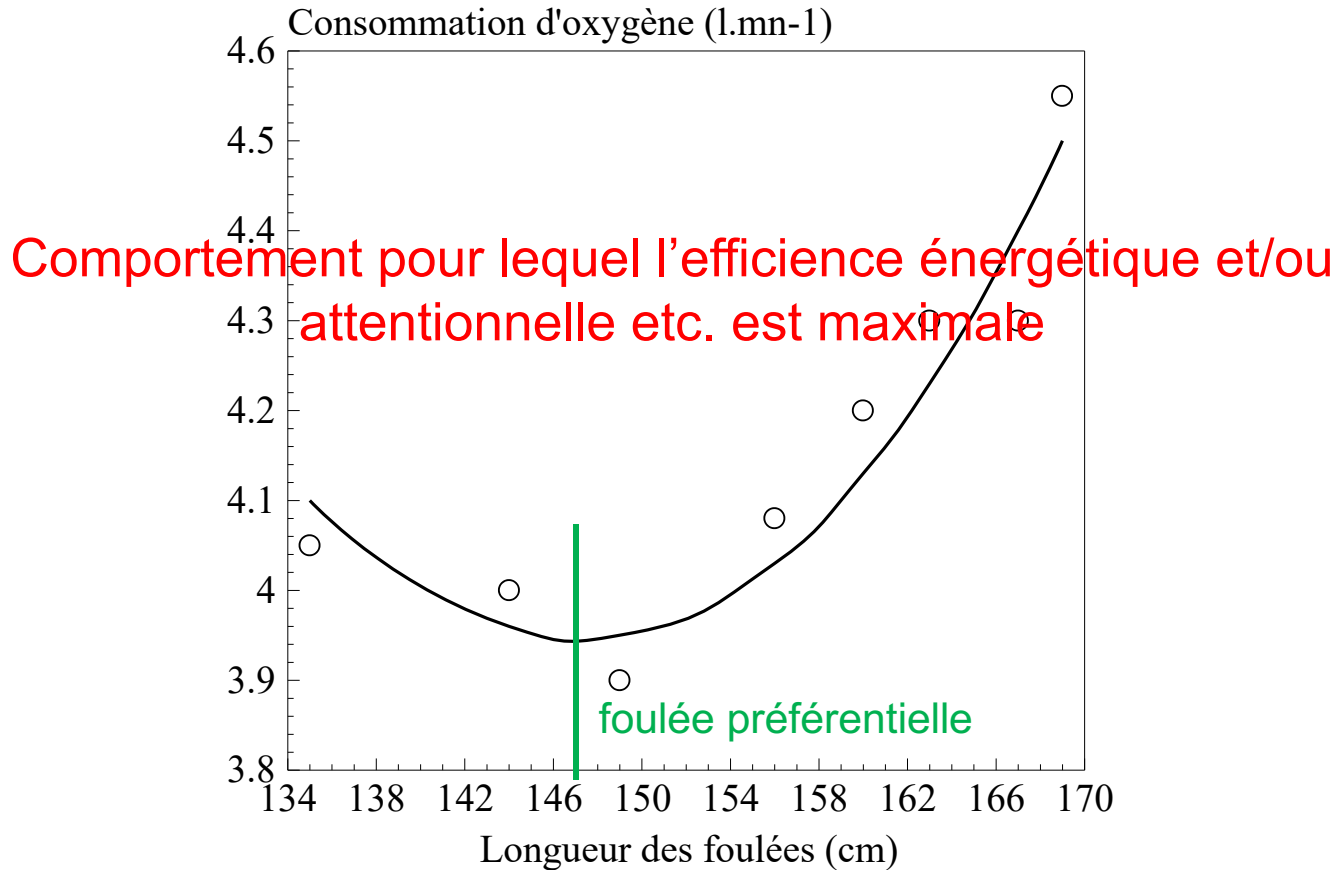
1. Habileté et traitement de l'information
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficience
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances

## 4. Apprentissage et efficacité

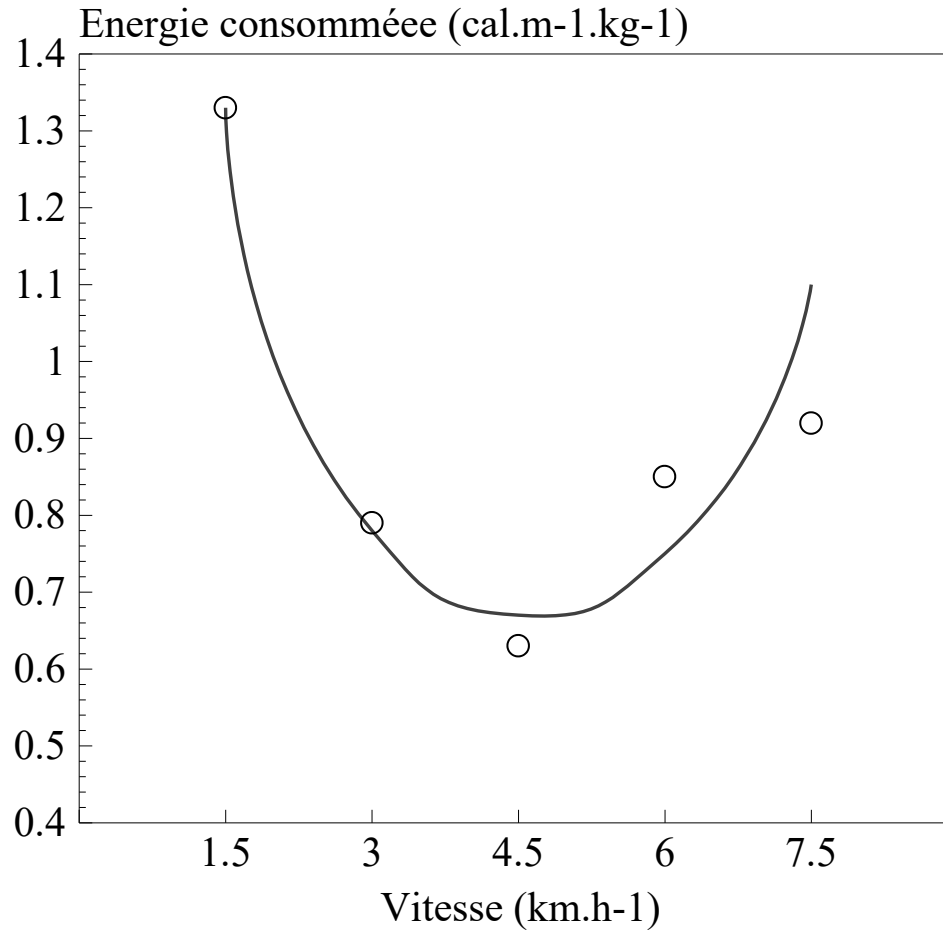
### 4.1. Régimes optimaux de travail

### 4.2. Apprentissage et optimisation

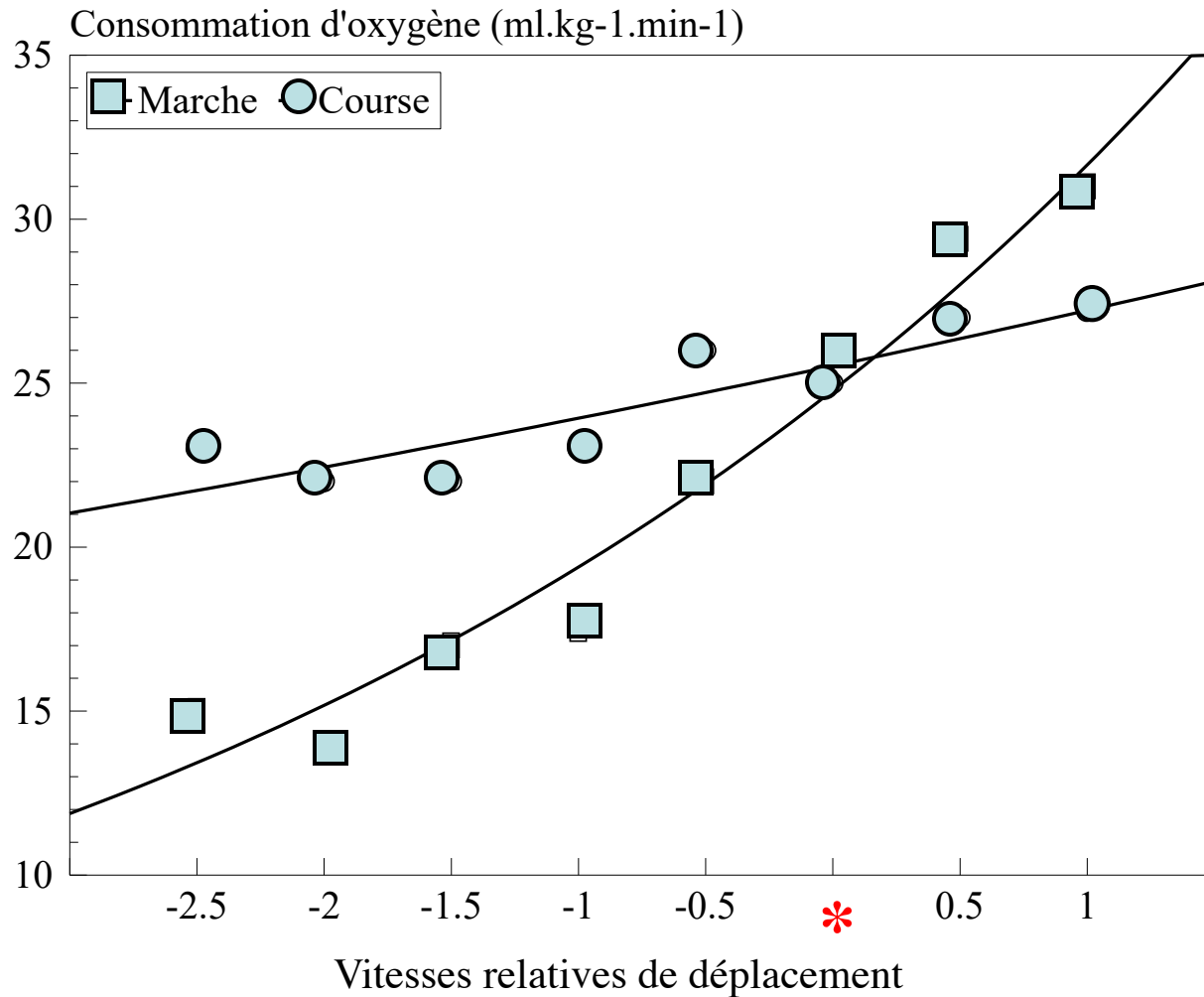
### 4.3. Stabilité et efficacité



Consommation d'oxygène en fonction de la longueur des foulées lors d'une course à 16 km/h. Le trait vertical indique l'amplitude spontanément adoptée par les sujets (d'après Hogberg, 1952).



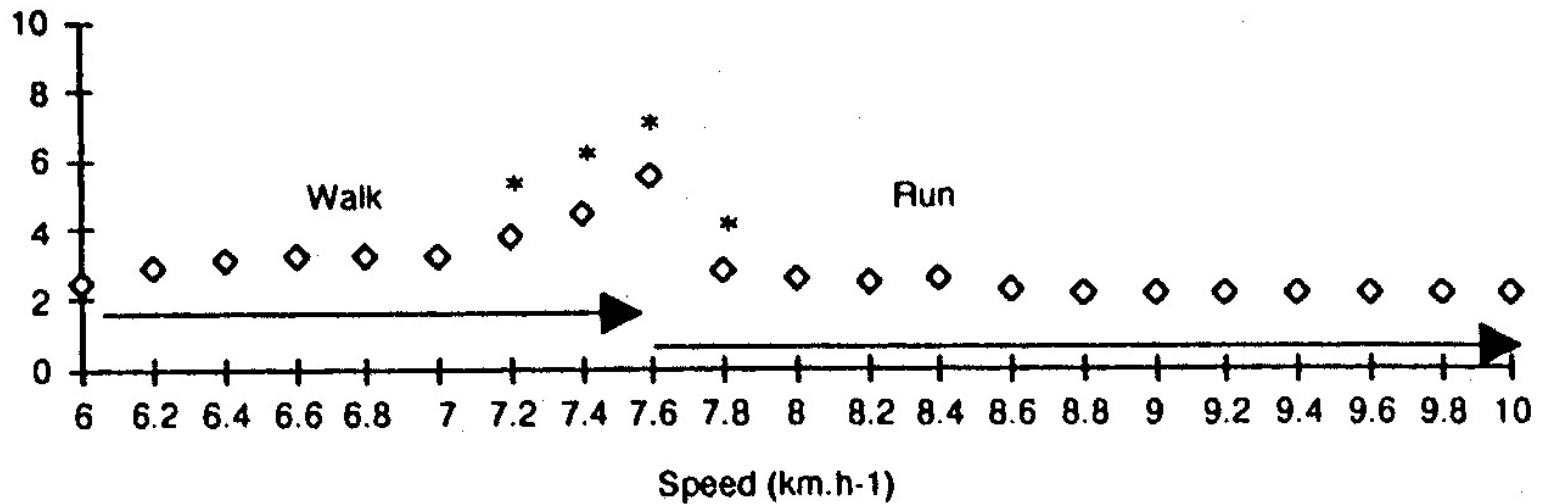
Relation entre le coût énergétique de la marche et la vitesse de déplacement  
(données d'après Ralston, 1958)



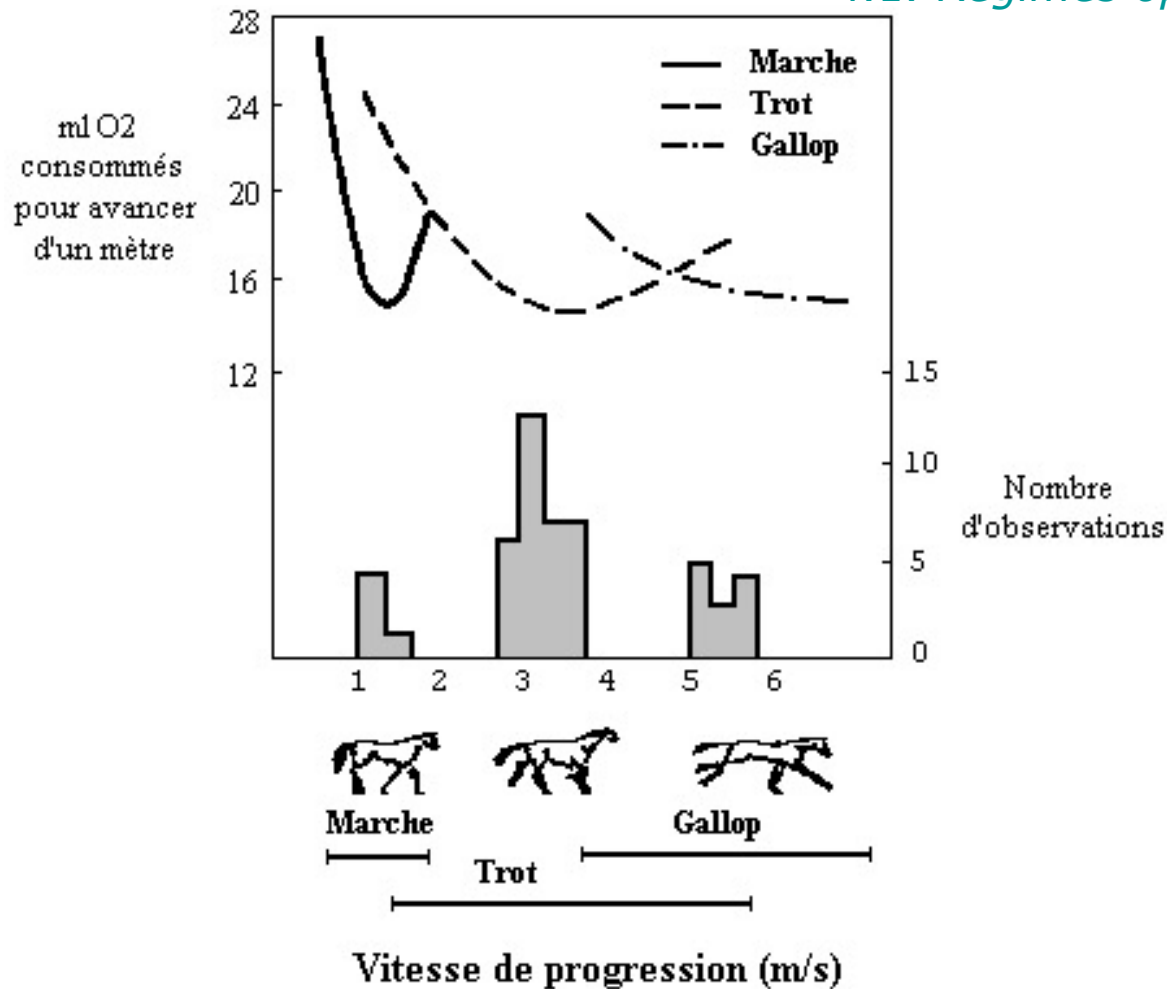
Consommation d'oxygène lors de la marche et de la course. L'étoile indique le palier où en moyenne les sujets sont passés de la marche à la course, dans une condition leur laissant le libre choix de l'allure.



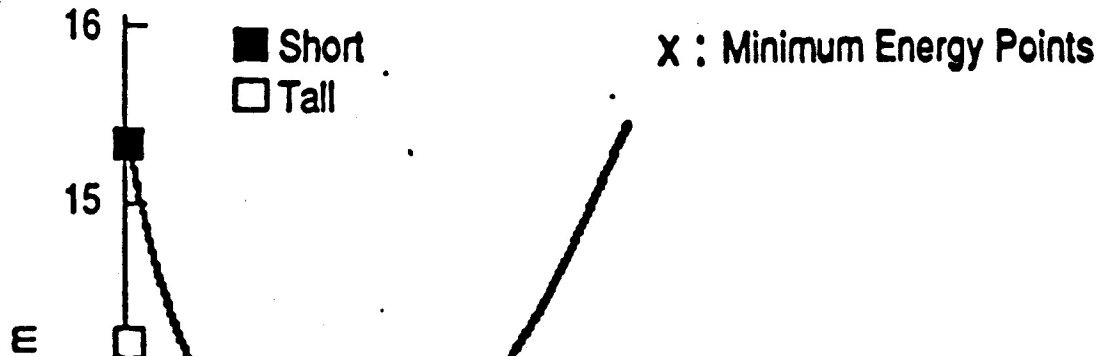
Stride duration variability (%)



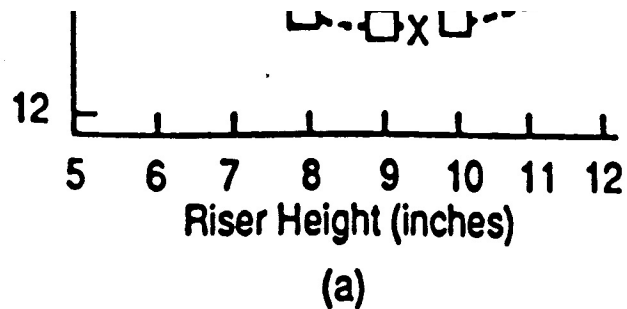
Variabilité de la durée du pas, en fonction de la vitesse de déplacement, lors d'un protocole d'incrémentation progressive de la vitesse. Une transition marche-course apparaît entre 7.6 et 7.8 km/h (Brisswalter & Mottet, 1996)



Profils métaboliques des principaux modes de locomotion chez le cheval, et fréquence d'apparition de ces différents modes en fonction de la vitesse de déplacement (d'après Hoyt & Taylor, 1981)



→ L'optimum énergétique n'est pas absolu :  
Il dépend des caractéristiques morphologiques des individus



Warren (1988)

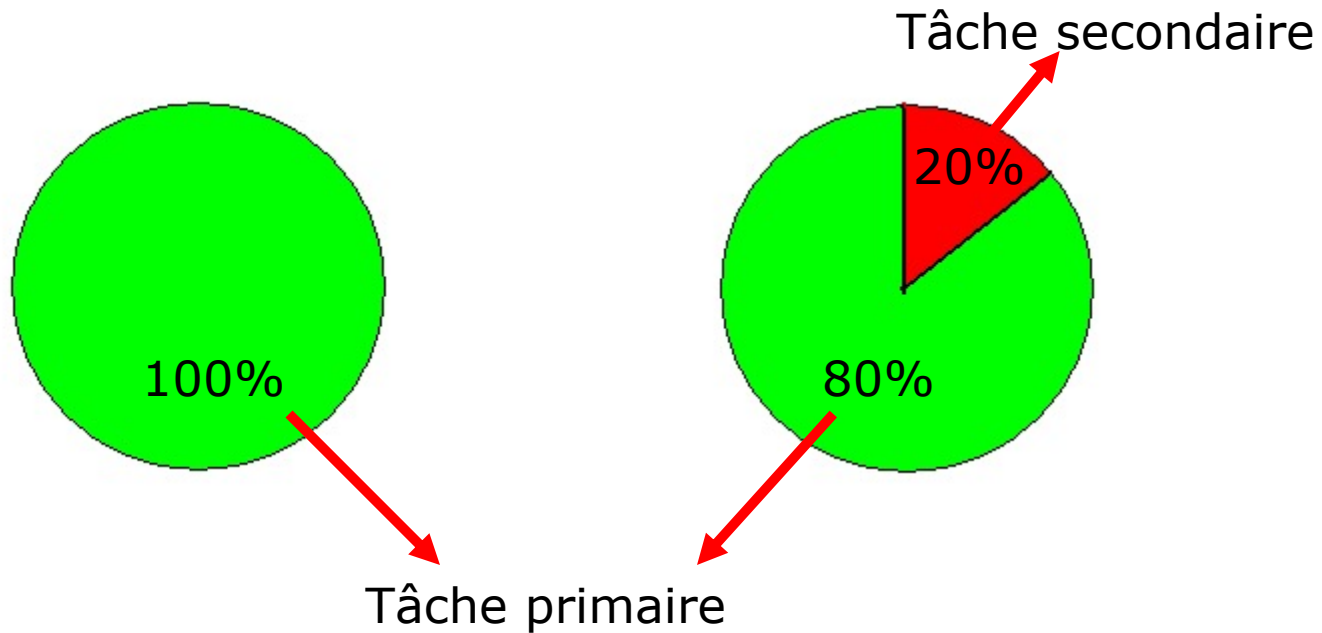
# L' évaluation de l' efficacité cognitive

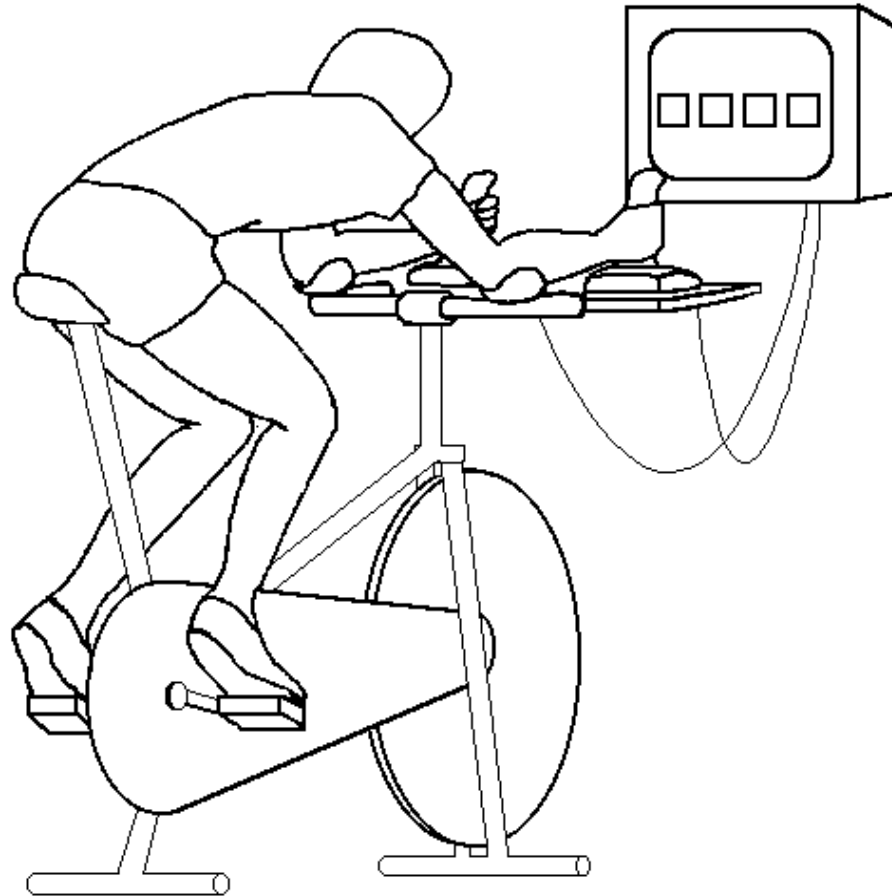
Quantité de ressources de traitement de l'information que l'on doit investir pour réaliser une tâche

## Le paradigme de la double-tâche

1. On mesure la performance du sujet dans une première tâche, dite tâche primaire (en général une tâche de temps de réaction simple ou binaire)
2. On mesure la performance du sujet dans la tâche primaire, alors qu' il réalise simultanément une seconde tâche
3. La différence entre les deux performances sur la première tâche mesure la quantité de ressources utilisée par la tâche secondaire

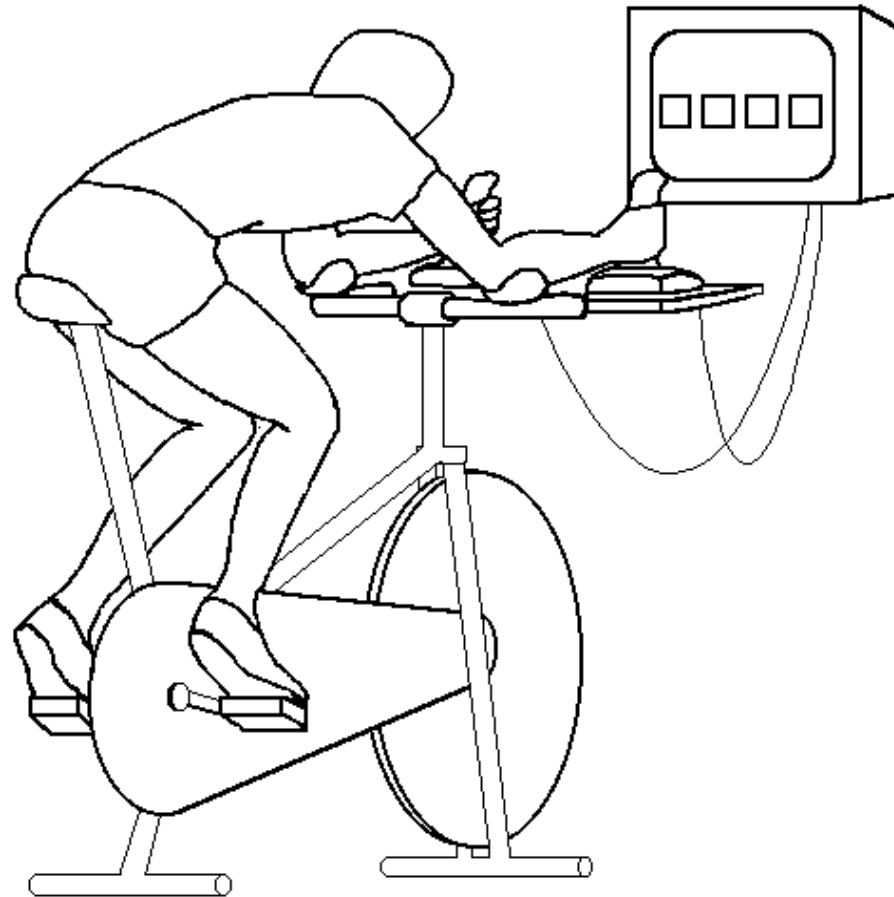
# Exploitation des ressources de traitement en double-tâche





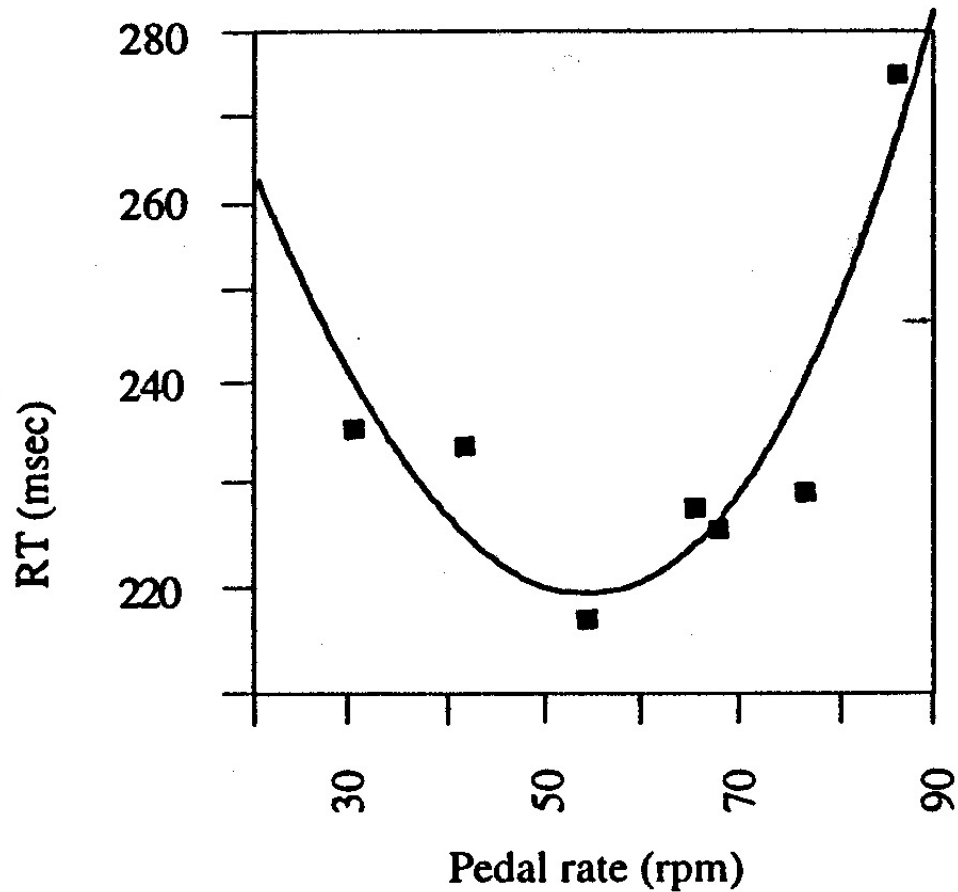
Tâche primaire: temps de réaction de choix  
Tâche secondaire: pédalage sur cyclo-ergomètre

(Brisswalter, Durand, Delignières & Legros, 1995)



**→ Influence de la fréquence de pédalage sur cycloergomètre sur la performance dans une tâche simultanée de temps de réaction?**

(Brisswalter, Durand, Delignières & Legros, 1995)



Le temps de réaction est plus rapide lorsque l'on pédale dans le régime optimal de travail (Brisswalter, Durand, Delignières & Legros, 1995)

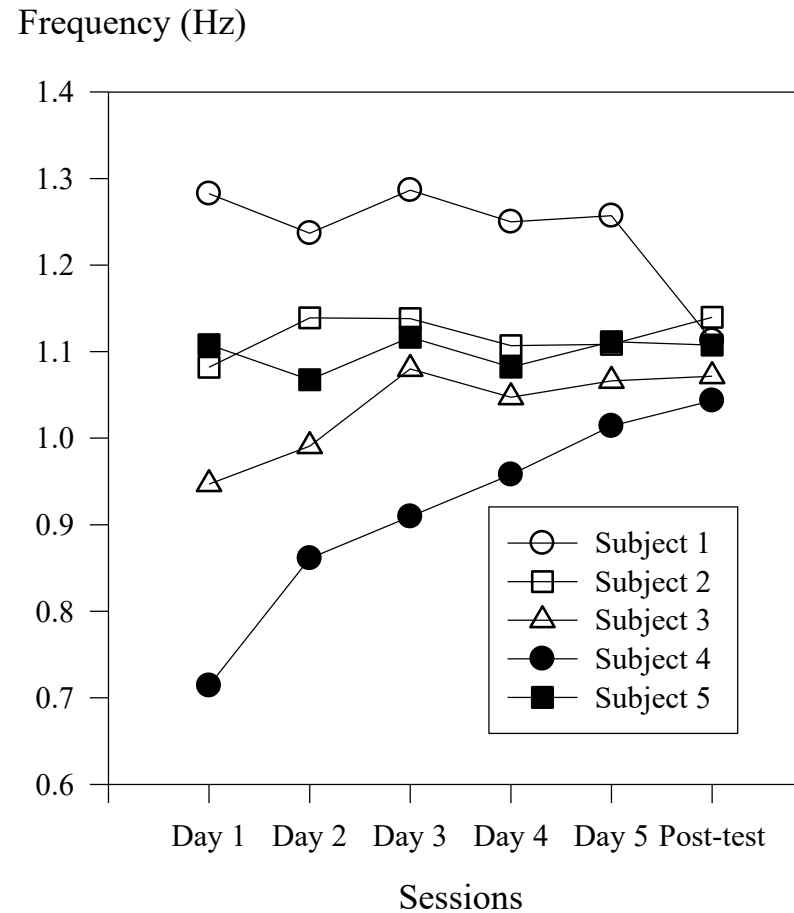
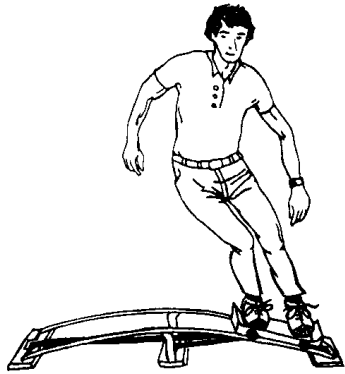


## 4. Apprentissage et efficience

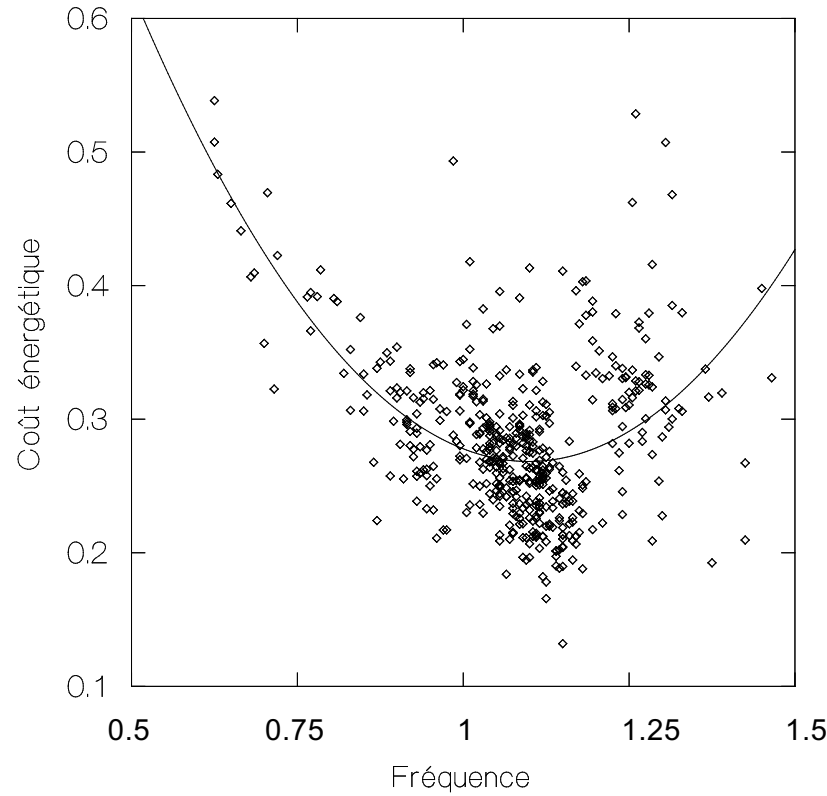
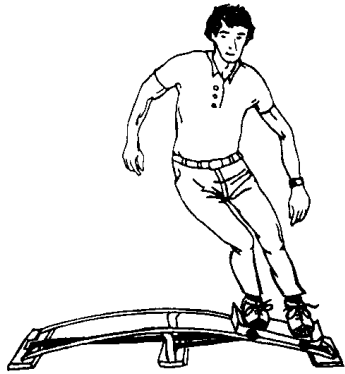
4.1. Régimes optimaux de travail

4.2. Apprentissage et optimisation

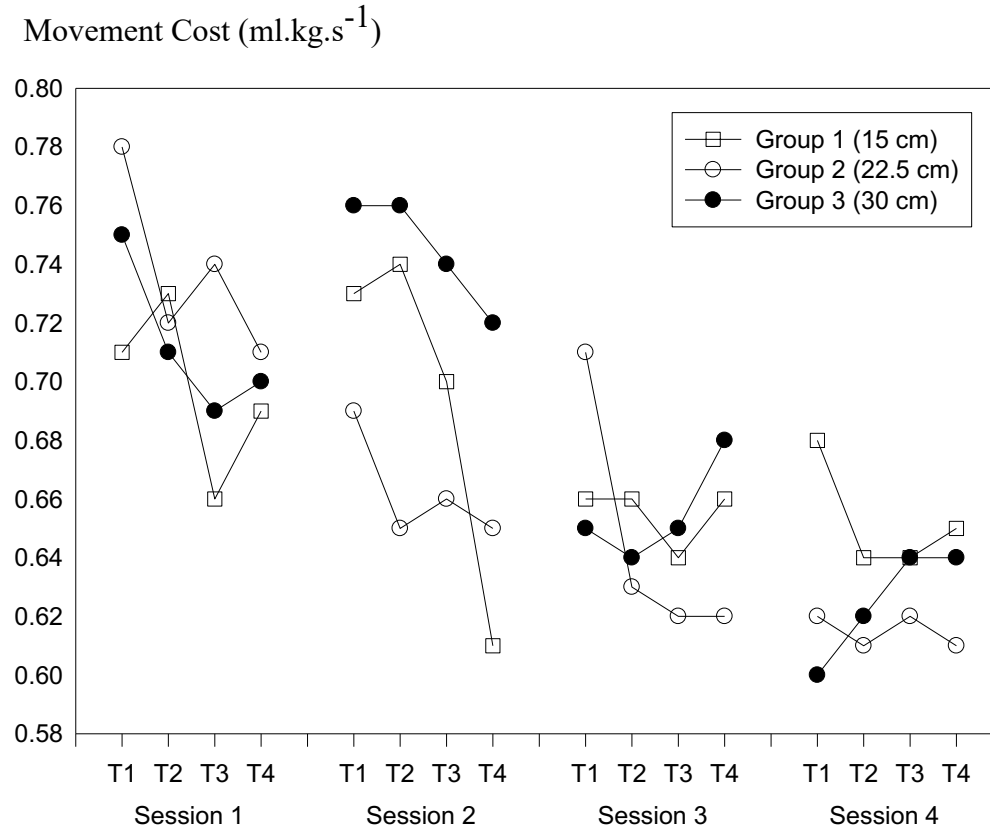
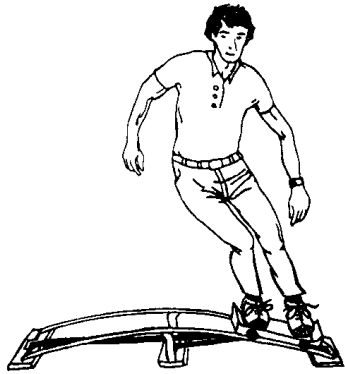
4.3. Stabilité et efficience



Evolution individuelle de la fréquence d'oscillation sur simulateur de ski  
(Durand, Geoffroi, Varray & Préfaut, 1994)



Relation entre fréquence d'oscillation et coût énergétique sur le simulateur de ski  
Delignières, Geoffroy, Nourrit & Durand (1996)



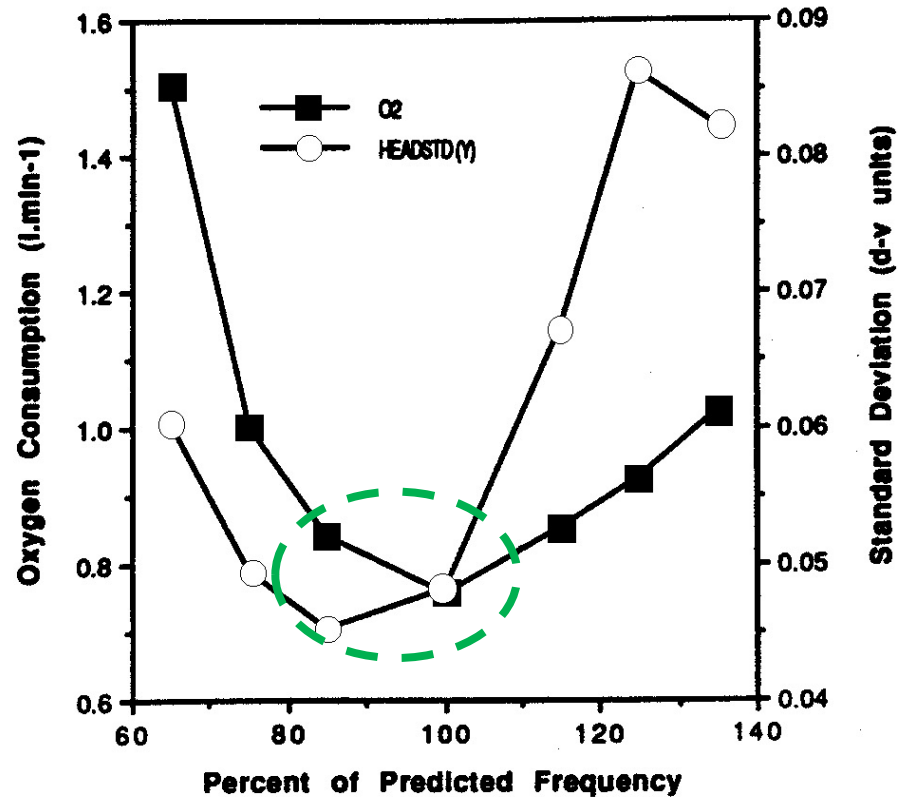
Evolution du coût du mouvement avec l'apprentissage  
 Nourrit, Lauriot, Deschamps, Caillou & Delignières (2000)

## 4. Apprentissage et efficacité

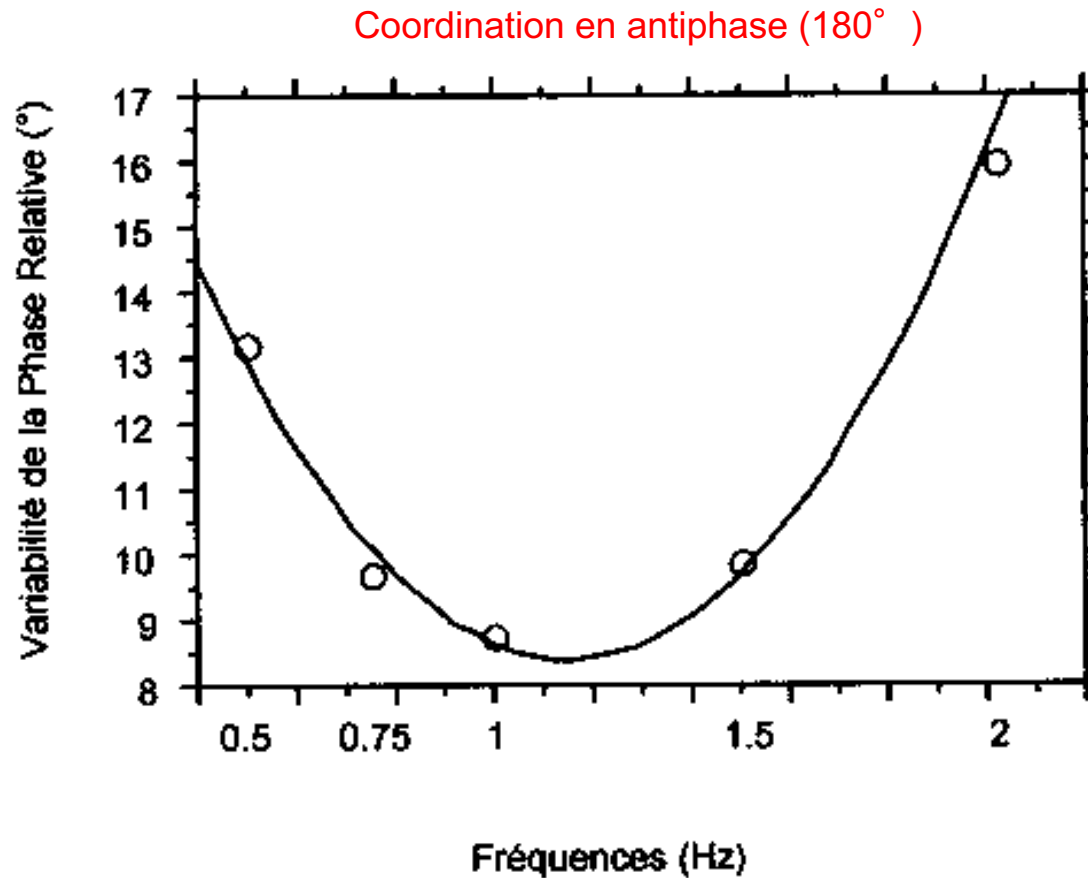
4.1. Régimes optimaux de travail

4.2. Apprentissage et optimisation

4.3. Stabilité et efficacité

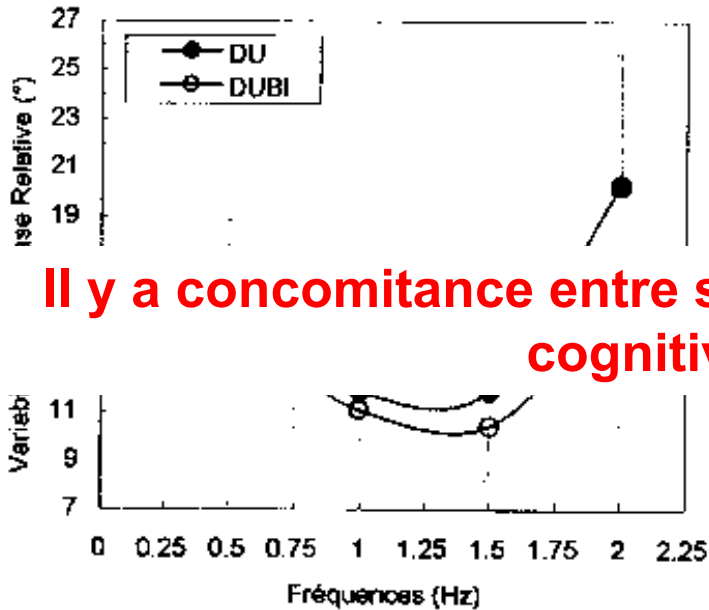


Consommation d'oxygène et stabilité de la tête,  
 en fonction de la fréquence de marche.  
 (Holt, Jeng, Ratcliffe & Hamill, 1995)

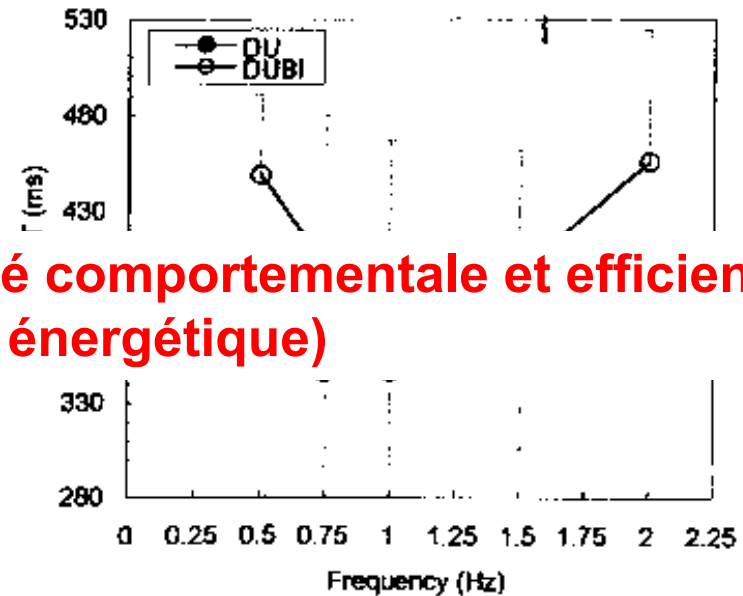


Influence de la fréquence d'oscillation sur la stabilité de la phase relative dans une tâche de coordination bi-manuelle (Monno, 2000)

## Stabilité de coordination



## Efficacité cognitive



**Il y a concomitance entre stabilité comportementale et efficacité cognitive (ou énergétique)**

Tâches de coordination bi-manuelles:

Influence de la fréquence d'oscillation sur la stabilité de la phase relative (à gauche) et sur le temps de réaction dans la tâche simultanée (à droite)  
(Monno, 2000)



# Plan du cours

## Introduction : définitions

1. Habileté et traitement de l'information
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficacité
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances

## 5. Apprentissage et conditions d'apprentissage

### 5.1. Répétition, consistance et automatisations

5.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

5.3. La démonstration

5.4. Variabilité de la pratique

5.5. L'interférence contextuelle

5.6. Feedbacks

5.7. L'apprentissage piloté par les contraintes

Shiffrin et Schneider (1977) distinguent les **processus contrôlés** et les **processus automatiques**

Les processus contrôlés:

- Fonctionnent en série
- Sont contrôlés par la conscience
- Demandent de l'attention
- Demandent du temps

Les processus automatiques:

- Fonctionnent en parallèle
- Se déroulent en dehors du champ de la conscience
- Ne réclament aucun effort
- Sont extrêmement rapides

Un exemple:  
L'effet Stroop

Lisez le mot

**VERT**

**ROUGE**

**VERT**

**ROUGE**

**BLEU**

**VERT**

**BLEU**

**ROUGE**

**BLEU**

**ROUGE**

**VERT**

**BLEU**

Un exemple:  
L'effet Stroop

Nommez la couleur

**VERT**

**ROUGE**

**BLEU**

**ROUGE**

**BLEU**

**ROUGE**

**VERT**

**BLEU**

**BLEU**

**VERT**

**ROUGE**

**VERT**

Un exemple:  
L'effet Stroop

Nommez la couleur

La lecture des mots et la désignation des couleurs sont automatiques

Par contre, la dissociation du texte et de la couleur renvoie à un processus contrôlé

**VERT**

**BLEU**

**ROUGE**

**BLEU**

**ROUGE**

**VERT**

**ROUGE**

**VERT**

**ROUGE**

**BLEU**

**VERT**

**BLEU**

## L'expérience de Shiffrin et Schneider (1977)

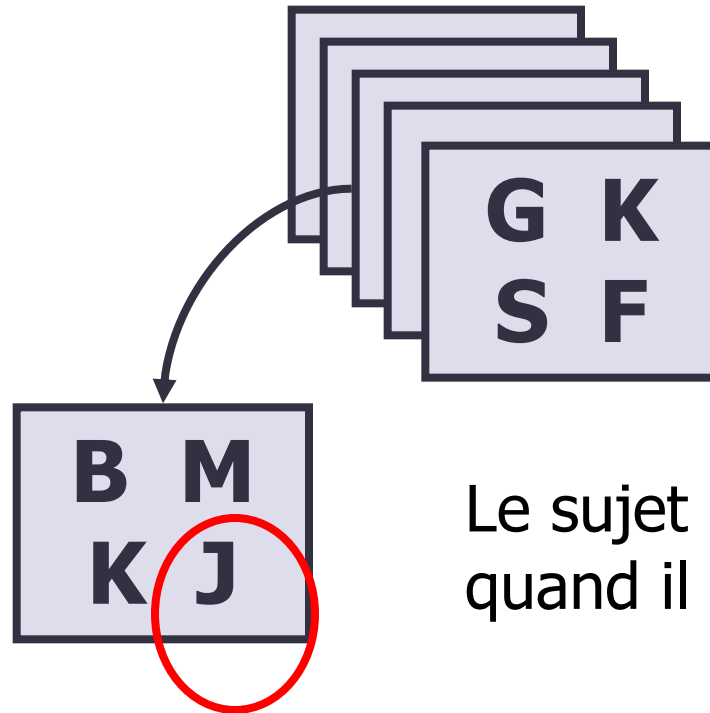
- Tâche de recherche visuelle
  - Les sujets doivent détecter la présence de lettres cibles parmi un ensemble d'autres lettres (distracteurs)
  - Cibles: 1, 2 or 4 lettres à détecter toujours parmi 4 lettres au total

**M**

**J D**

**G K**  
**S F**

## Exemple: deux lettres cibles



Chaque écran est  
présenté pendant  
40 msec

Le sujet presse un bouton  
quand il détecte une cible



## Conditions de pratique “variable” vs. pratique “consistante”

- Pratique variable:
  - Les lettres cibles changent à chaque essai
  - Il n’y a aucune régularité dans la tâche – on doit utiliser des processus contrôlés à tout moment

### Hypothèses:

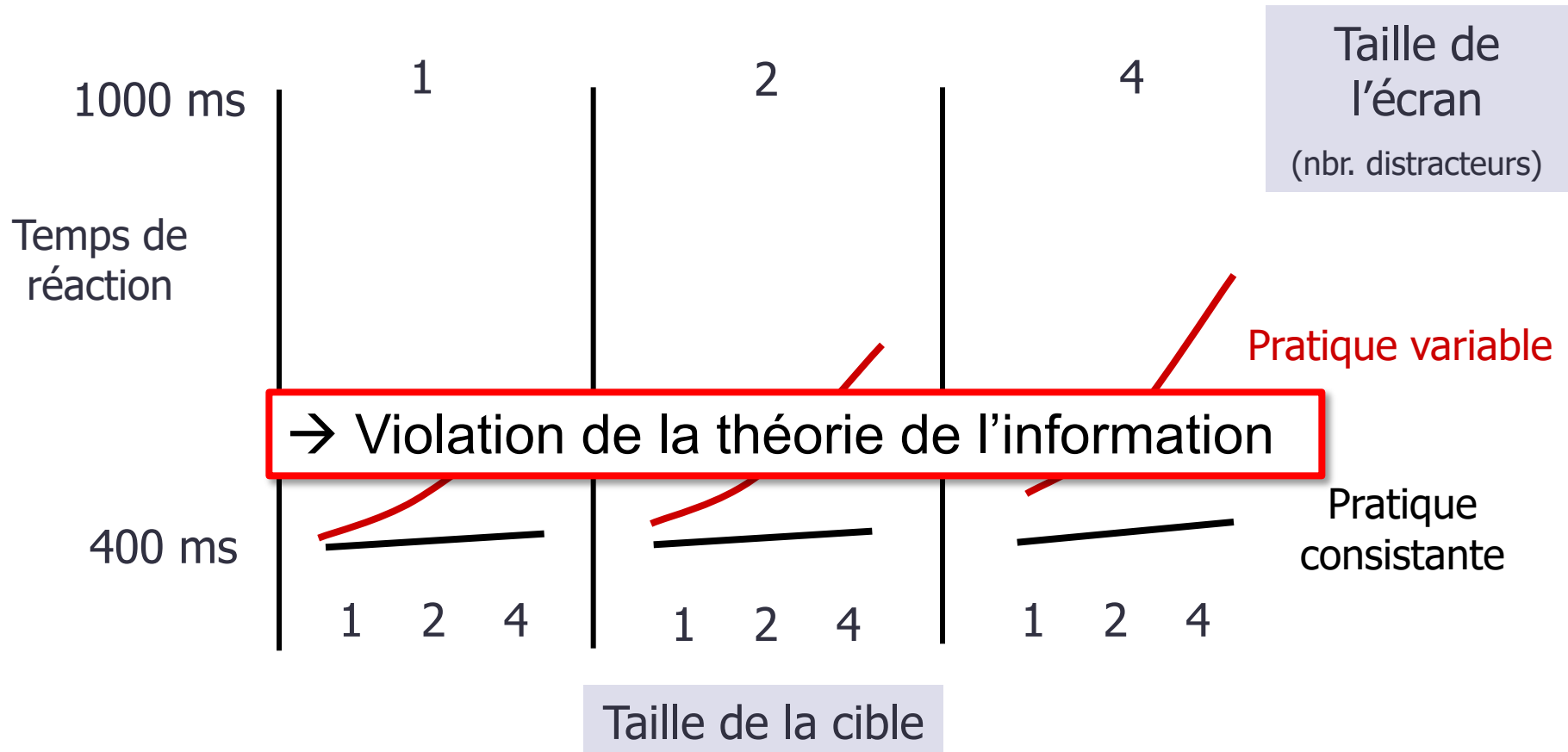
- Le nombre de lettres cibles devrait avoir un effet sur la performance
- Le nombre de distracteurs devrait avoir un effet sur la performance

- Pratique consistante:
  - Les lettres cibles sont identiques d'un essai à l'autre
  - La tâche présente des régularités – on devrait être capables de construire des automatismes

**Hypothèse:**

- Le nombre de lettres cibles ou de distracteurs ne devrait pas avoir d'effet sur la performance

- Résultats après 2100 essais (sur deux semaines)



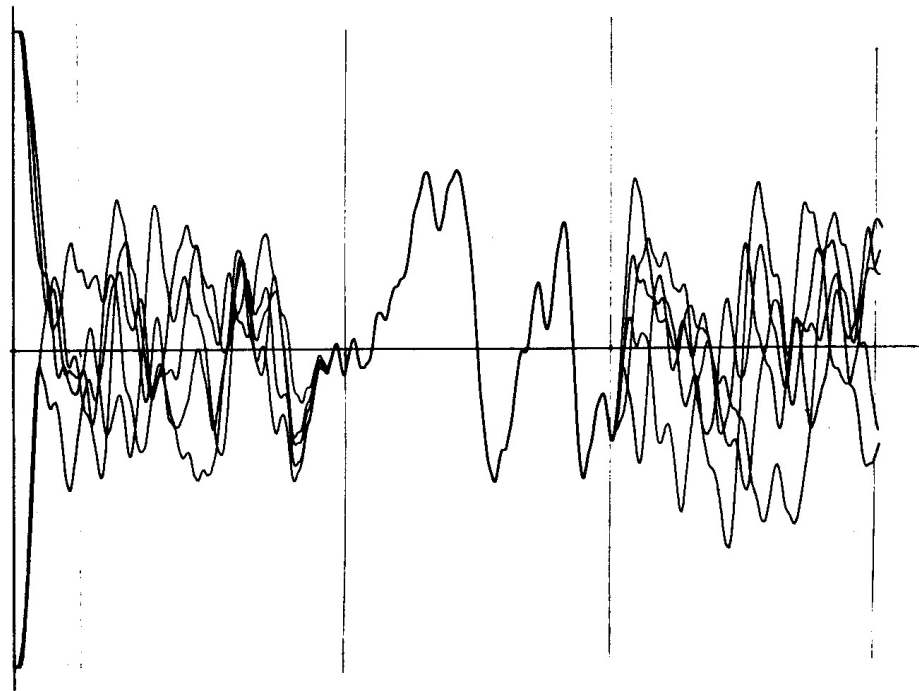
- Conclusions:
  - La consistance de la tâche permet l'automatisation des processus cognitifs
  - C'est la pratique (nécessité de répétition ++), en situation consistante qui est déterminante dans l'automatisation
  - La consistance peut n'être que partielle: le degré d'automatisation est lié au degré de consistance (Camus, 1989)

## L'expérience de Pew (1974)

Les sujets doivent suivre une cible se déplaçant sur un écran

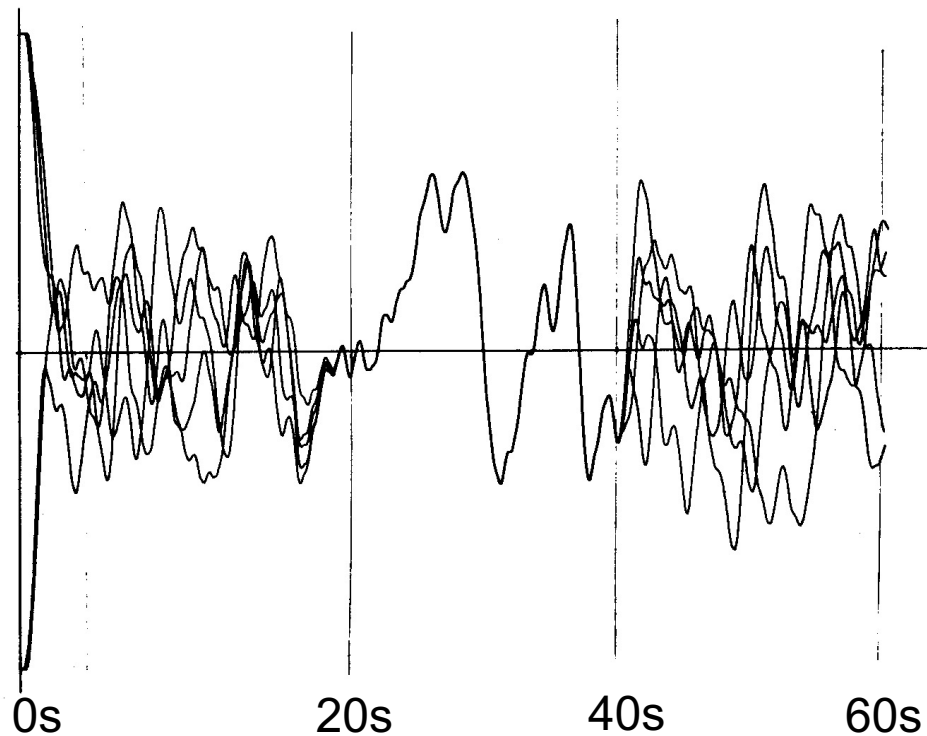
Chaque essai dure une minute

Le déplacement de la cible paraît aléatoire



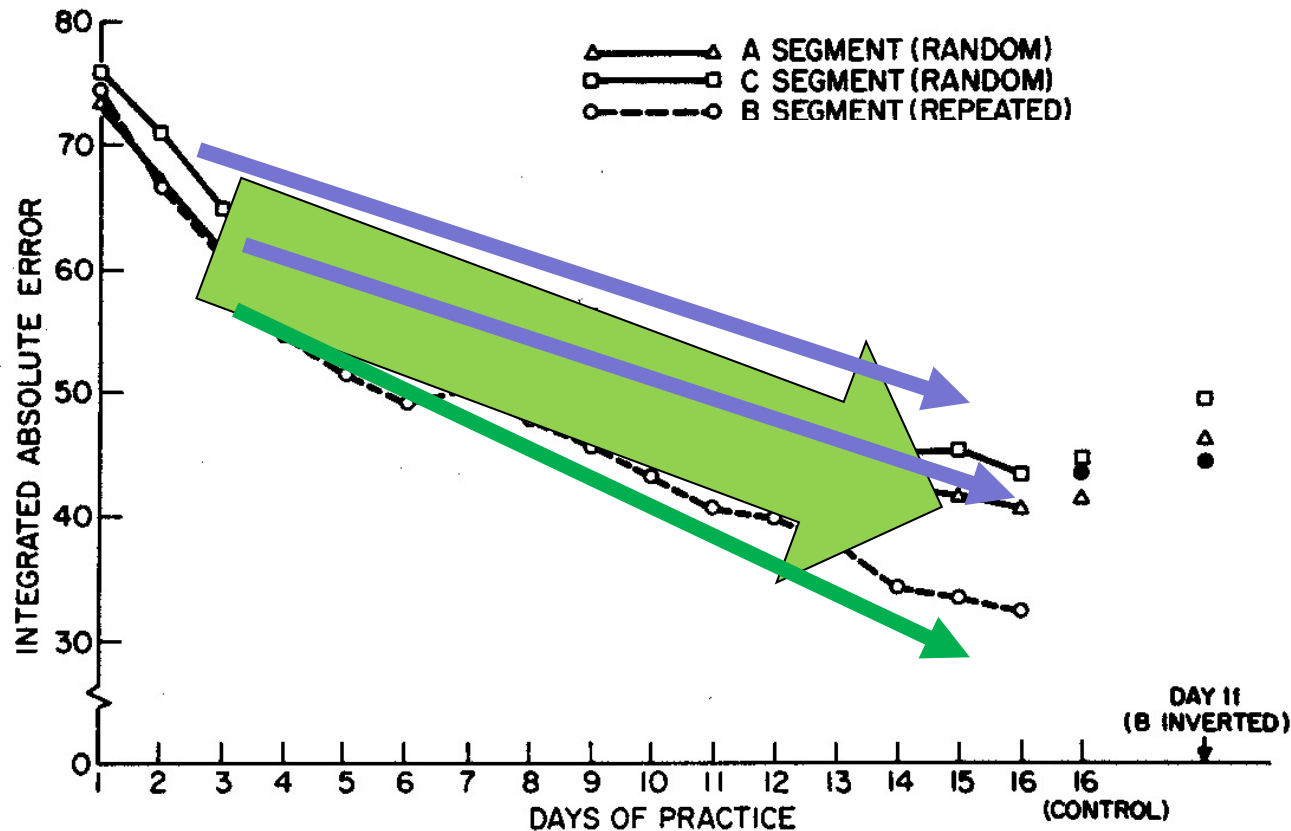
## L'expérience de Pew (1974)

Chaque essai est composé de deux segments aléatoires de 20 secondes, encadrant un segment consistant de 20 secondes



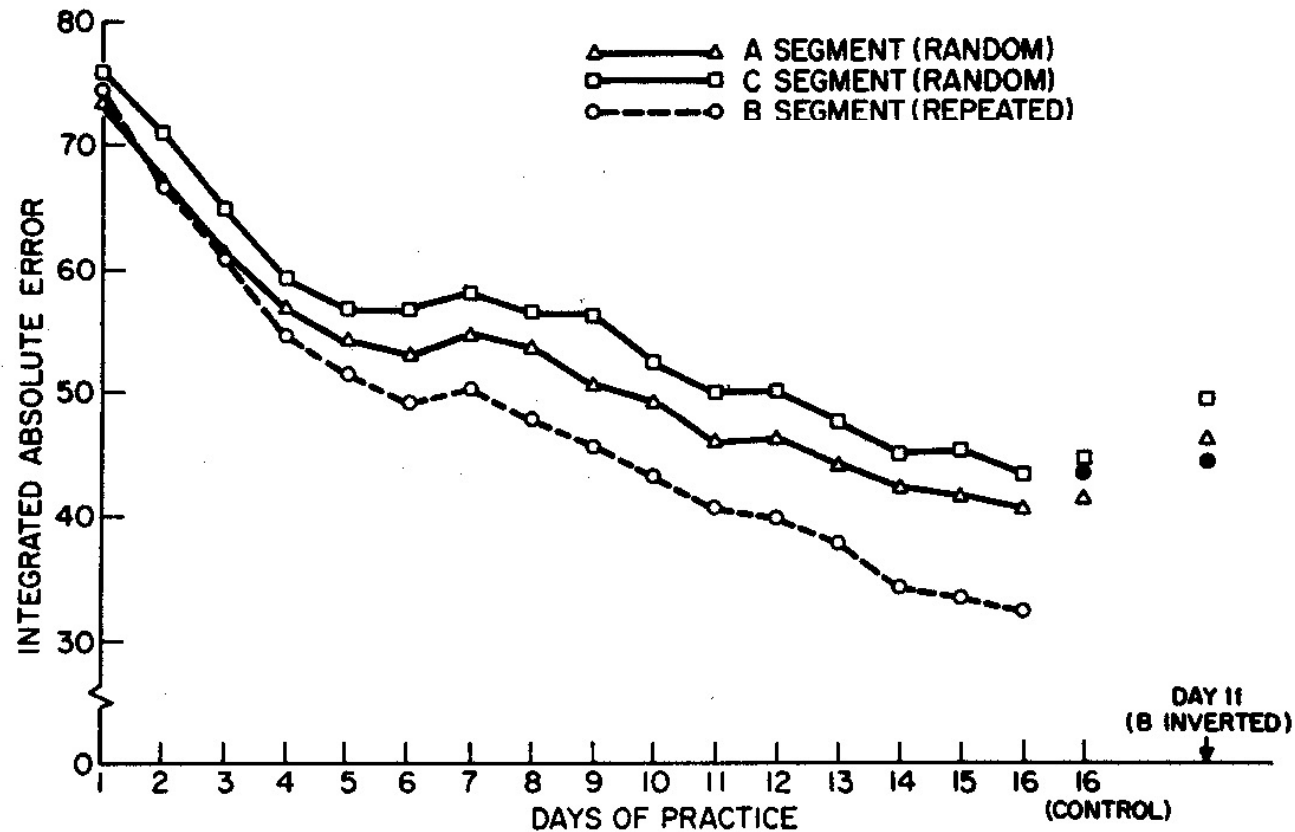
## L'expérience de Pew (1974)

La performance est significativement meilleure dans le segment consistant



## L'expérience de Pew (1974)

Aucun sujet n'a eu conscience de la consistance du segment médian





- Conclusions:
  - La consistance de la tâche permet l'automatisation des processus cognitifs
  - C'est la pratique, en situation consistante, qui est déterminante dans l'automatisation
  - La consistance peut n'être que partielle: le degré d'automatisation est lié au degré de consistance (Camus, 1989)
  - **Il n'est pas nécessaire que le sujet ait conscience de la consistance pour que l'automatisation ait lieu.**

## 5. Apprentissage et conditions d'apprentissage

5.1. Répétition, consistance et automatisaion

5.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

5.3. La démonstration

5.4. Variabilité de la pratique

5.5. L'interférence contextuelle

5.6. Feedbacks

5.7. L'apprentissage piloté par les contraintes

## Position du problème:

On veut apprendre à des sujets à réaliser une tâche de difficulté donnée (**tâche critère**)

Doit-on se contenter de **faire répéter la tâche au niveau de difficulté visé?**

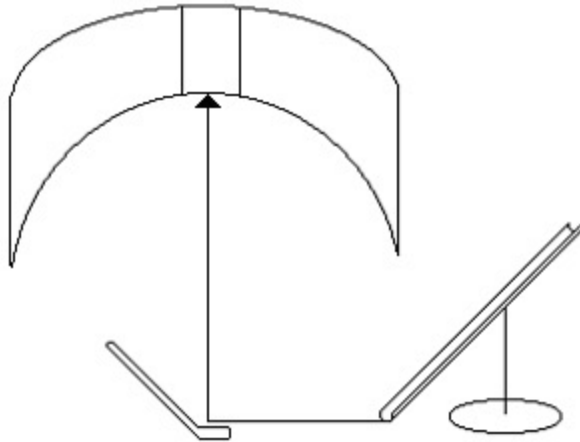
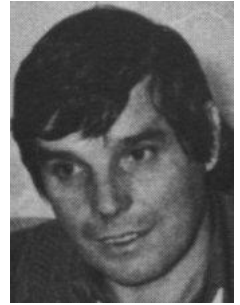
Ou

N'est-il pas plus efficace de proposer dans un premier temps une version plus facile de la tâche (**progressivité**)?

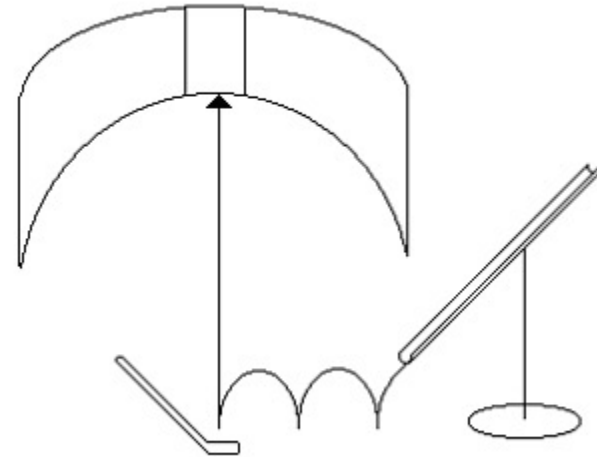
Ou

N'est-il pas plus efficace à contrario de confronter le sujet à une version encore plus difficile (**sur-complexité**)?

Famose, Durand et Bertsch (1985) travaillent avec une tâche d'anticipation-coïncidence



Tâche facile

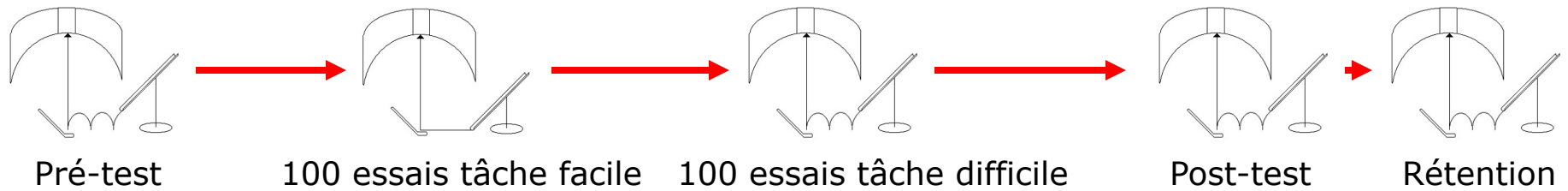


Tâche difficile  
(tâche critère)

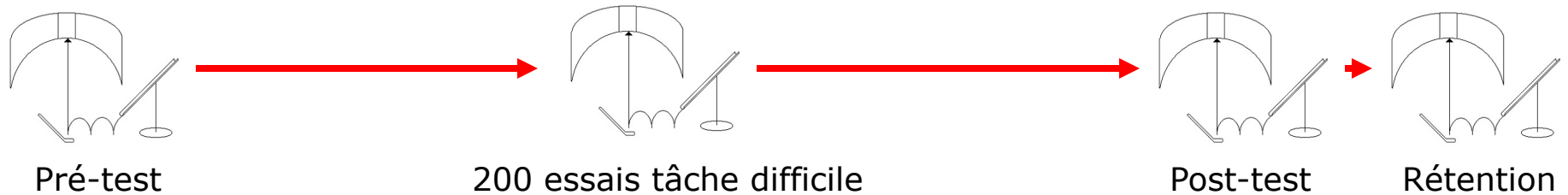
# Plan expérimental

Famose, Durand et Bertsch (1985)

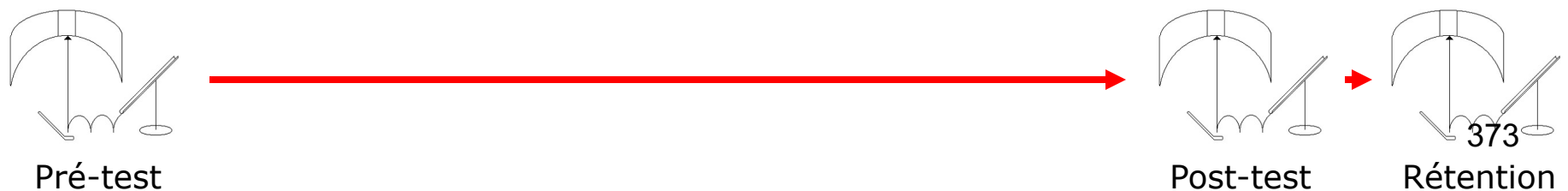
## Groupe expérimental

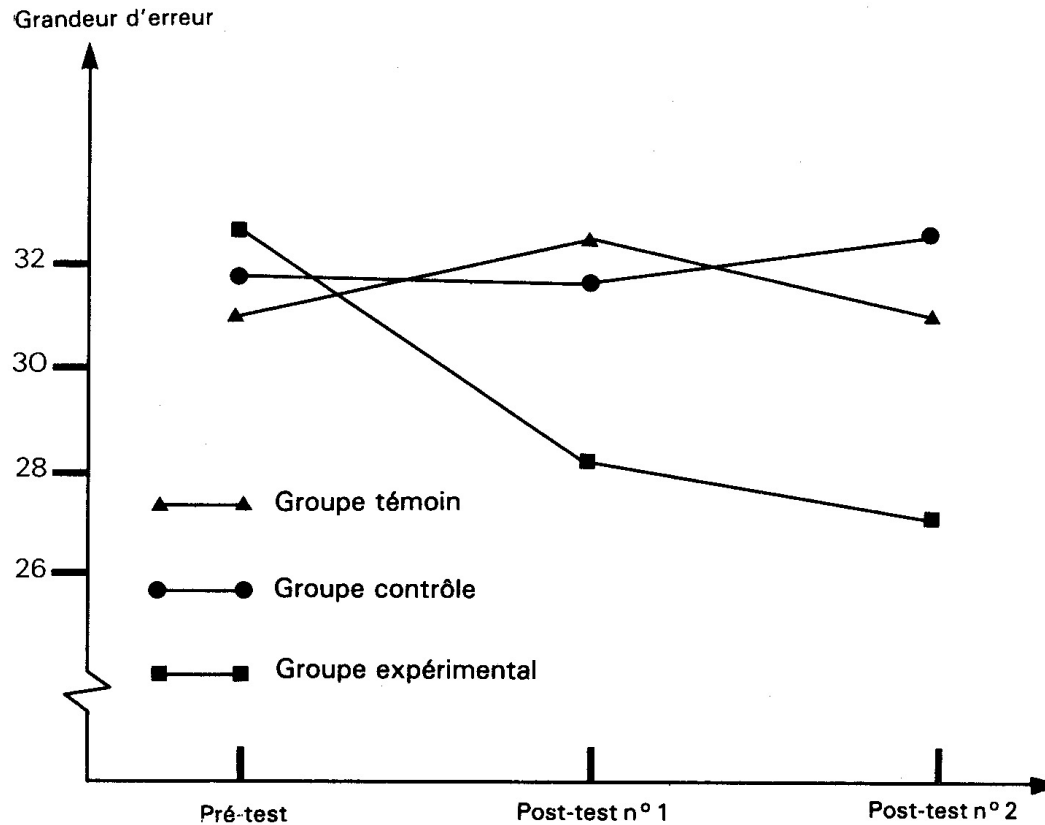


## Groupe témoin



## Groupe contrôle



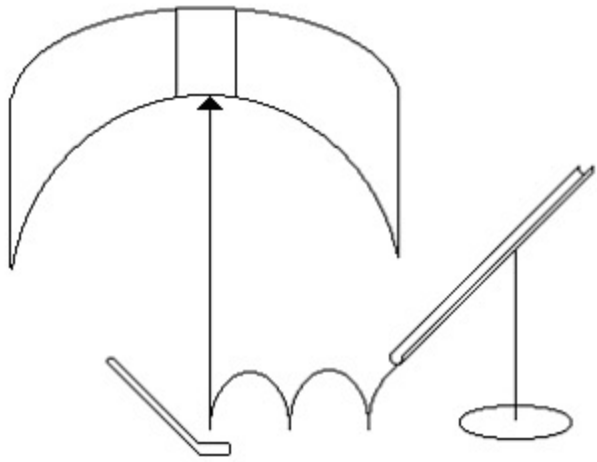


Evolution des performances dans une tâche d'anticipation-coïncidence  
(Famose, Durand & Bertsch, 1985)

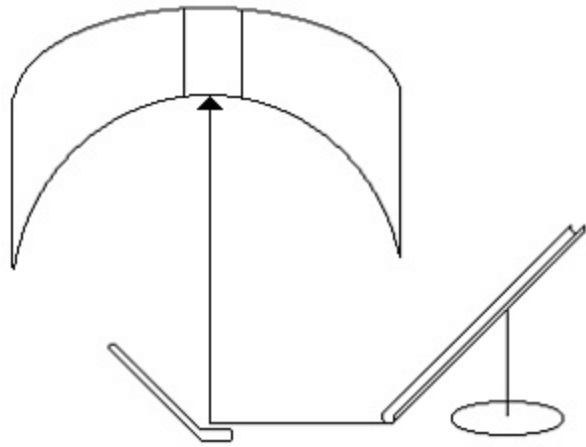
La progressivité de la difficulté s'avère favorable à l'apprentissage

→ Sur quelles dimensions de la tâche cette progressivité doit-elle être appliquée?

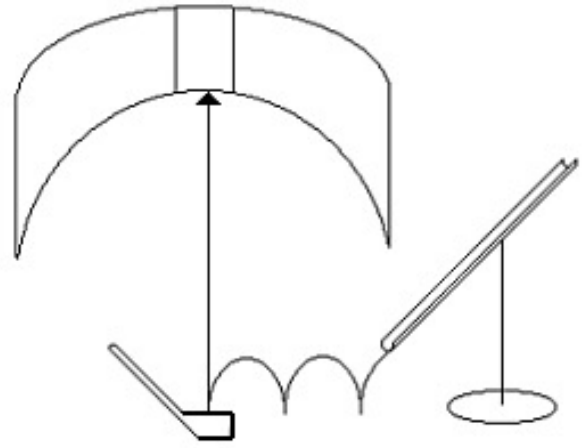
→ Y-a-t-il des dimensions plus pertinentes que d'autres, pour une tâche donnée?



Tâche critère { Précision requise +  
Incertitude spatiale +



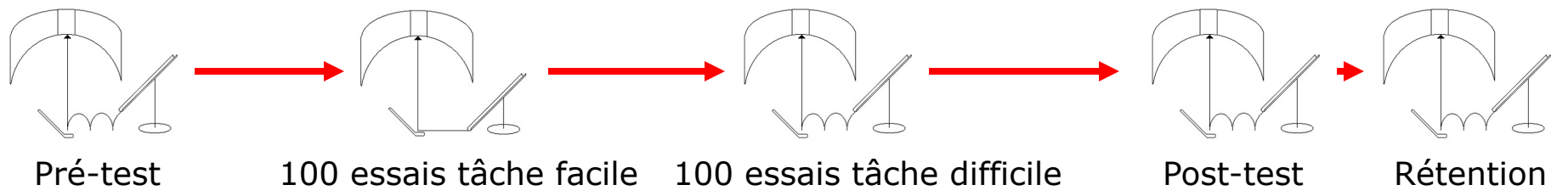
Simplification  
Incertitude spatiale



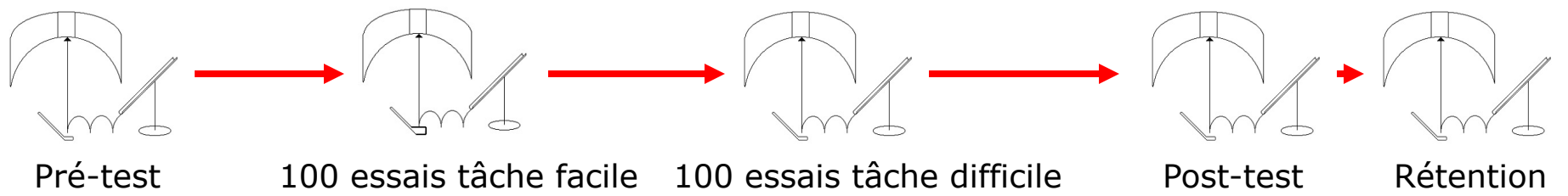
Simplification  
Précision requise 376



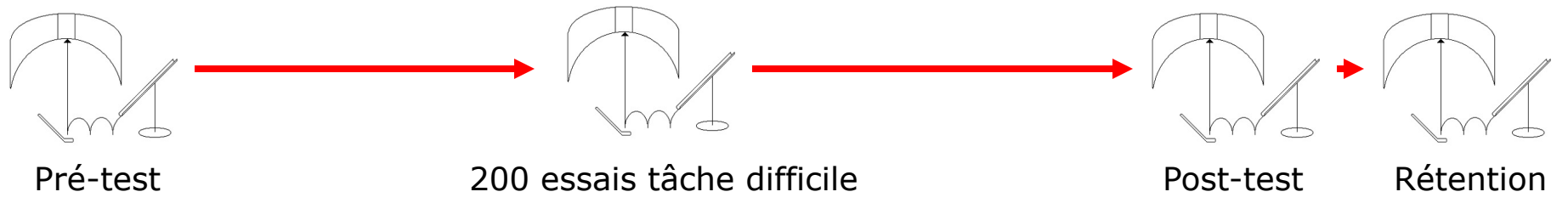
**Groupe incertitude spatiale**



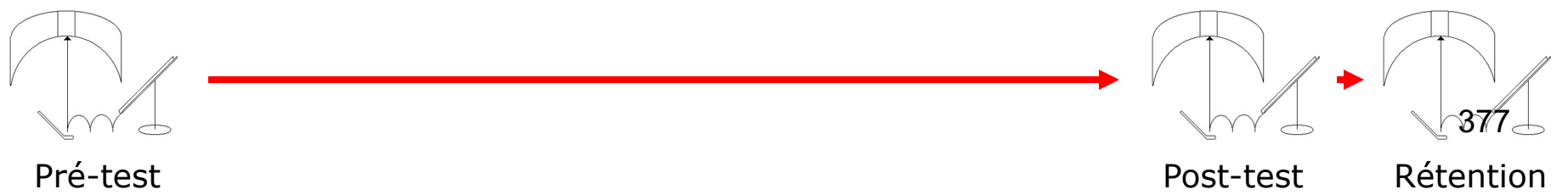
**Groupe précision requise**

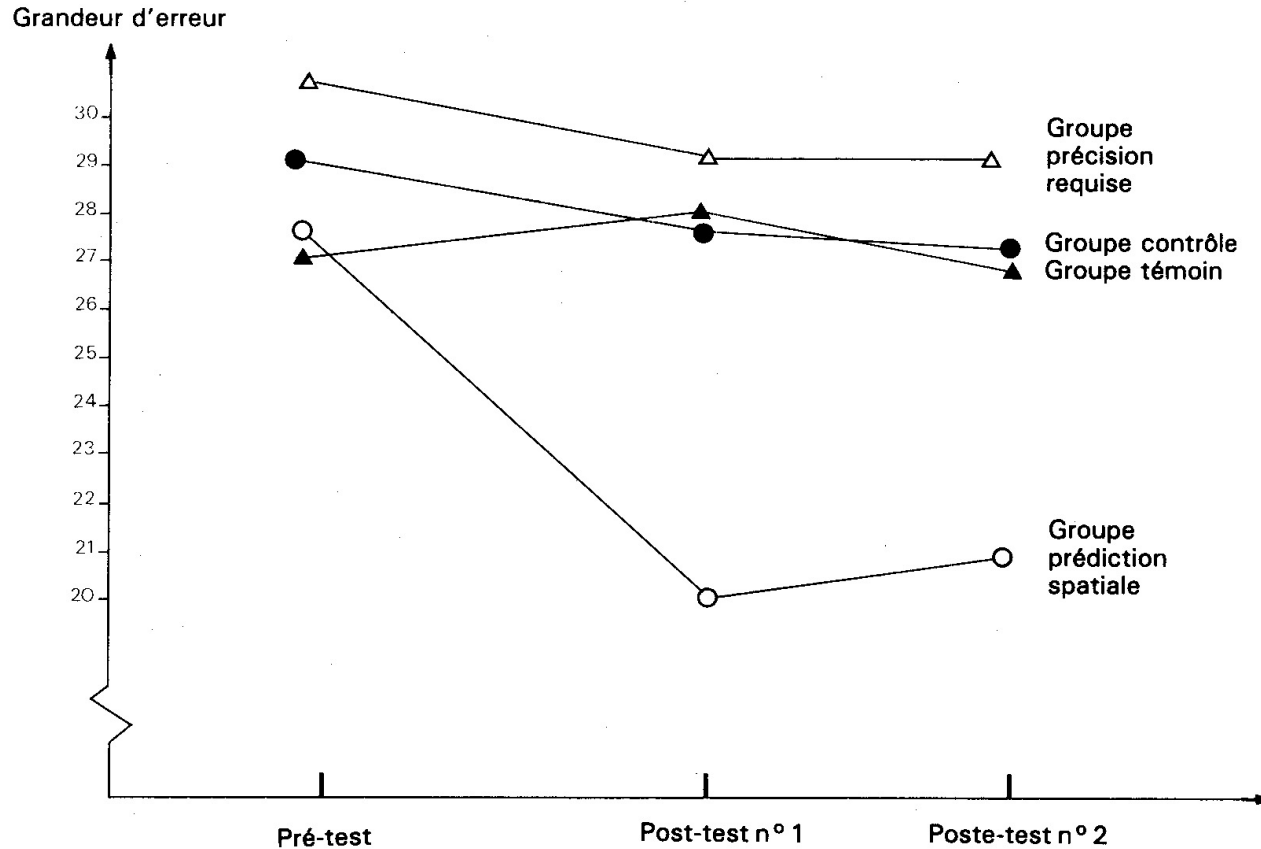


**Groupe témoin**



**Groupe contrôle**

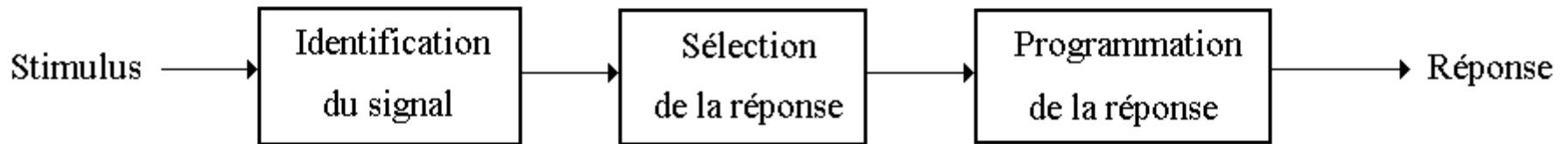




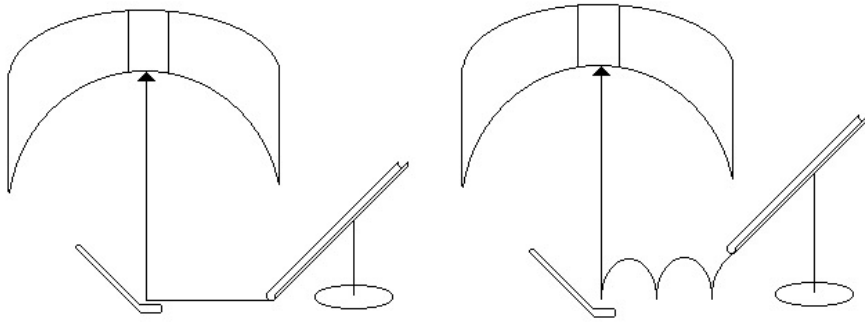
Evolution de l'apprentissage en fonction de la progressivité de l'incertitude spatiale et de la précision requise (Durand, Famose et Bertsch, 1985)

→ Il y a des dimensions de la tâche qui sont essentielles

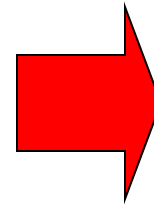
→ Le principe: construire des tâches qui vont sélectivement solliciter des stades de traitement déterminés



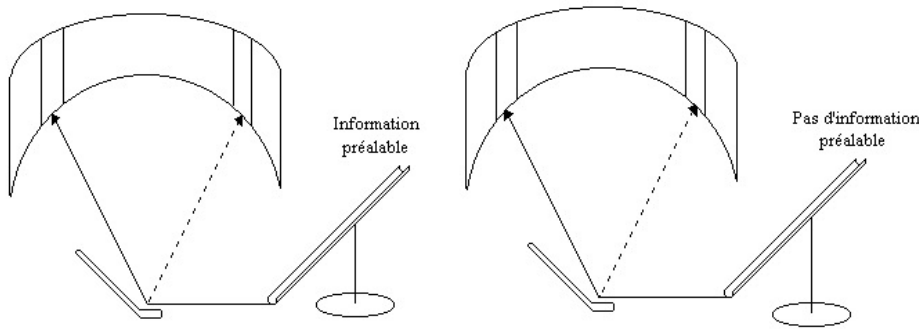
Modèle de traitement de l'information  
(selon Schmidt, 1982)



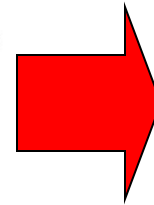
Expérience 1: Incertitude spatiale



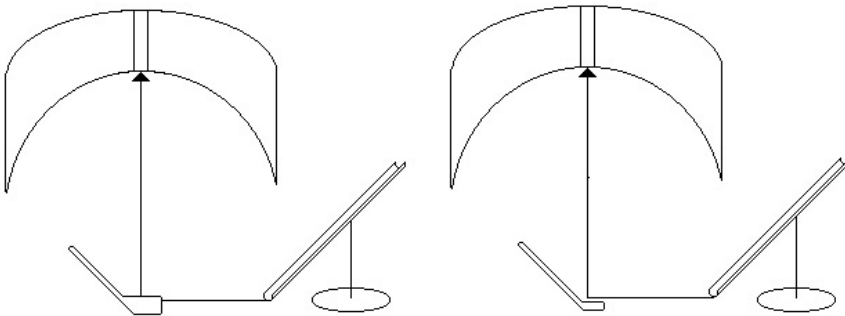
Stade perceptif



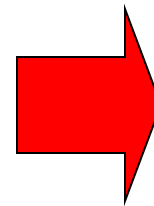
Expérience 2: Incertitude événementielle



Stade décisionnel



Expérience 3: Précision requise



Stade moteur

## Références bibliographiques

Famose, J.P. (1982). Apprentissage moteur et tâches motrices. In R. Thomas (Ed.), *Sport et Science 1982* (pp. 67-82). Paris: Vigot.

Famose, J.P. (1985). L'habileté motrice: théorie et enseignement. *STAPS, 12*, 31-48.

Famose, J.P. (1990). Apprentissage moteur et difficulté de la tâche. Paris: INSEP.

## 5. Apprentissage et conditions d'apprentissage

5.1. Répétition, consistance et automatisisation

5.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

5.3. La démonstration

5.4. Variabilité de la pratique

5.5. L'interférence contextuelle

5.6. Feedbacks

5.7. L'apprentissage piloté par les contraintes

Procédure pédagogique souvent critiquée (Famose, 1983)

La démonstration est cependant abondamment utilisée dans les activités morphocinétiques

Problèmes:

Qui doit démontrer?

A quel moment?

Combien de fois?

Dans quels types de tâches?

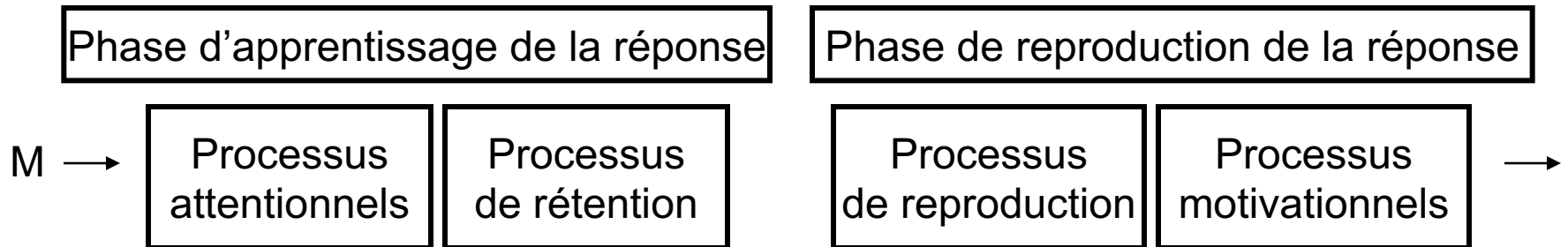


# Théorie de l'apprentissage social (Bandura, 1969, 1974)

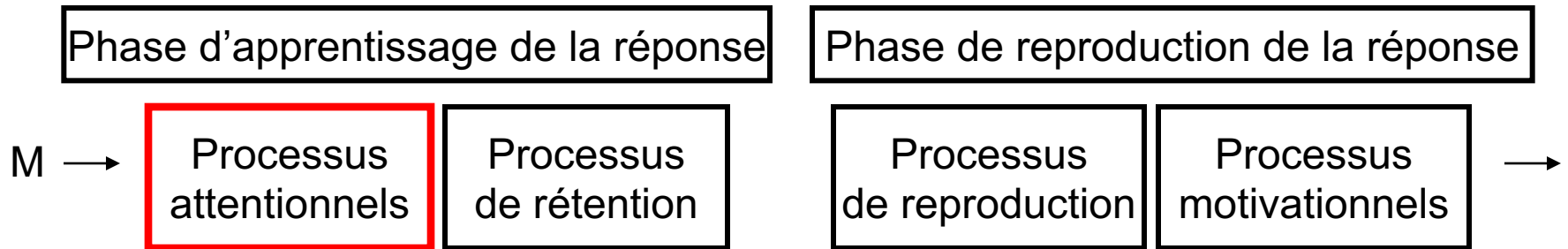
- Expliquer **la manière dont un humain s'intègre à la culture**, s'approprie ses valeurs, acquiert des comportements nouveaux
- **Possibilités d'apprendre par simple observation**
- Bandura souligne la complexité des processus cognitifs sous-jacent l'apprentissage par observation:  
**L'imitation n'est pas un processus passif!**
- Processus central = **constitution d'une représentation interne du comportement à (re-)produire**



Bandura, 1969, 1974

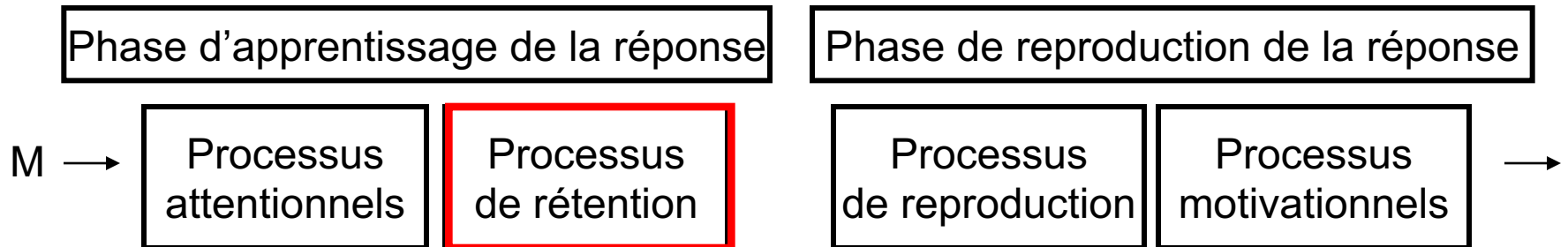


Bandura, 1969, 1974



L'observateur doit sélectionner les informations pertinentes dans la démonstration

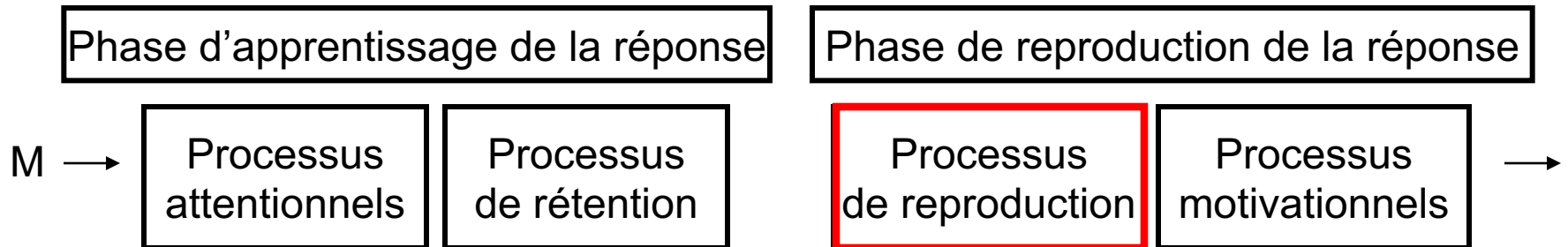
Bandura, 1969, 1974



L'observateur doit sélectionner les informations pertinentes dans la démonstration

Les informations doivent être codées en mémoire à partir d'une représentation imagée ou verbale

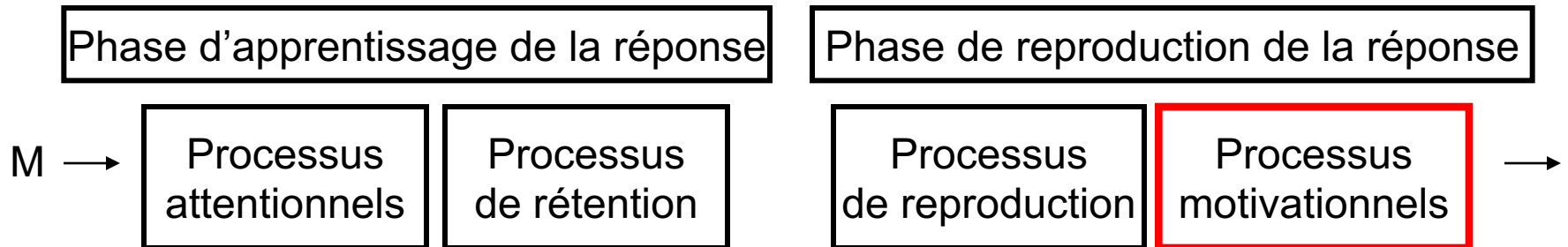
Bandura, 1969, 1974



L'observateur doit sélectionner les informations pertinentes dans la démonstration

Les informations doivent être codées en mémoire à partir d'une représentation imagée ou verbale

Cette représentation sert à guider le pratiquant pour la reproduction motrice, au niveau de la planification du mouvement, de la détection et correction d'erreurs...



L'observateur doit sélectionner les informations pertinentes dans la démonstration

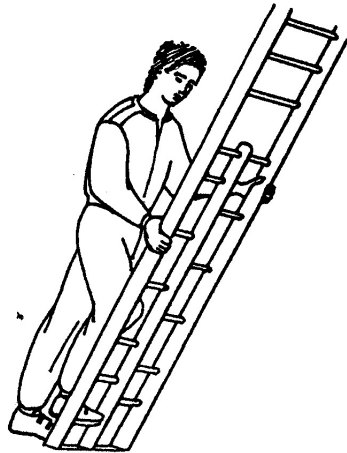
Les informations doivent être codées en mémoire à partir d'une représentation imagée ou verbale

Cette représentation sert à guider le pratiquant pour la reproduction motrice, au niveau de la planification du mouvement, de la détection et correction d'erreurs...

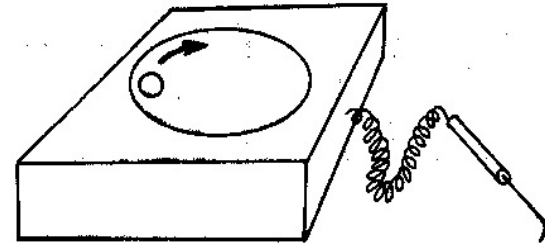
Importance des facteurs motivationnels dans l'efficacité de l'apprentissage par observation (attrait du modèle, désir d'identification, etc.)

# Démonstration pour quel type de tâches?

## L'expérience de Burwitz (1975)



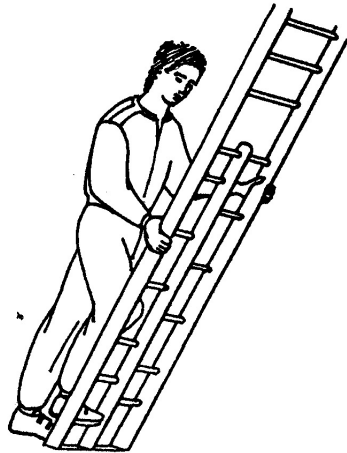
Echelle de Bachman



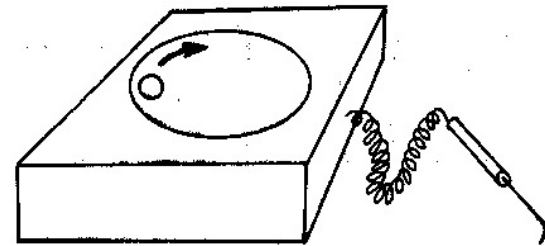
Poursuite rotative

- Groupe avec démonstration
- Groupe sans démonstration

# L'expérience de Burwitz (1975)



Echelle de Bachman



Poursuite rotative

- La démonstration améliore la performance, mais surtout dans la tâche globale (échelle de Bachman)
- La démonstration permet de préciser les stratégies d'exécution
- La démonstration ne semble pas être utile que pour les tâches morphocéliques...

## Nombre de démonstrations et codage verbal

Carroll et Bandura (1990)

Reproduction d'une séquence gestuelle

Démonstration par vidéo

2 vs. 8 démonstrations

Codage verbal de la séquence vs. démo visuelle simple

→ Evaluation de la précision de la représentation

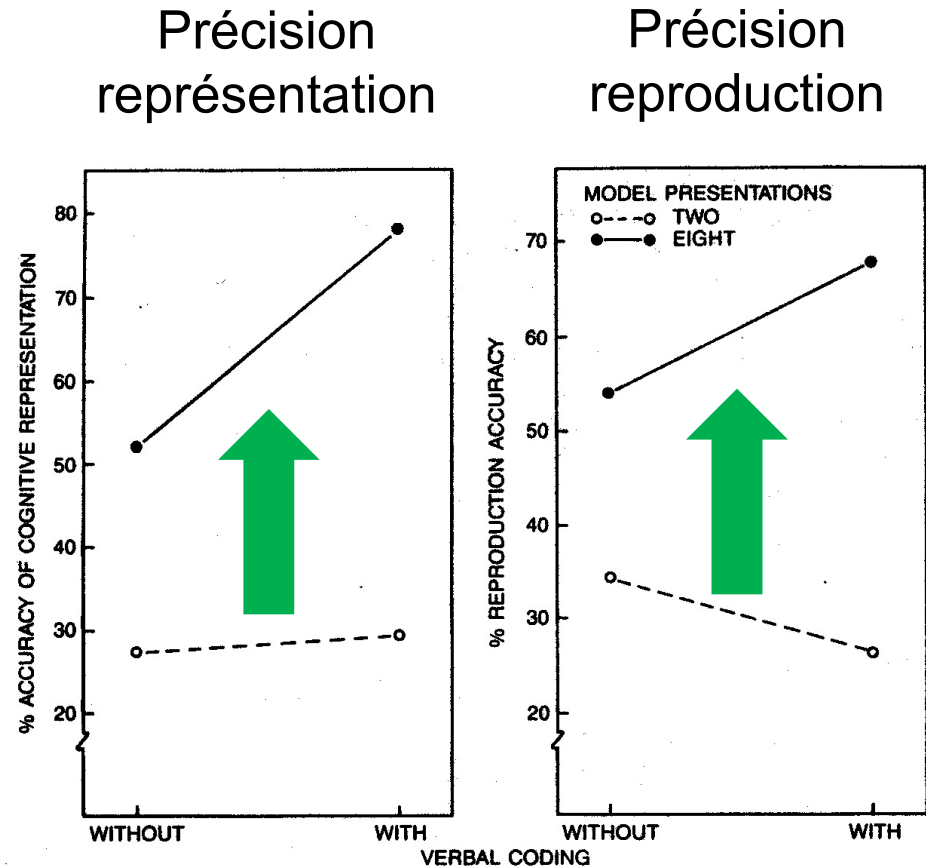
→ Evaluation de la précision de reproduction



# Nombre de démonstrations et codage verbal

Carroll et Bandura (1990)

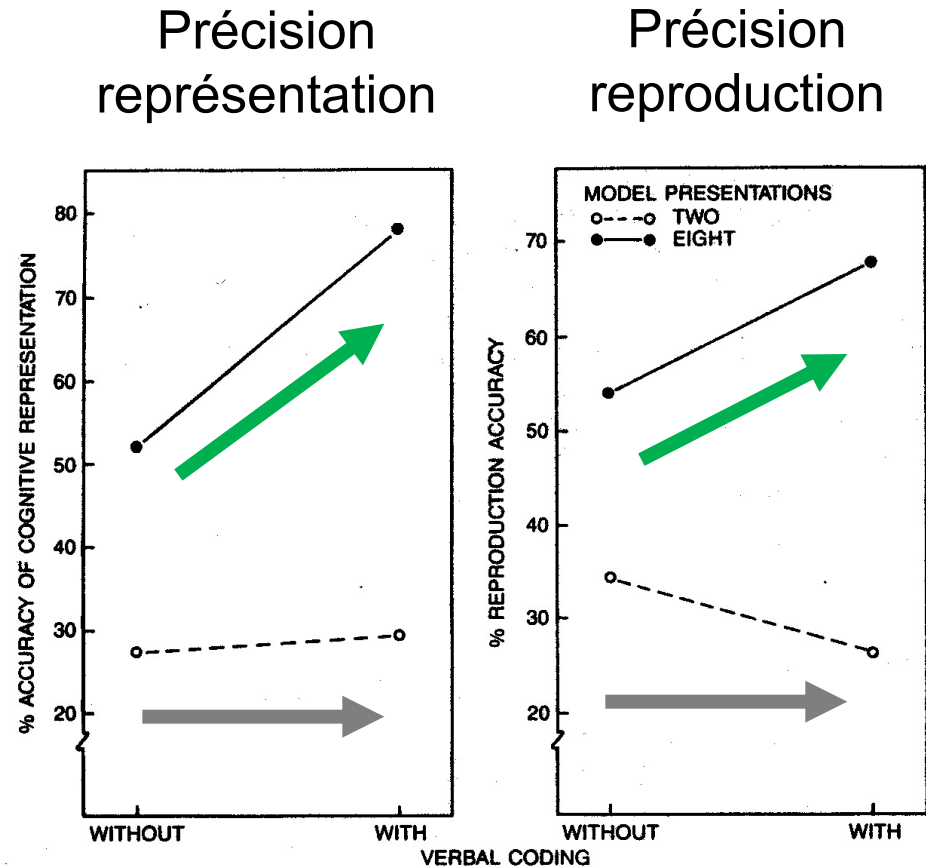
Le nombre de démonstration améliore simultanément la précision de la représentation ET la qualité de la reproduction



# Nombre de démonstrations et codage verbal

Carroll et Bandura (1990)

Le codage est bénéfique, mais seulement si le nombre de démonstrations est élevé

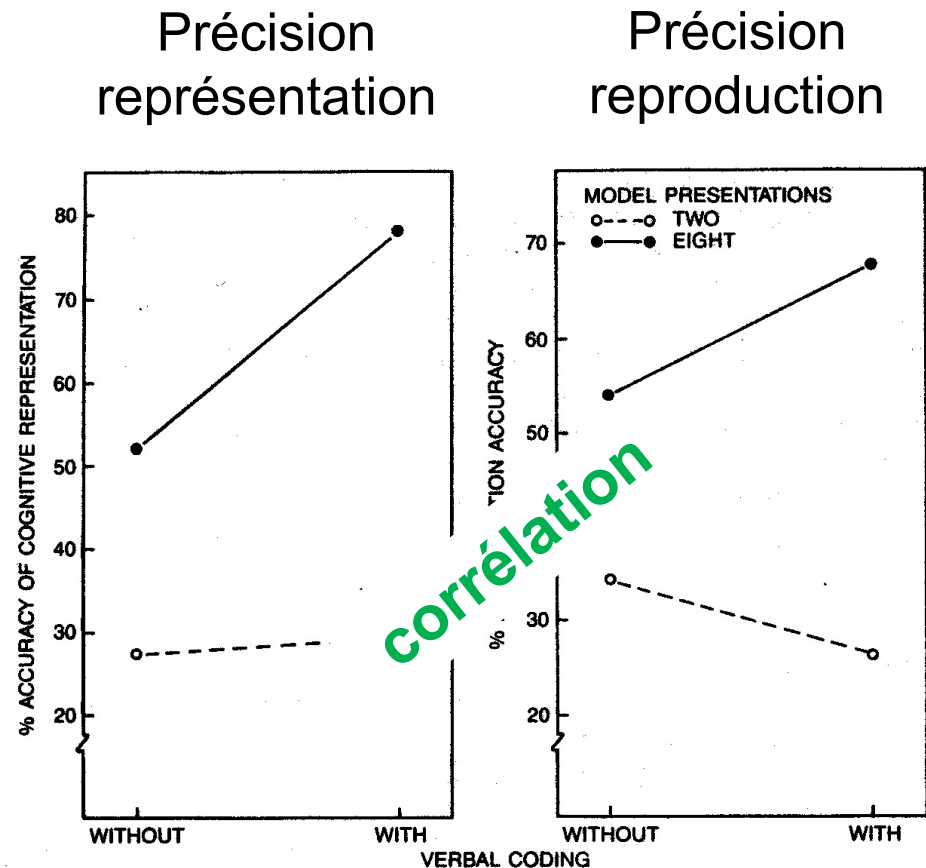


# Nombre de démonstrations et codage verbal

Carroll et Bandura (1990)

Une analyse supplémentaire démontre que la **qualité de la reproduction est liée à la précision de la représentation** construite en mémoire

**→ Démontre l'importance des processus cognitifs lors de l'apprentissage avec démonstration**



## Les opérations de codage lors de la démonstration

Expérience de Gerst (1971)

Apprentissage d'une séquence de gestes tirés du langage des signes

Quatre conditions de mémorisation du modèle:

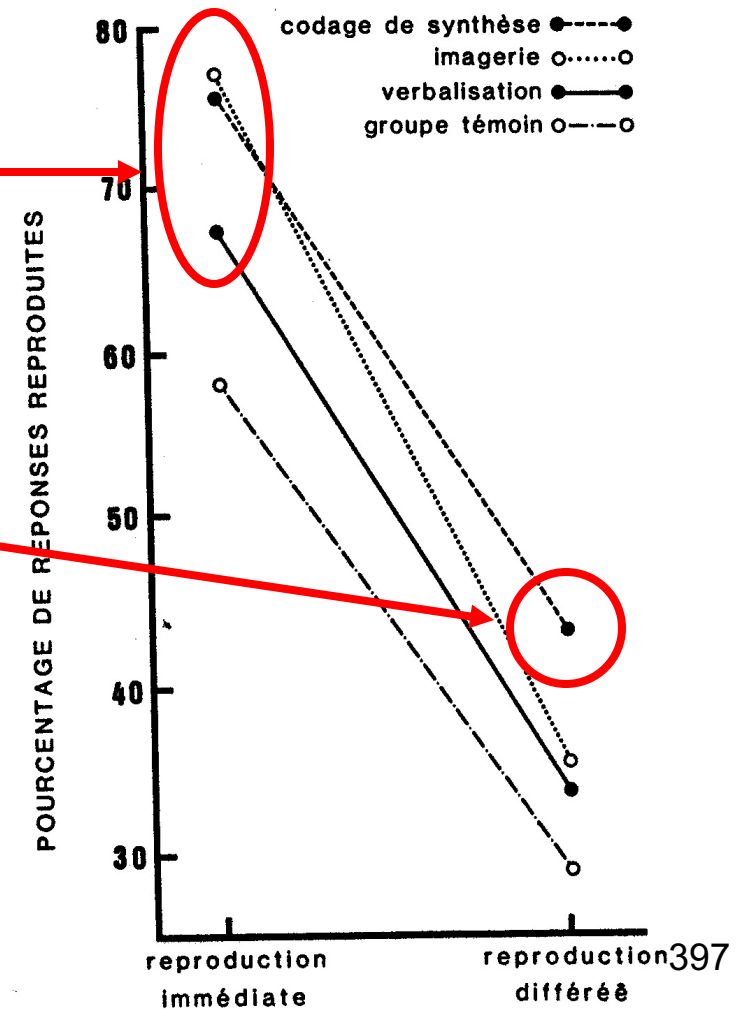
- Imagerie mentale
- Description verbale concrète
- Codage de synthèse
- Aucune stratégie (groupe témoin, libre)

# Les opérations de codage lors de la démonstration

Les stratégies de codage améliorent la mémorisation et la reproduction du modèle

Le codage abrégé permet une rétention plus efficace

→ Il ne suffit pas de présenter le modèle; il faut guider l'observation et les processus de construction de la représentation



## Distribution de la démonstration et apprentissage

Landers (1975)



Expérience réalisée sur l' échelle de Bachman

Trois groupes expérimentaux

- 4 démonstrations données avant la pratique
- 4 démonstrations en cours de pratique
- 2 démonstration avant et 2 pendant

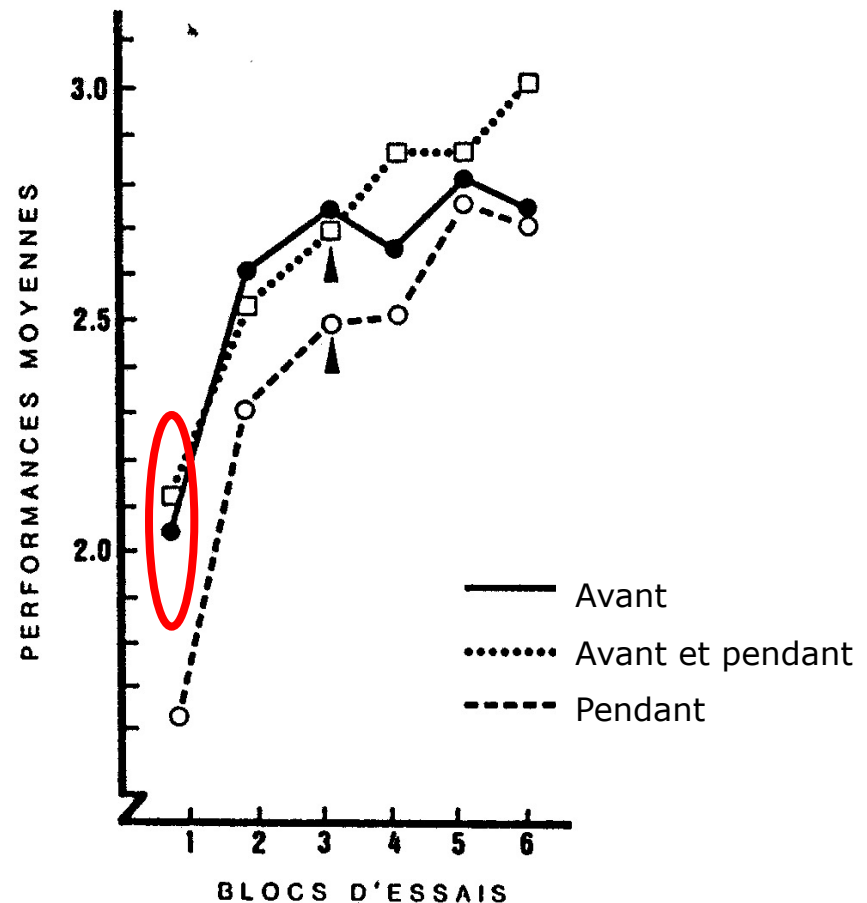
**Question:**

**Peut-on tirer bénéfice de la demo alors que l'on n'a encore jamais pratiqué?**

# Distribution de la démonstration et apprentissage

Landers (1975)

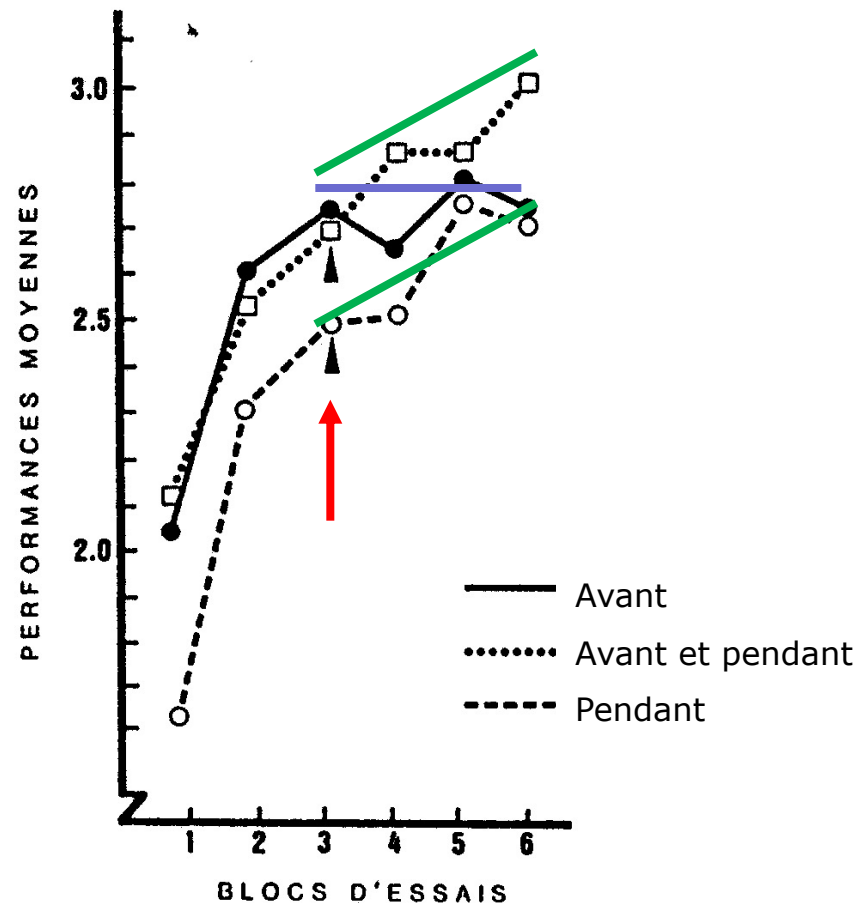
La démonstration donnée avant la pratique améliore la performance de départ



# Distribution de la démonstration et apprentissage

Landers (1975)

La démonstration donnée pendant la pratique relance la progression des performances

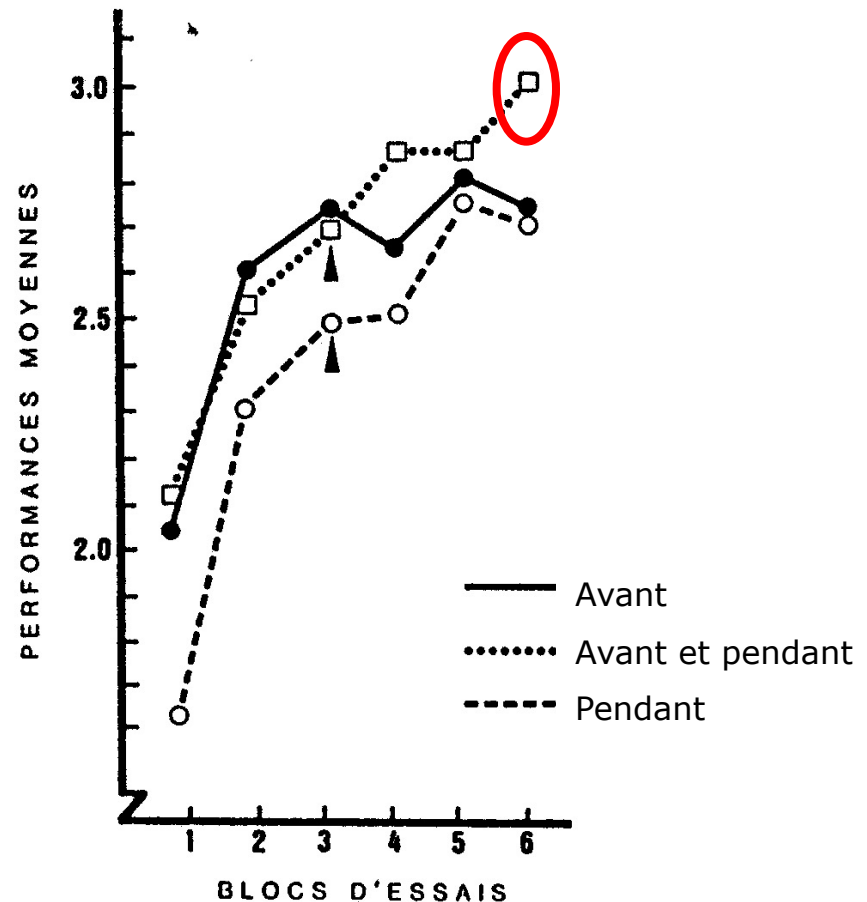




# Distribution de la démonstration et apprentissage

## Landers (1975)

Les deux effets s'additionnent dans le groupe qui reçoit le modèle de manière distribuée



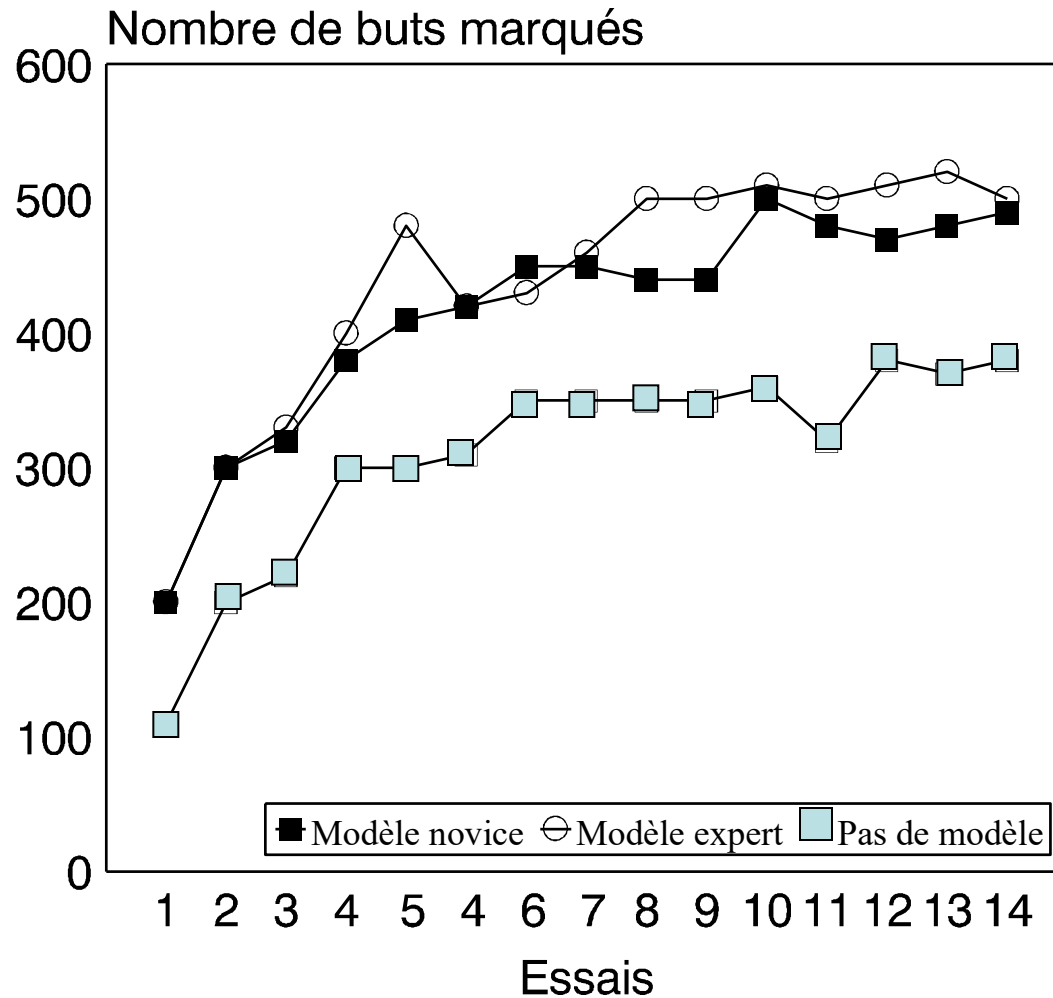


## Effets de l'expertise du modèle

Weir et Leavitt (1990), dans une expérience sur le lancer de fléchettes, montrent qu'un modèle novice est plus efficace qu'un modèle expert

L'observation d'un débutant permet d'avoir des informations sur les problèmes que les sujets inexpérimentés rencontrent, et surtout de voir comment ces problèmes peuvent être résolus

## Influence de l'observation d'un modèle et de l'expertise du modèle sur la performance (Pollack & Lee, 1992)



Un modèle novice est aussi efficace qu'un modèle expert

## Effet de la qualité du modèle sur l'apprentissage

Martens, Burwitz et Zuckerman (1976)

Tâche de « roll-up » (lancer de balle sur un plan incliné)

4 conditions:

- Modèle correct
- Séquence d'apprentissage
- Modèle incorrect
- Pas de modèle

**X**

Sujets  
pratiquent

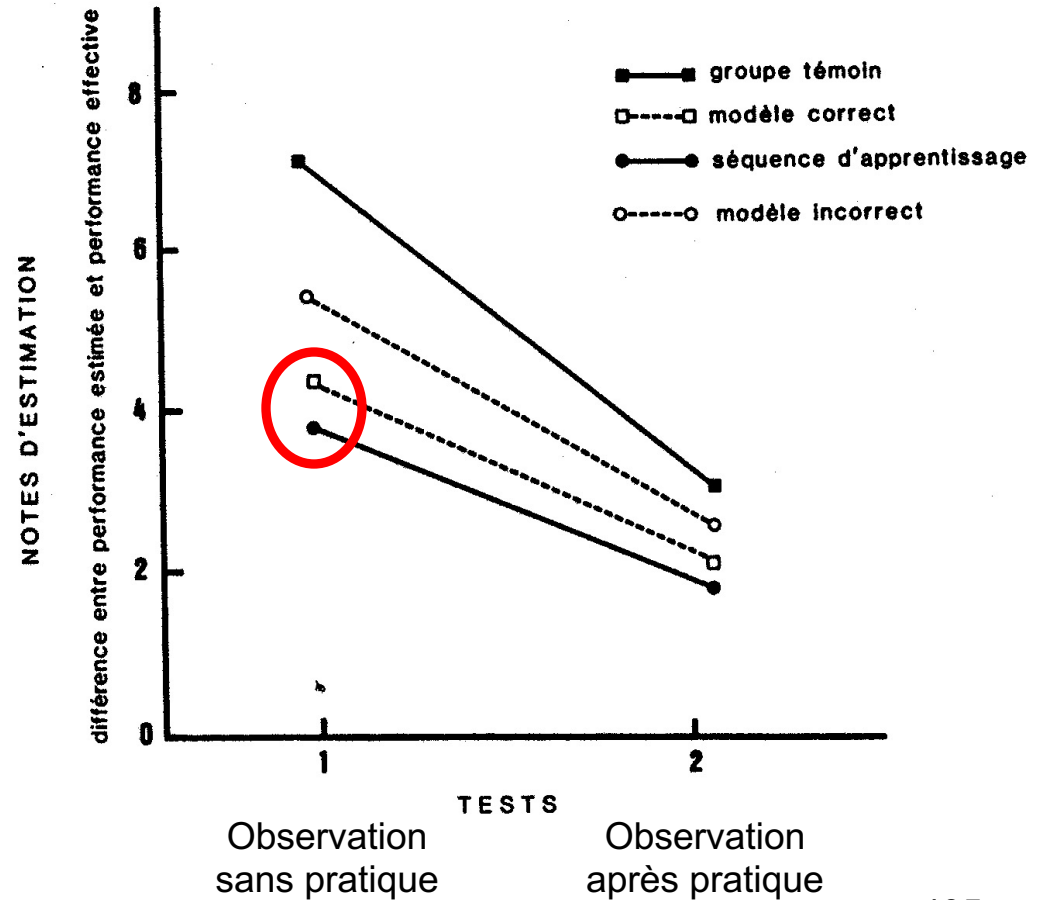
Sujets ne  
pratiquent jamais

On évalue la capacité des sujets à estimer le résultat de la tâche, après observation du modèle, et après une pratique de 10 essais

## Effet de la qualité du modèle sur l'apprentissage

Martens, Burwitz et Zuckerman (1976)

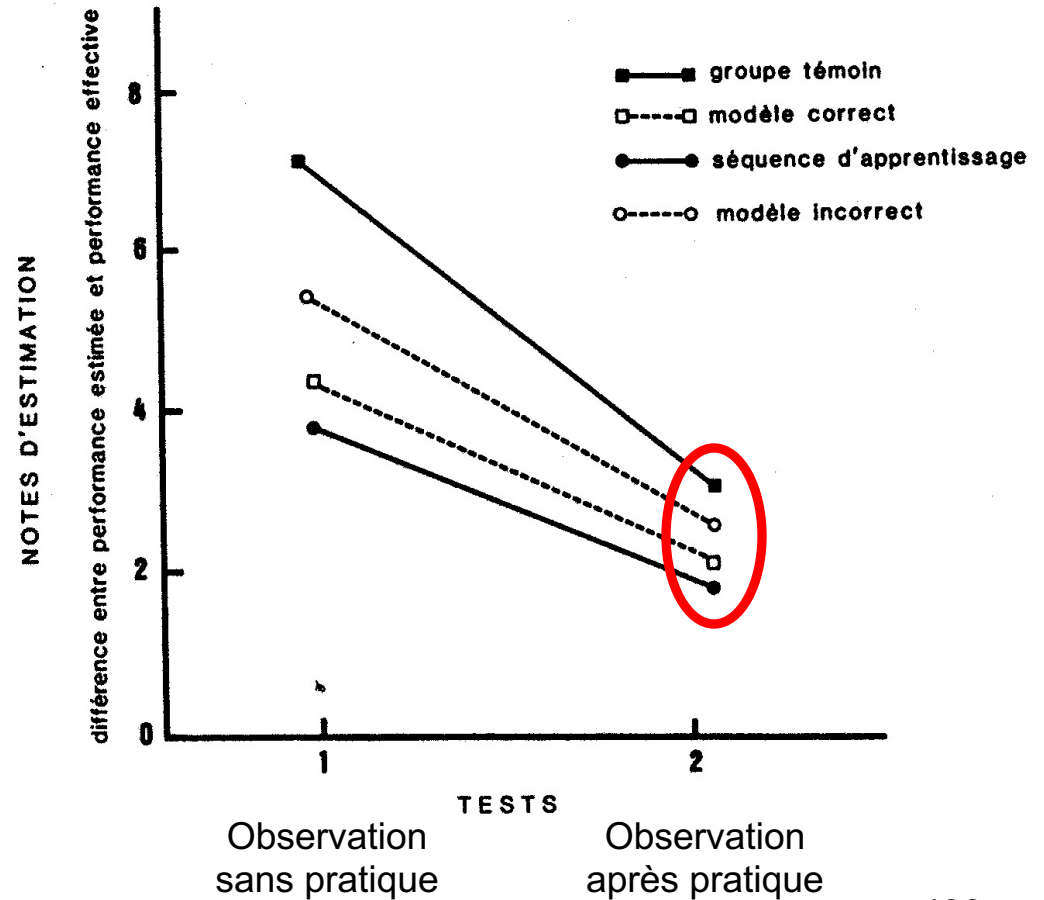
Les sujets ayant visionné un **modèle correct** ou une **séquence d'apprentissage** sont plus performants dans l'**estimation** de la performance sans pratique



## Effet de la qualité du modèle sur l'apprentissage

Martens, Burwitz et Zuckerman (1976)

Après pratique, les différences tendent à s'estomper entre les groupes



## Effets de l'expertise et du statut du modèle

Landers et Landers (1973)



Expérience réalisée sur l'échelle de Bachman

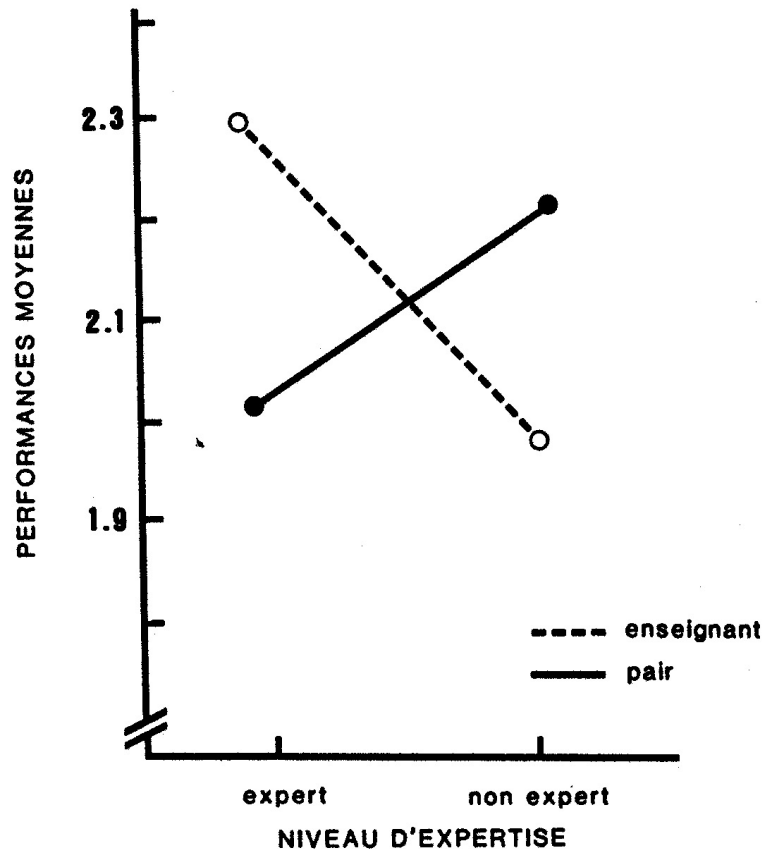
- démonstration proposée par un enseignant expert ou non expert
- démonstration proposée par un pair expert ou non expert

# Effets de l'expertise et du statut du modèle

Landers et Landers (1973)

Le statut de l'enseignant accroît l'effet positif de sa démonstration s'il est expert

L'inexpertise de l'enseignant a un effet plus négatif que l'inexpertise du pair





## Démonstration, tâches de contrôle, tâches de coordination

Magill et Schoenfelder-Zohdi (1995)

### Méta-analyse

Les auteurs distinguent:

Les tâches à buts de coordination: le sujet ne dispose pas de solution et doit construire une nouvelle coordination

Les tâches à but de contrôle: le problème du sujet est d'adapter à la situation présente une coordination déjà acquise

**Résultat:** La démonstration semble profitable lorsque le sujet est confronté à un tâche de coordination

Felz (1982) suggère que la démonstration est surtout efficace dans la phase cognitive de l'apprentissage

# Démonstration et théorie du Schéma

Shea, Wulf, Park et Gaunt (2001)

Par extension, on peut prédire que la **démonstration favorise la construction du PMG**, mais qu'elle n'a pas d'effet bénéfique sur les règles de paramétrisation

Shea, Wulf, Park et Gaunt (2001) analysent **l'effet de la démonstration sur le timing relatif et le timing absolu d'une tâche motrice**

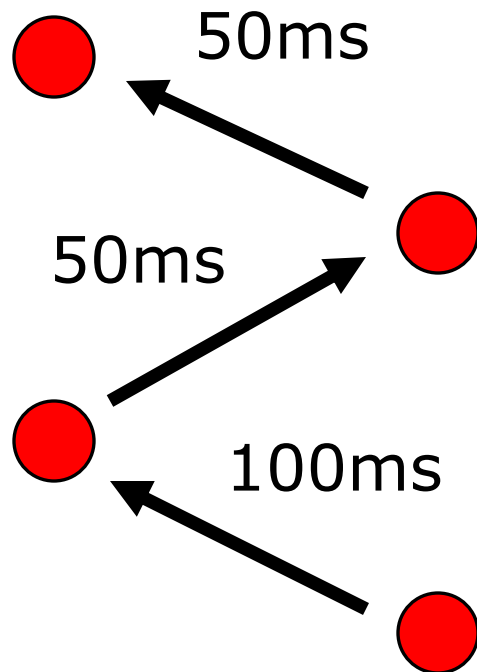
Rappel:

Le timing relatif renvoie au programme moteur généralisé

Le timing absolu renvoie aux règles de paramétrisation

# Démonstration et théorie du Schéma

Shea, Wulf, Park et Gaunt (2001)



Temps total  
200ms

Réalisation d'un pattern rythmique

- un groupe de sujets **sans démonstration**
- un groupe de sujet bénéficie d'une **démonstration** (signal sonore)

**X**

Pratique

Sans pratique

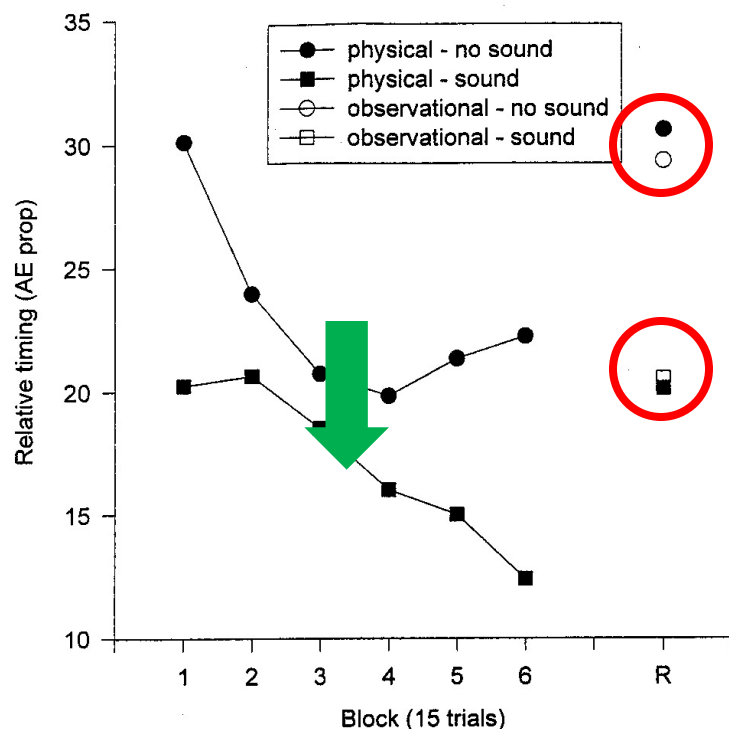
## Erreur temporelle relative



Sans démonstration



Avec démonstration

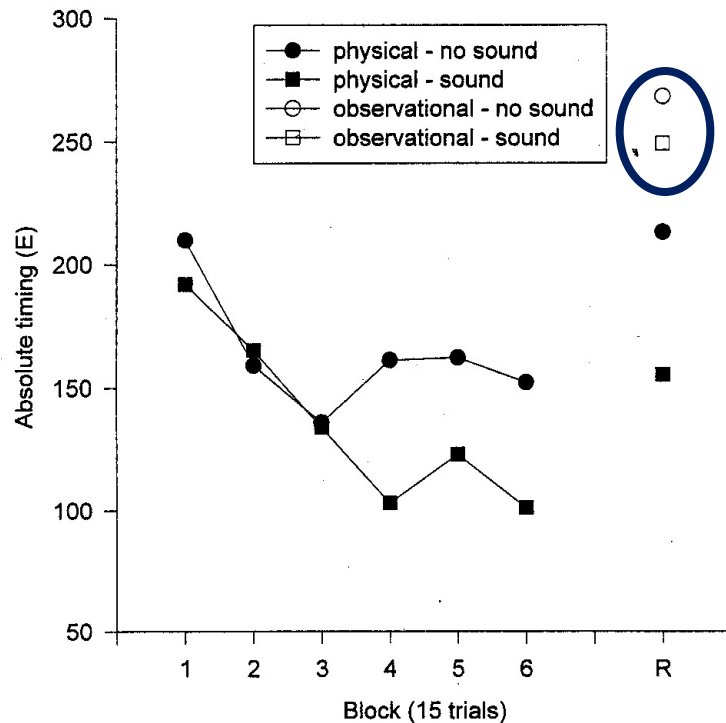


La présence de signal sonore améliore la performance

Les sujets ayant bénéficié uniquement de l'observation ont les mêmes résultats que les sujets qui ont eu observation + pratique

→ La démonstration aide la construction d'un PMG indépendamment de la pratique

## Erreur temporelle absolue



Les sujets ayant bénéficié uniquement de la démonstration ont de plus mauvaises performances en termes de timing absolu

→ La démonstration n'aide pas la paramétrisation

## Références bibliographiques

Simonet, P. (1985). *Apprentissages moteurs*. Paris: Vigot.

Schmidt, R.A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.

Magill, R.A. & Schoenfelder-Zohdi, B. (1995). Interaction entre les informations en provenance d'un modèle et la connaissance de la performance lors d'un apprentissage moteur. In Bertsch, J., Le Scanff, C. (Eds.), *Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissage* (pp. 15-26). Paris: P.U.F.

## 5. Apprentissage et conditions d'apprentissage

5.1. Répétition, consistance et automatisisation

5.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

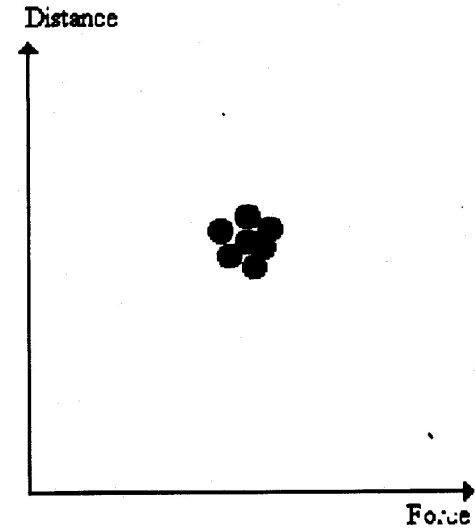
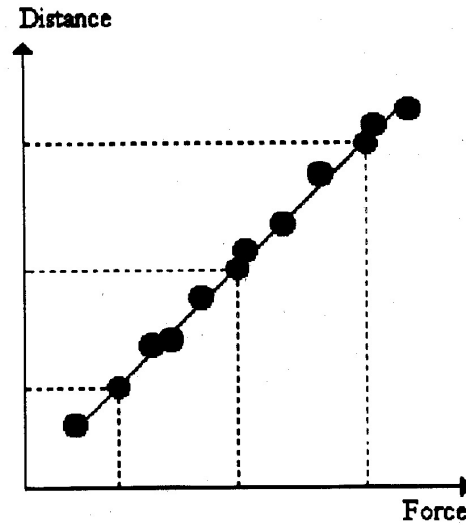
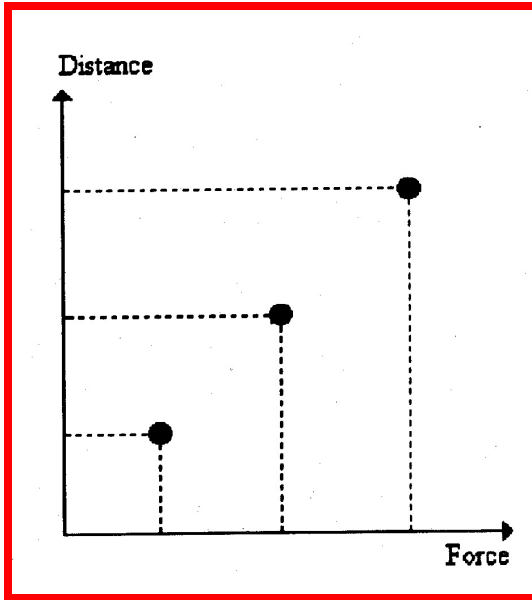
5.3. La démonstration

5.4. Variabilité de la pratique

5.5. L'interférence contextuelle

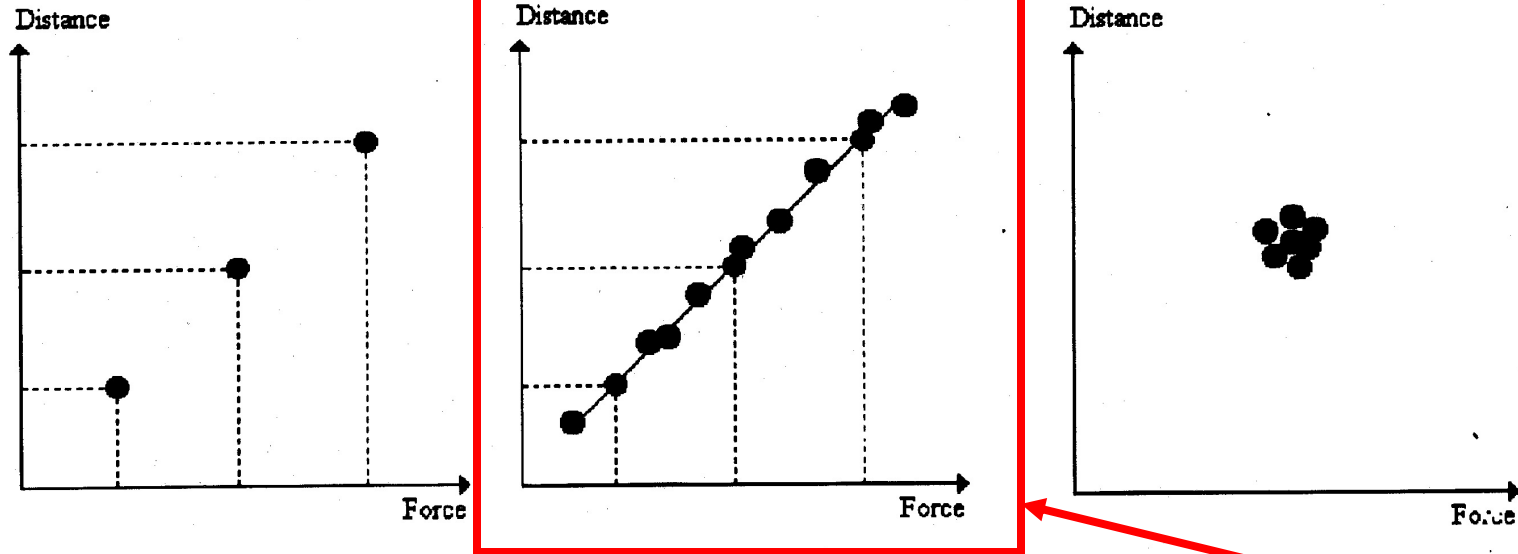
5.6. Feedbacks

5.7. L'apprentissage piloté par les contraintes



Les règles de paramétrisation permettent d'adapter le programme moteur en fonction des caractéristiques de la tâche

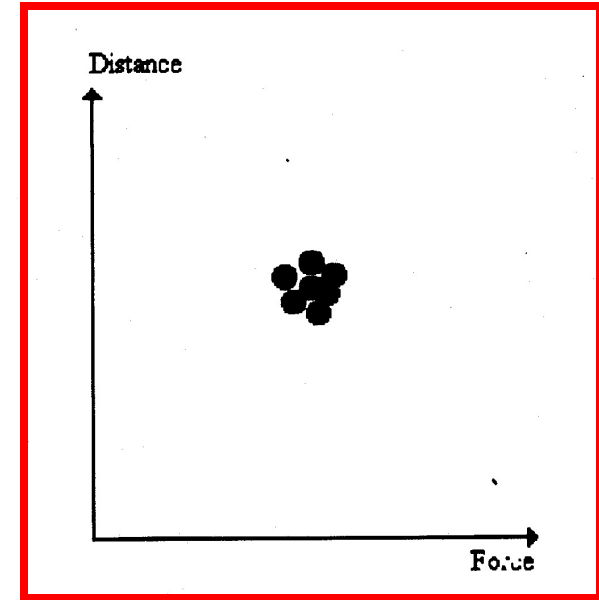
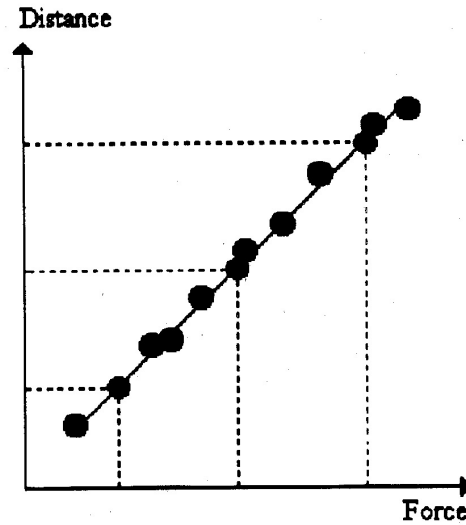
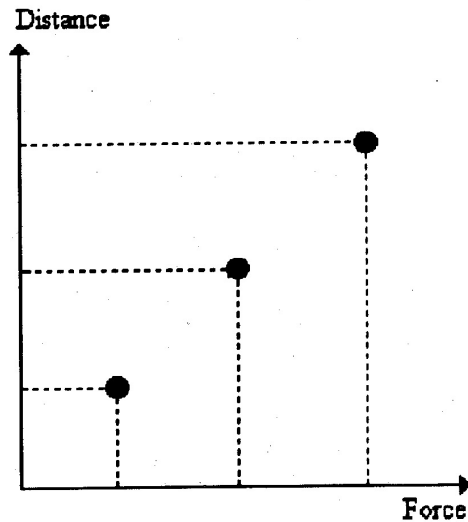




Les règles de paramétrisation permettent d'adapter le programme moteur en fonction des caractéristiques de la tâche

Hypothèses:

L'exercice de modalités différentes de la tâche (pratique variable) permet au sujet de construire les règles de paramétrisation

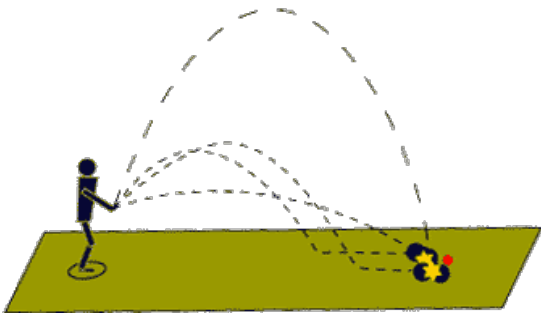


Les règles de paramétrisation permettent d'adapter le programme moteur en fonction des caractéristiques de la tâche

Hypothèses:

L'exercice de modalités différentes de la tâche (pratique variable) permet au sujet de construire les règles de paramétrisation

L'exercice d'une seule modalité (pratique fixe) ne permet pas la construction des règles



## Protocole expérimental standard

Utilisation d' une tâche au niveau d' exigence modulable (ex. lancer de balles)

Le **groupe expérimental** pratique la tâche selon des **modalités variées**

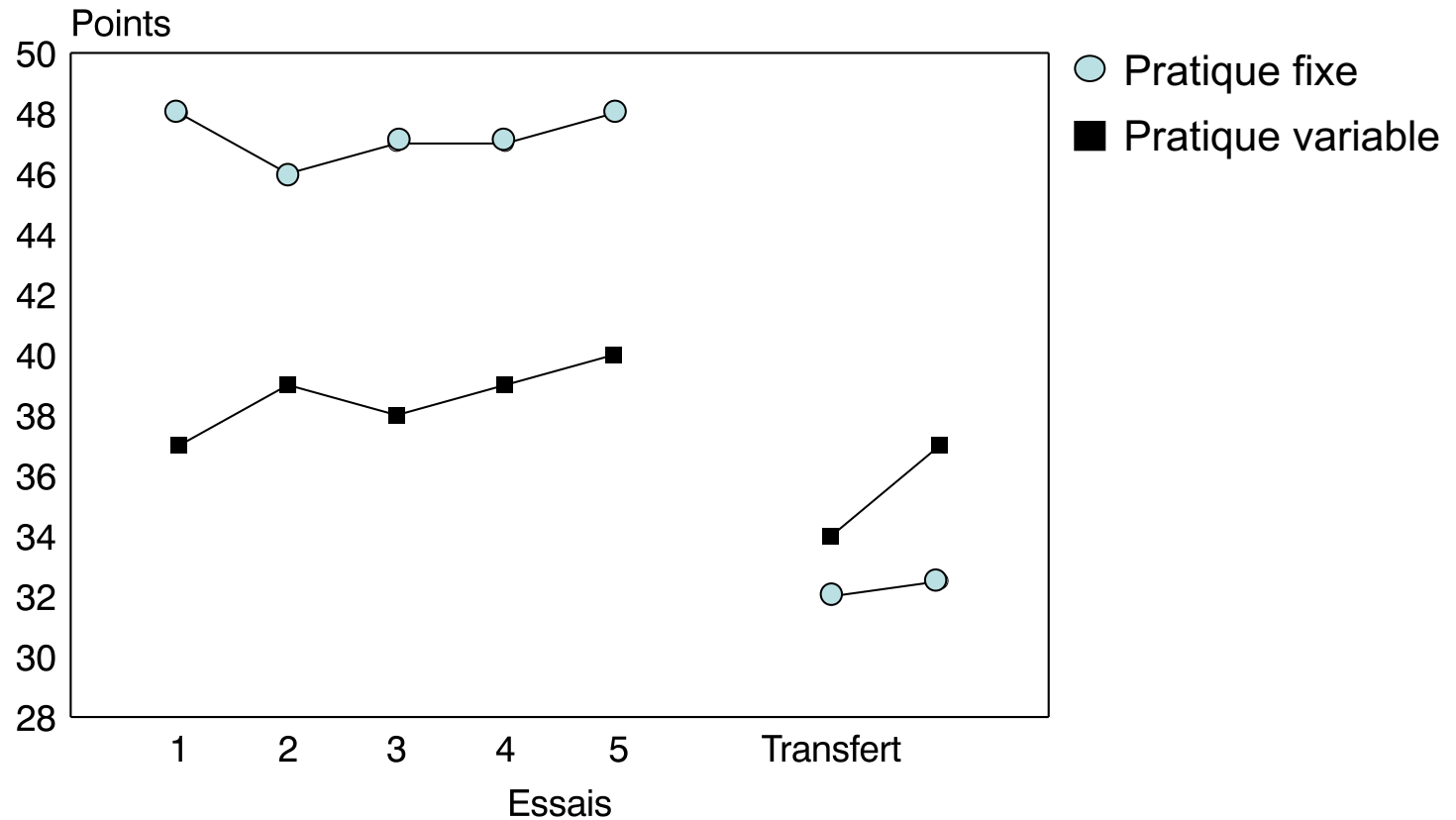
(Par exemple, lancer à 3m, 6m, et 9m)

Le **groupe témoin** pratique la tâche selon une **condition unique**

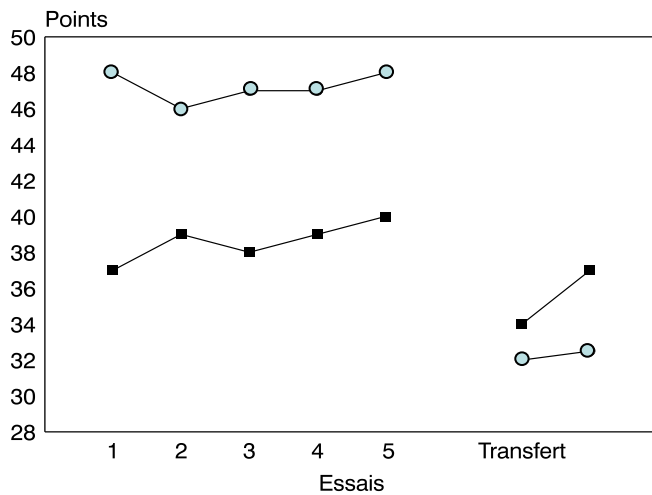
(Par exemple 6m)

**On évalue l' apprentissage par un test de transfert**, sur une distance non pratiquée lors des sessions de travail

(Par exemple 7.50m)



Influence de la variabilité de la pratique sur l'apprentissage  
et le transfert d'une habileté de tir en basket-ball  
(Boutmans, Buekers & Cockaerts, 1985)

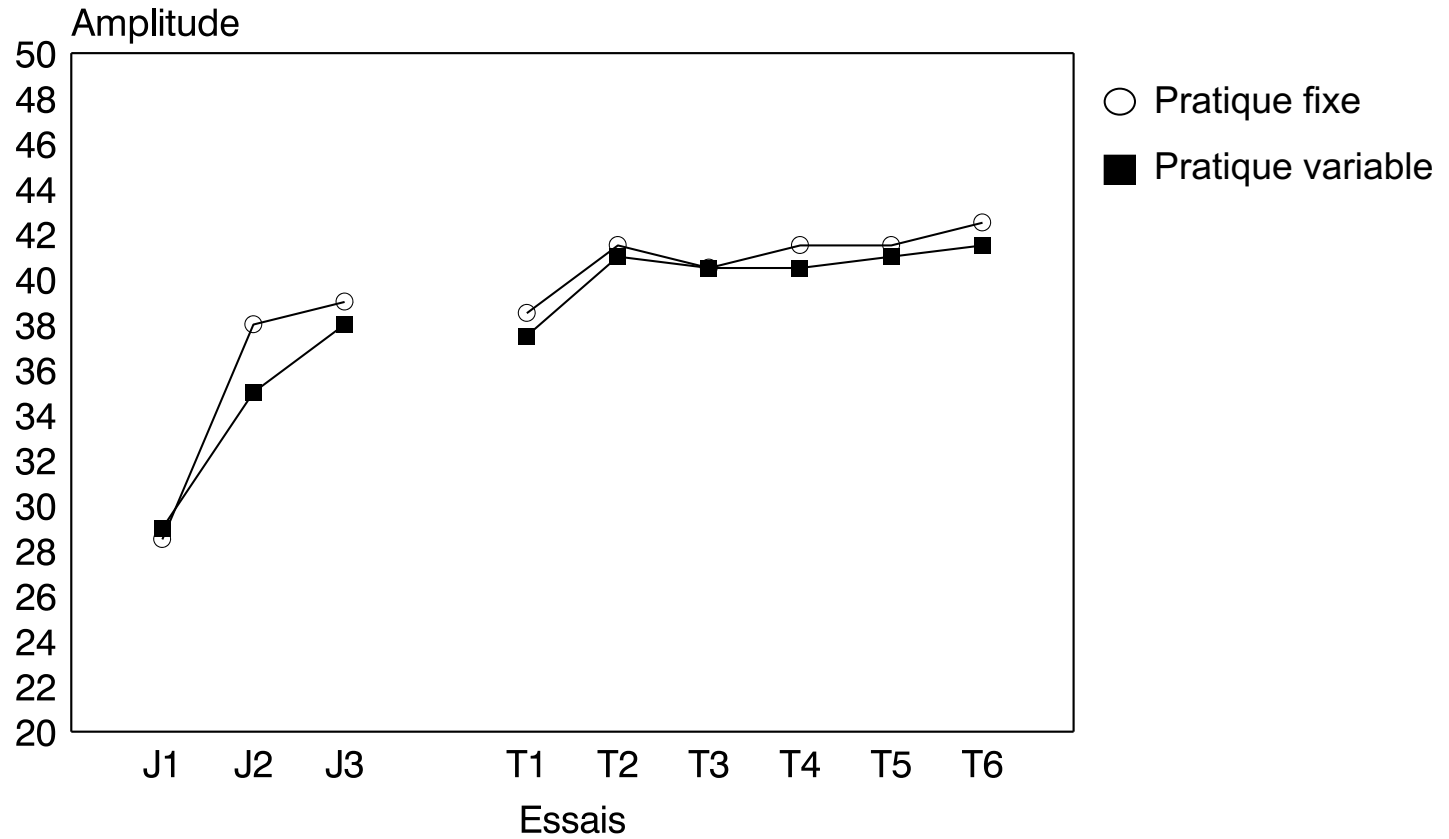
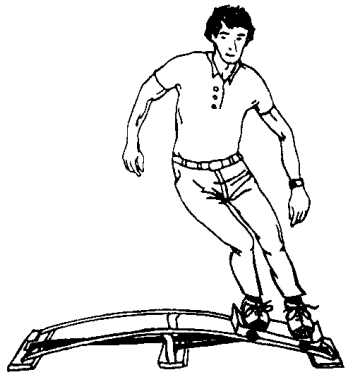


La variabilité de la pratique permet une meilleure adaptabilité du PMG

Il convient de distinguer les performances lors des sessions de pratique et les performances de transfert

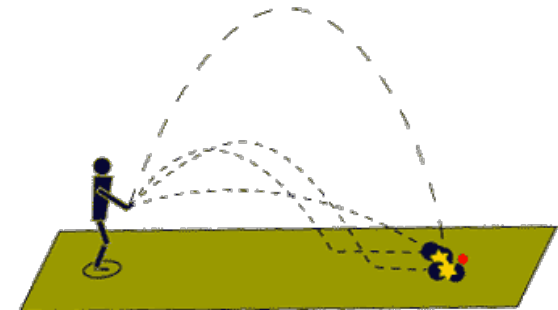
### ***Problème:***

Si la variabilité est favorable à l'élaboration des règles de paramétrisation, quel est son effet sur la construction du PMG?

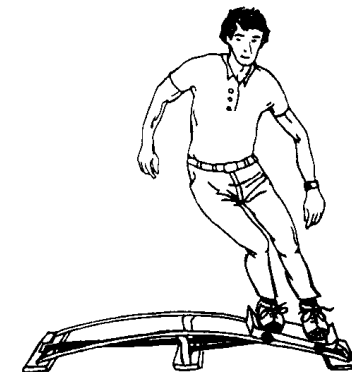


Amplitude des mouvements réalisés sur le simulateur de ski, en fonction des conditions fixes ou variées de la pratique  
(Den Brinker, Stabler, Whiting, & Van Wieringen, 1985)

La variabilité est favorable dans les tâches  
à but de contrôle



La variabilité est inutile dans les tâches  
à but de coordination



## 5. Apprentissage et conditions d'apprentissage

5.1. Répétition, consistance et automatisaion

5.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

5.3. La démonstration

5.4. Variabilité de la pratique

5.5. L'interférence contextuelle

5.6. Feedbacks

5.7. L'apprentissage piloté par les contraintes



## L'interférence contextuelle

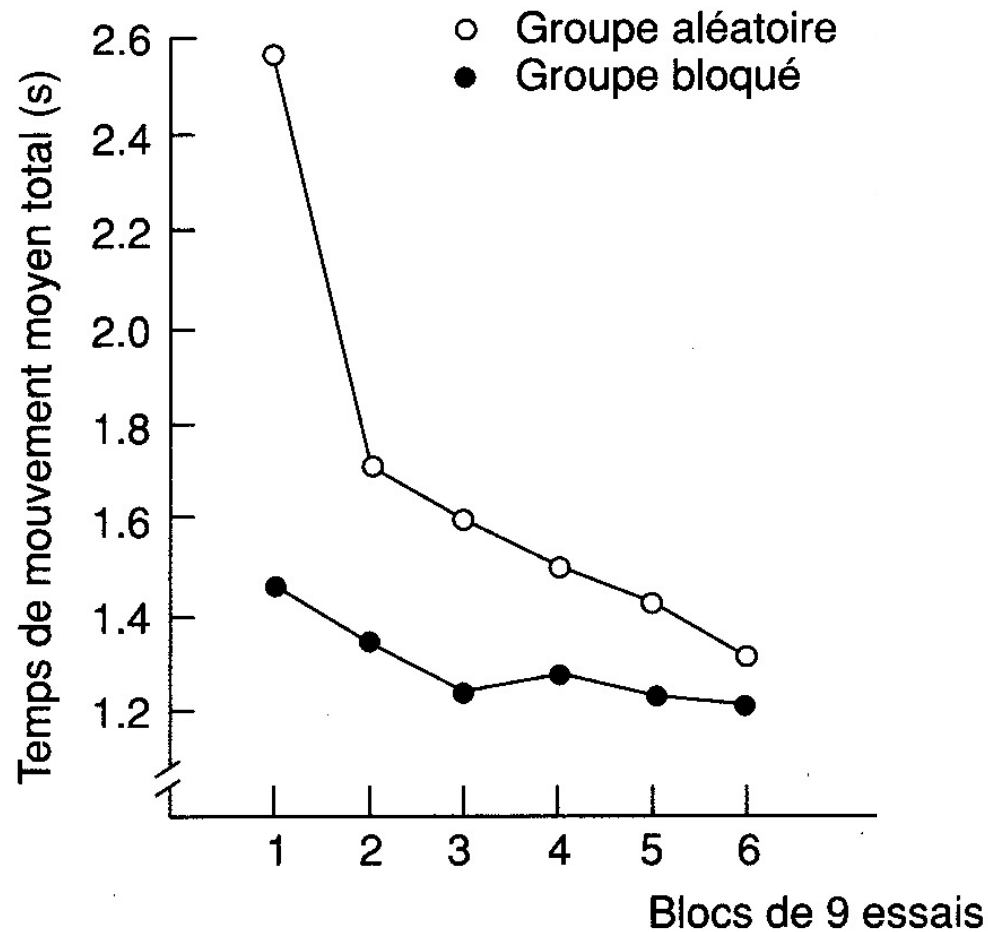
On veut enseigner trois habiletés différentes A, B, et C

Par exemple en volleyball: la réception, le service, le smash

Vaut-il mieux regrouper les essais sur chaque habileté (**pratique bloquée**)

**OU**

Variation l'habileté travaillée d'un essai à l'autre (**pratique aléatoire**) ?



Performance dans des tâches de vitesse de mouvement,  
en conditions bloquées et aléatoire

(D'après Shea et Morgan, 1979) <sup>426</sup>

## Conclusions

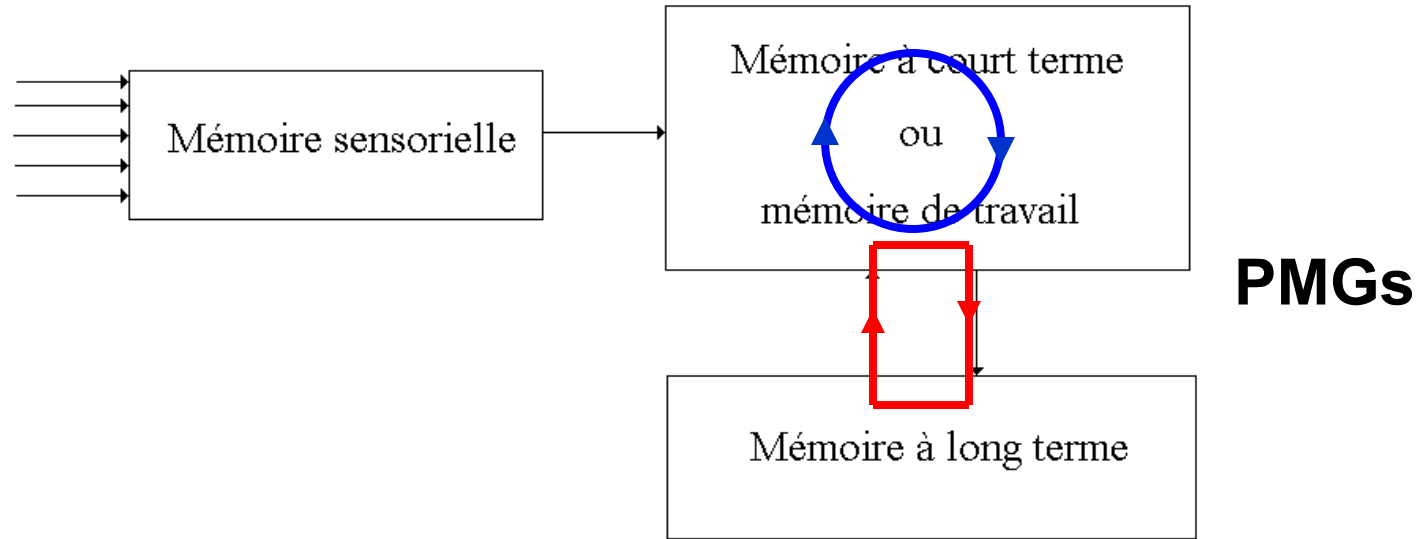
La pratique bloquée favorise la performance lors des sessions d'apprentissage

La pratique bloquée ne permet pas d'être efficace dans les tests de rétention en conditions aléatoires

La pratique aléatoire permet de s'adapter à toutes les conditions d'exercice dans les tests de rétention



L'interférence contextuelle, lors de l'apprentissage, permet de s'adapter à l'exercice des habiletés dans un environnement imprévisible



### Hypothèse

L'interférence contextuelle oblige les sujets à mobiliser activement les informations au sein du système des mémoires

La pratique bloquée ne permet pas cet entraînement à l'adaptation

## Interférence contextuelle, timing absolu et timing relatif

### Hypothèses:

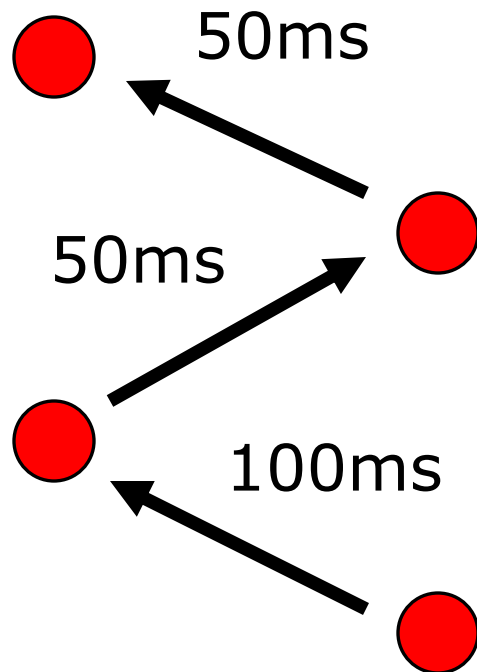
La pratique bloquée devrait favoriser la construction des PMG  
(réduction de l'erreur temporelle relative)

La pratique bloquée ne permet pas d'entraîner l'adaptation des PMG  
(accroissement de l'erreur temporelle absolue lors de tests de transfert)

La pratique aléatoire devrait favoriser la construction de règles de paramétrisation  
(stabilité de l'erreur temporelle absolue lors de tests de transfert)

## Interférence contextuelle, timing absolu et timing relatif

Shea, Wulf, Park et Gaunt (2001)



Temps total  
200ms

Apprentissage de patterns rythmiques

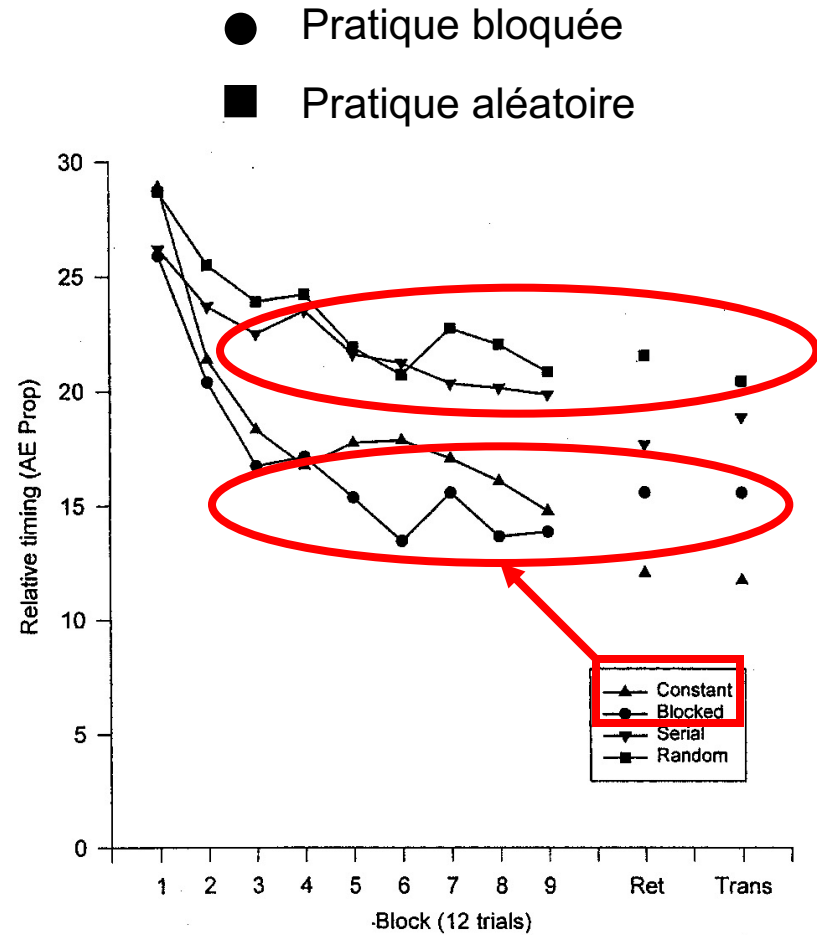
Ex: 100/50/50  
50/100/50  
50/50/100

- un groupe de sujet pratique sous forme bloquée

- un groupe de sujet pratique les différents patterns dans un ordre aléatoire

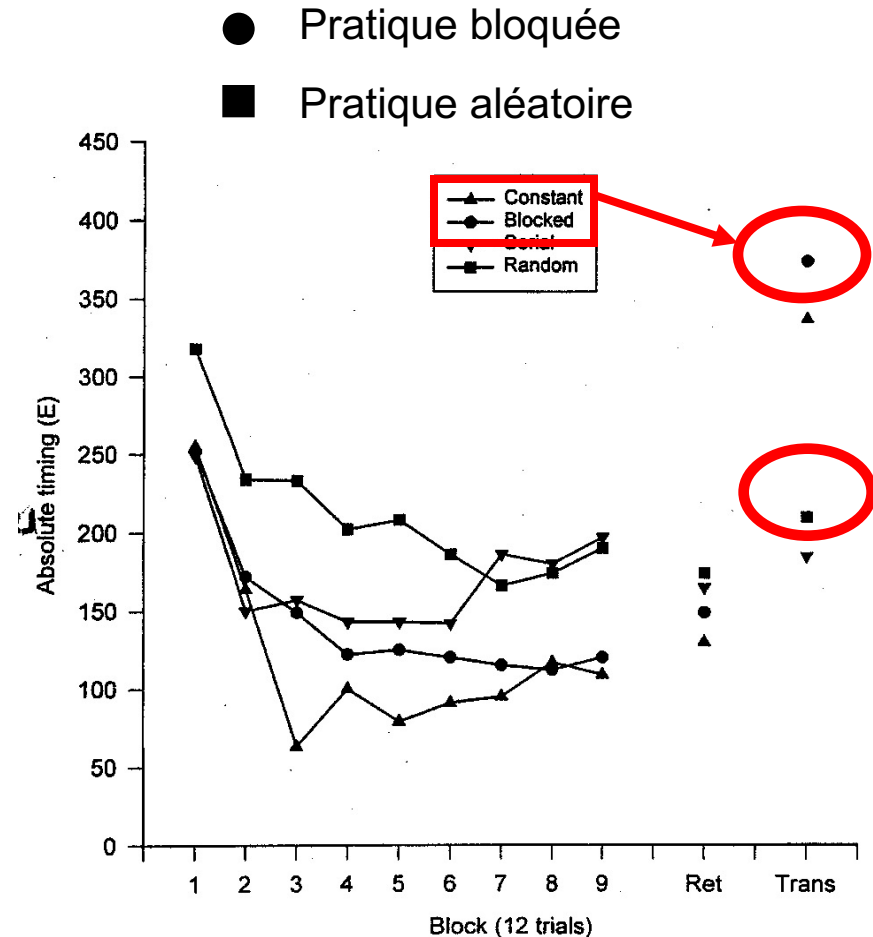
## Erreur temporelle relative

La pratique bloquée permet un meilleur timing relatif lors de l'apprentissage



## Erreur temporelle absolue

La pratique bloquée est moins performante lors des tests de transfert, en ce qui concerne le timing absolu





## 5. Apprentissage et conditions d'apprentissage

5.1. Répétition, consistance et automatisaion

5.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

5.3. La démonstration

5.4. Variabilité de la pratique

5.5. L'interférence contextuelle

5.6. Feedbacks

5.7. L'apprentissage piloté par les contraintes

# Définitions

Le feedback renvoie à l'ensemble des informations que le sujet peut recevoir en retour sur sa prestation

**Feedback intrinsèque:** l'information est issue de la pratique même

**Feedback extrinsèque ou augmenté:** l'information est apportée par un tiers, par exemple sous forme verbale, ou sous forme de feedback vidéo.

La **connaissance des résultats** renseigne sur l'écart au but visé

La **connaissance de la performance** est une information sur les moyens mis en œuvre pour atteindre le but

# Feedback et apprentissage

Adams (1971): sans feedback, il n'y a pas d'apprentissage.

Adams travaille sur des tâches de laboratoire, dans lesquelles le feedback intrinsèque est supprimé. Il montre dans ces conditions que sans feedback extrinsèque, les performances ne s'améliorent pas.

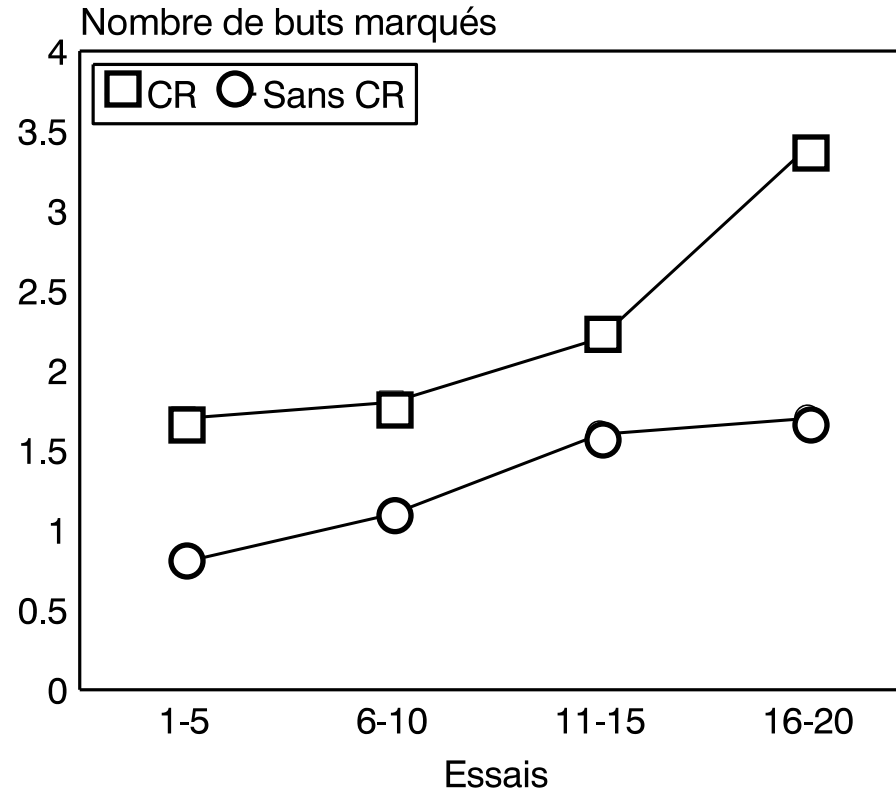
Cependant il est rare, dans les pratiques courantes, que le feedback intrinsèque soit absent...



# Le feedback extrinsèque peut dans certains cas favoriser l'apprentissage

Suppression du FB intrinsèque:

La lumière est éteinte dès que le ballon est frappé



Influence de la connaissance des résultats sur la performance et l'apprentissage dans une tâche de tir au but de la tête en football (Pauwels & Buekers, 1984)

## → Quelles sont les caractéristiques optimales d'un FB extrinsèque?

### Précision du feedback et apprentissage

Trowbridge et Cason (1932)

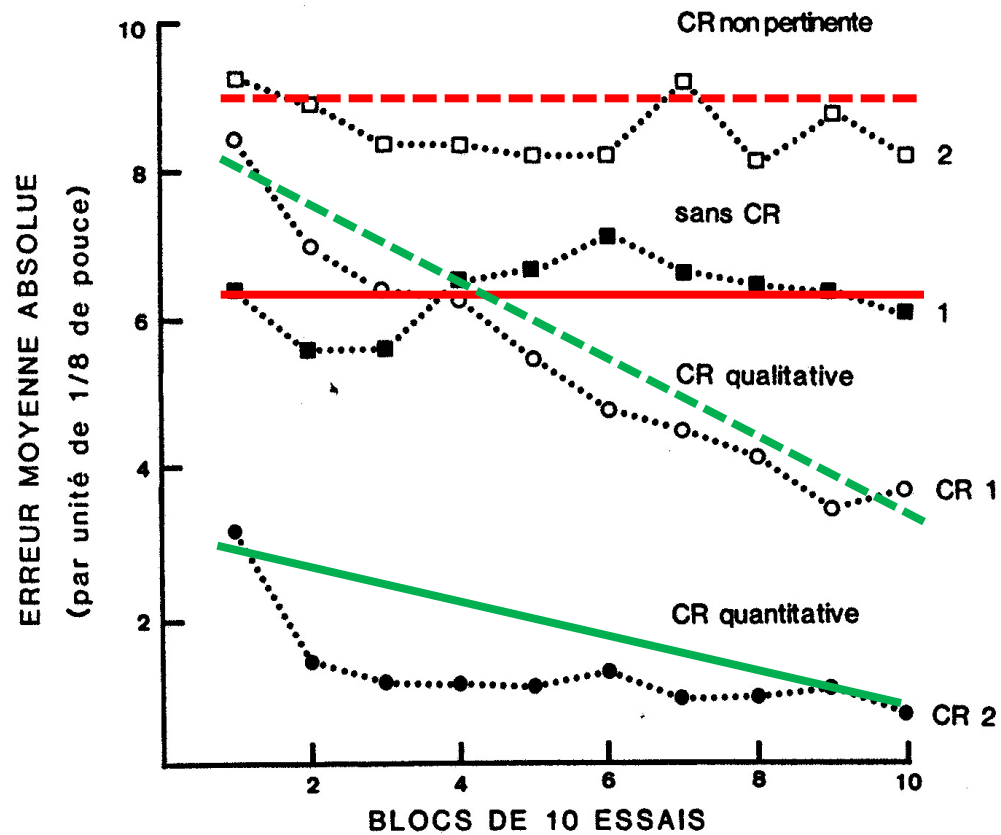
Tâche de traçage de lignes de longueur de 3 pouces

Quatre conditions:

- groupe **contrôle** (aucune information)
- connaissance du résultat **non pertinente** (syllabe sans signification)
- **CR qualitative**: le sujet est informé que sa performance est correcte ou incorrecte
- **CR quantitative**: amplitude précise de l'erreur

# Précision du feedback et apprentissage

## Trowbridge et Cason (1932)



La précision du feedback s'avère déterminante

# Précision du feedback et apprentissage

Rogers (1974)

Tâche de positionnement linéaire

Quatre conditions:

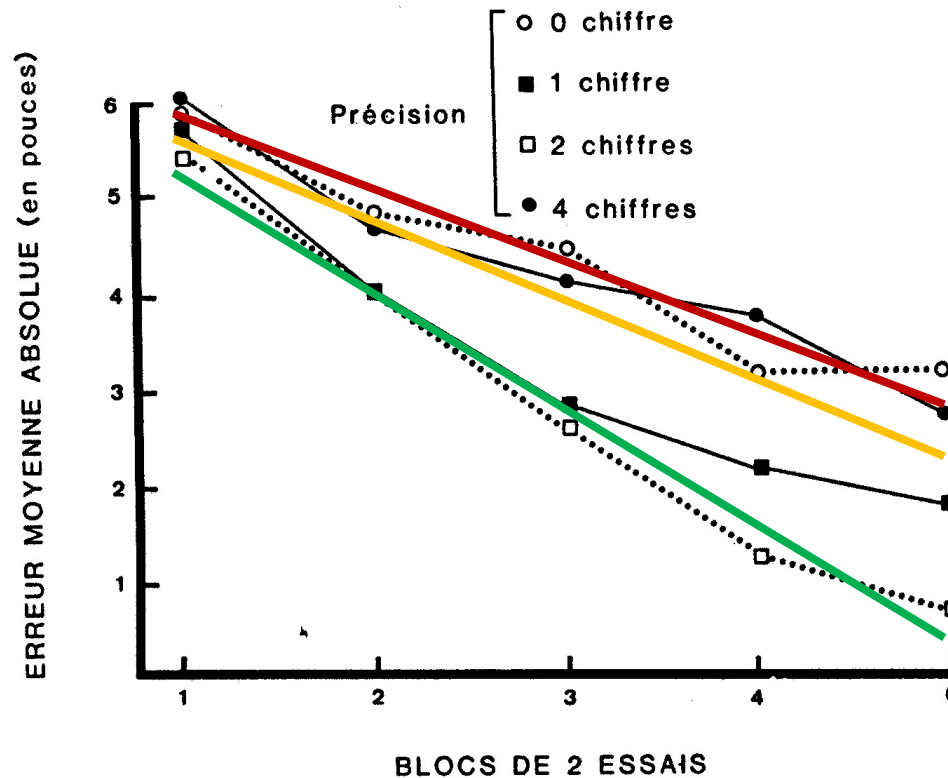
- CR qualitative (trop long ou trop court)
- CR quantitative: amplitude précise de l'erreur, précision à un chiffre (ex: +3)
- CR quantitative: amplitude précise de l'erreur , précision à deux chiffres (ex: +3.2)
- CR quantitative: amplitude précise de l'erreur , précision à quatre chiffres (ex: +3.254)

# Précision du feedback et apprentissage

Nécessaire de dépasser le simple encouragement qualitatif

Mais

Attention à ne pas noyer sous les informations



Il existe un optimum de précision (2 chiffres)

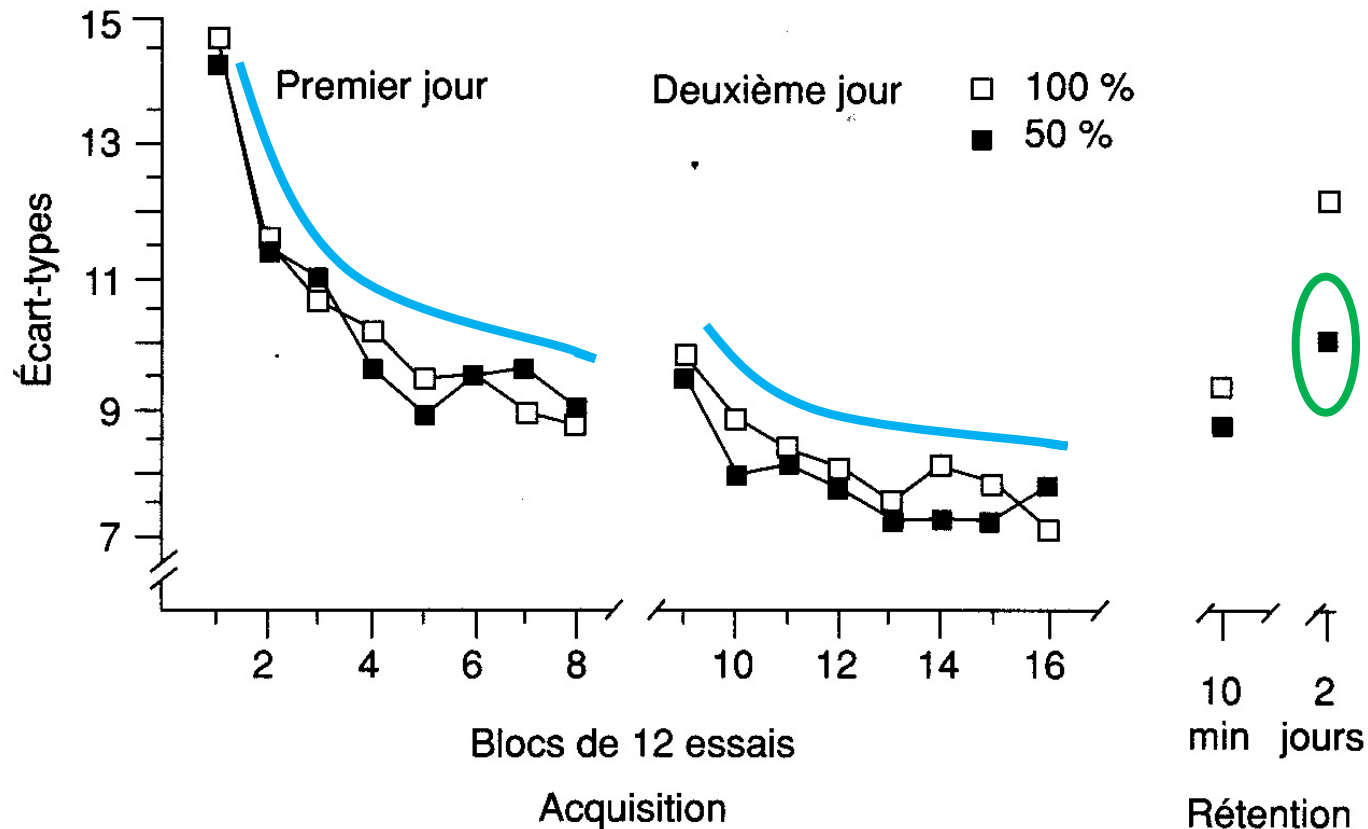


# Le phénomène de **dépendance au feedback**

L'utilisation massive du feedback peut entraîner un processus de dépendance: la performance est alors fortement affectée par sa suppression (Winstein & Schmidt, 1990).

En conditions de pratique normale: 0 FB extrinsèque

→ **Apprendre est aussi apprendre à se passer du FB augmenté de l'entraîneur...**



# Atténuation du feedback

Schmidt (1993) propose un processus *d'atténuation* du feedback: Feedback à chaque essai jusqu'à acquisition du pattern de base, puis diminution progressivement la fréquence des feedback

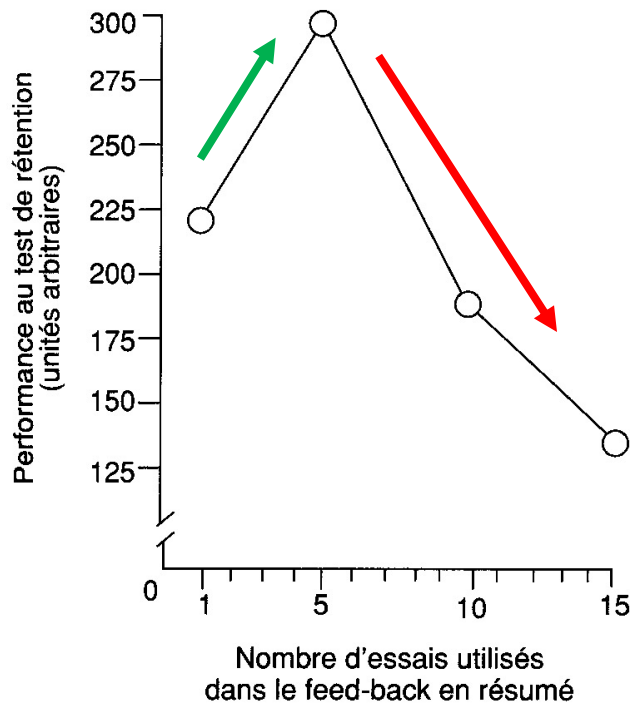


L'atténuation progressive du feedback va notamment inciter l'élève à utiliser davantage les feedbacks intrinsèques

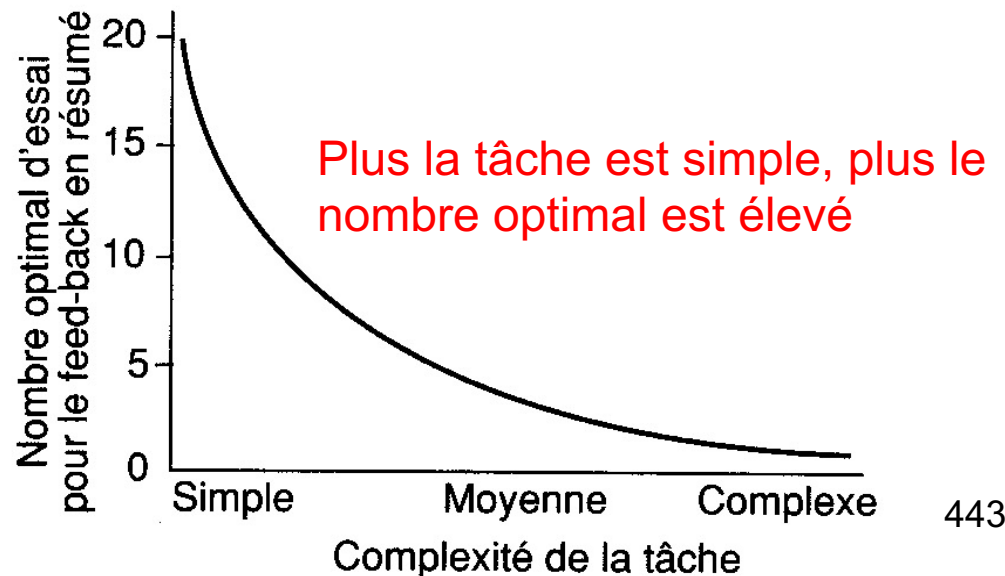
## Le feedback **résumé**

Le feedback **résumé** permet de réduire la dépendance au feedback

Principe: on attend plusieurs essais avant de proposer un feedback qui résume l'ensemble du bloc



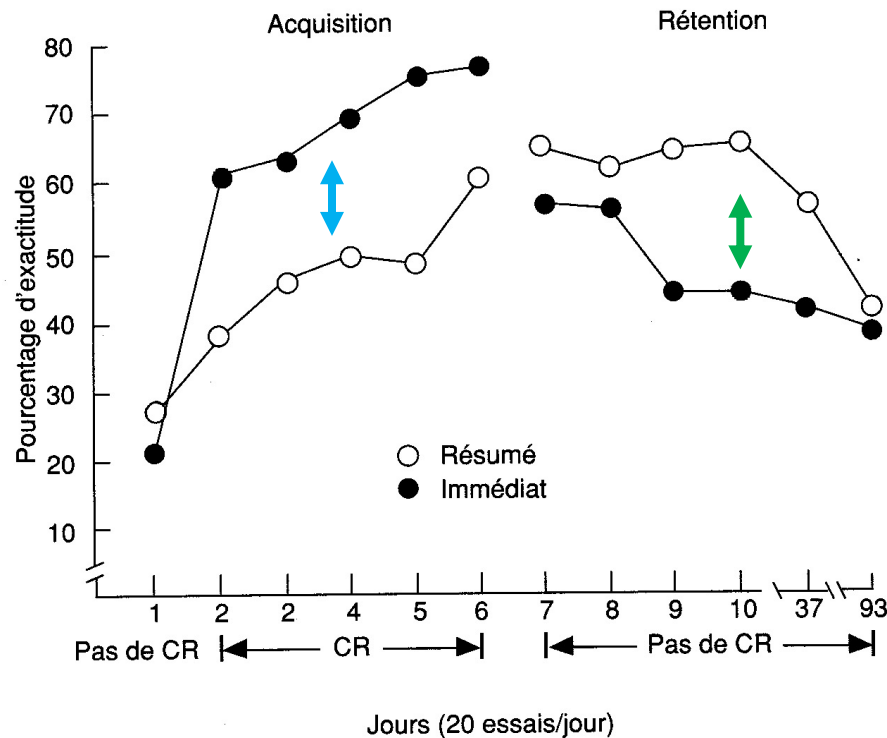
Schmidt, Lange et Young (1990): il existe un **nombre optimal d'essais à inclure dans un résumé**



# Le feedback résumé

Le feedback résumé peut être moins efficace à court terme, mais il permet de meilleures performances dans les tests de rétention (Schmidt, 1993)

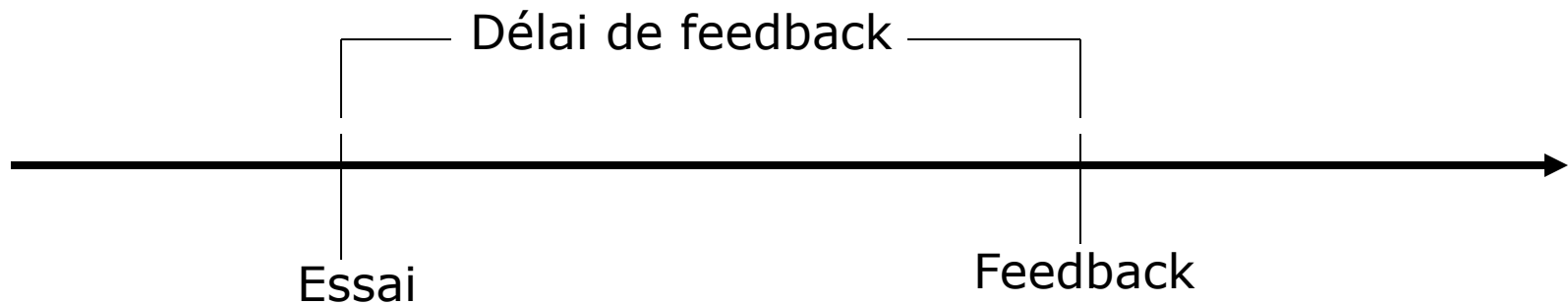
FB immédiat:  
Meilleurs résultats  
immédiats car  
+ d'info disponible



FB résumé:  
Meilleurs résultats  
de rétention, car  
moins  
dépendance

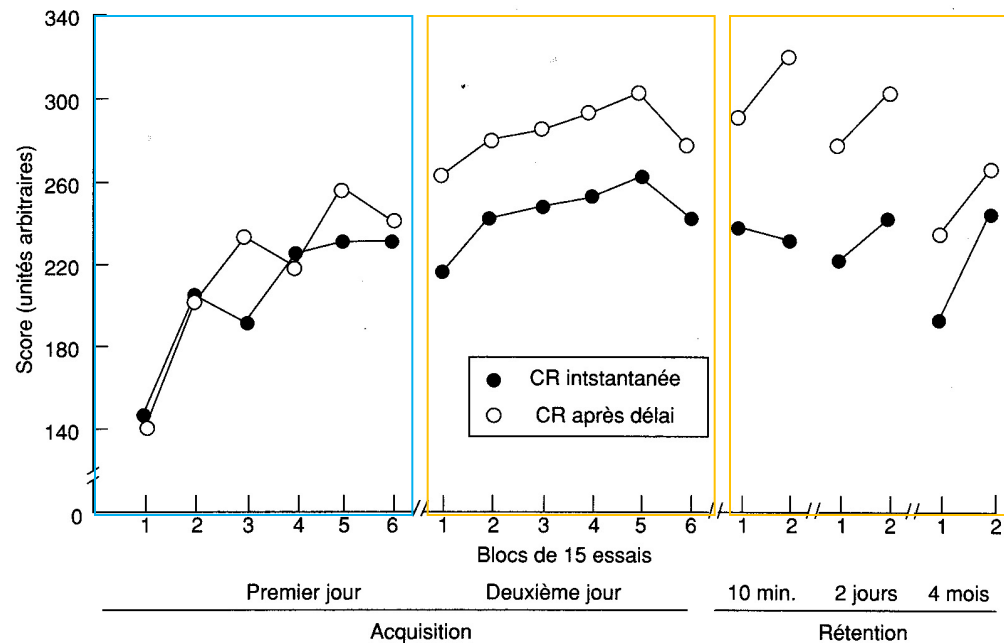
## Le délai de feedback

Temps écoulé entre la réalisation de l'essai et la délivrance du feedback



## Le délai de feedback

Swinnen, Schmidt, Nicholson et Shapiro (1990):  
Le feedback instantané peut être néfaste pour l'apprentissage.



→ Le sujet n'a plus le temps de traiter le feedback intrinsèque, son attention étant détournée par le feedback extrinsèque



## Le délai de feedback

Au-delà de quelques secondes, la durée de l'intervalle n'a que peu d'influence (jusqu'à quelques minutes)

Il est important que l'élève ne soit pas perturbé durant l'intervalle pré-feedback, par des activités extérieures à la tâche (autre activité, ou discussion, bruit, etc....)

Dans ce cas une détérioration est observée lors des tests de rétention (Marteniuk, 1986)

## Effet d'une activité perturbante lors du délai de feedback

Shea et Upton (1976)

Tâche de positionnement linéaire en vision occultée

21 essais d'apprentissage avec connaissance des résultats (écart à la cible)

12 essais de rétention sans connaissance des résultats

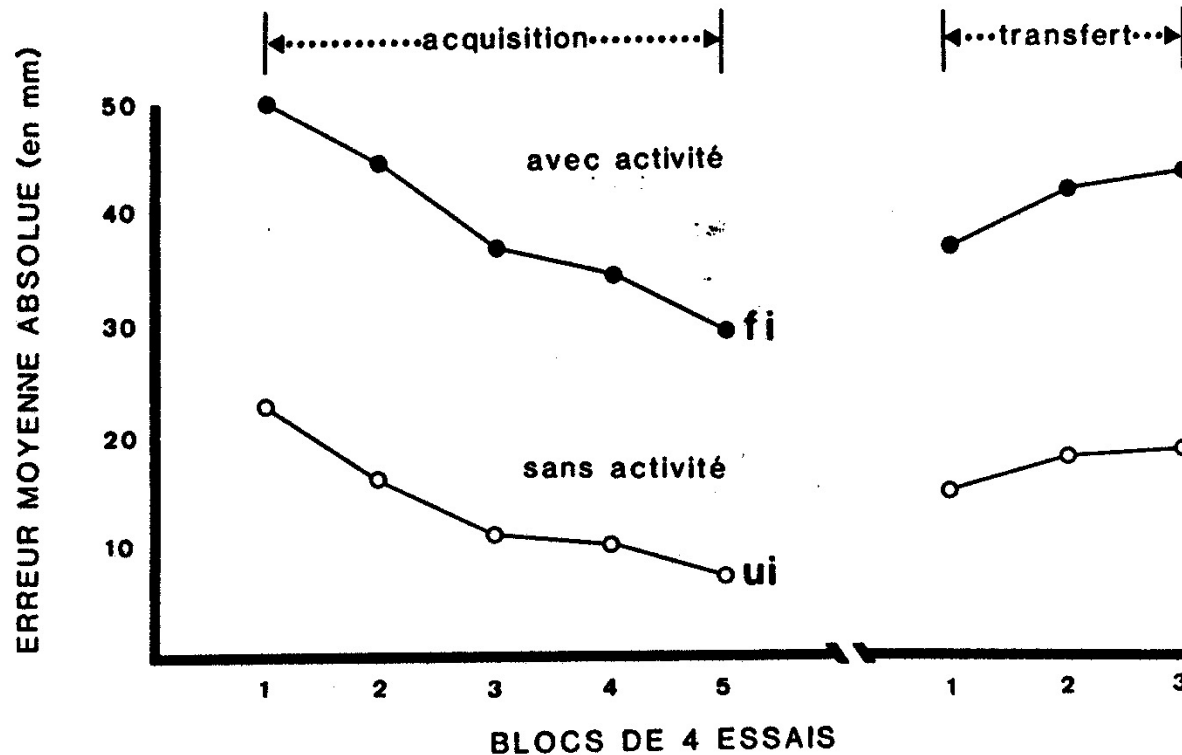
Deux conditions expérimentales:

- aucune activité pendant le délai de CR
- réalisation d'une autre tâche de positionnement pendant le délai de CR



# Effet d'une activité perturbante lors du délai de feedback

Shea et Upton (1976)



La perturbation a détérioré les performances, lors de l'acquisition et lors de la rétention

## Nature du feedback et nature de la tâche

Cooper et Rothstein (1981)

Hypothèses:

La connaissance des résultat est plus efficace pour les tâches ouvertes

La connaissance de la performance est plus efficace pour les tâches fermées

# Nature du feedback et nature de la tâche

Cooper et Rothstein (1981)

## Expérience sur le tennis





- Tâche fermée: service
- Tâche ouverte: jeu libre

## Feedback vidéo

- Connaissance de la performance: plan serré
- Connaissance du résultat: plan large

# Nature du feedback et nature de la tâche

Cooper et Rothstein (1981)

	Connaissance de la performance	Connaissance du résultat
Service		
Jeu libre		

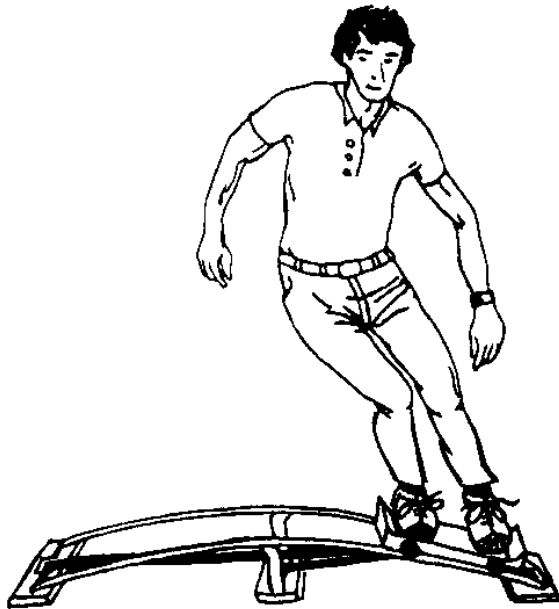
# Nature du feedback et nature de la tâche

Cooper et Rothstein (1981)

	Connaissance de la performance	Connaissance du résultat
Tâche fermée (Service)	++	-
Tâche ouverte (Jeu libre)	-	++

Vereijken et Whiting (1990)

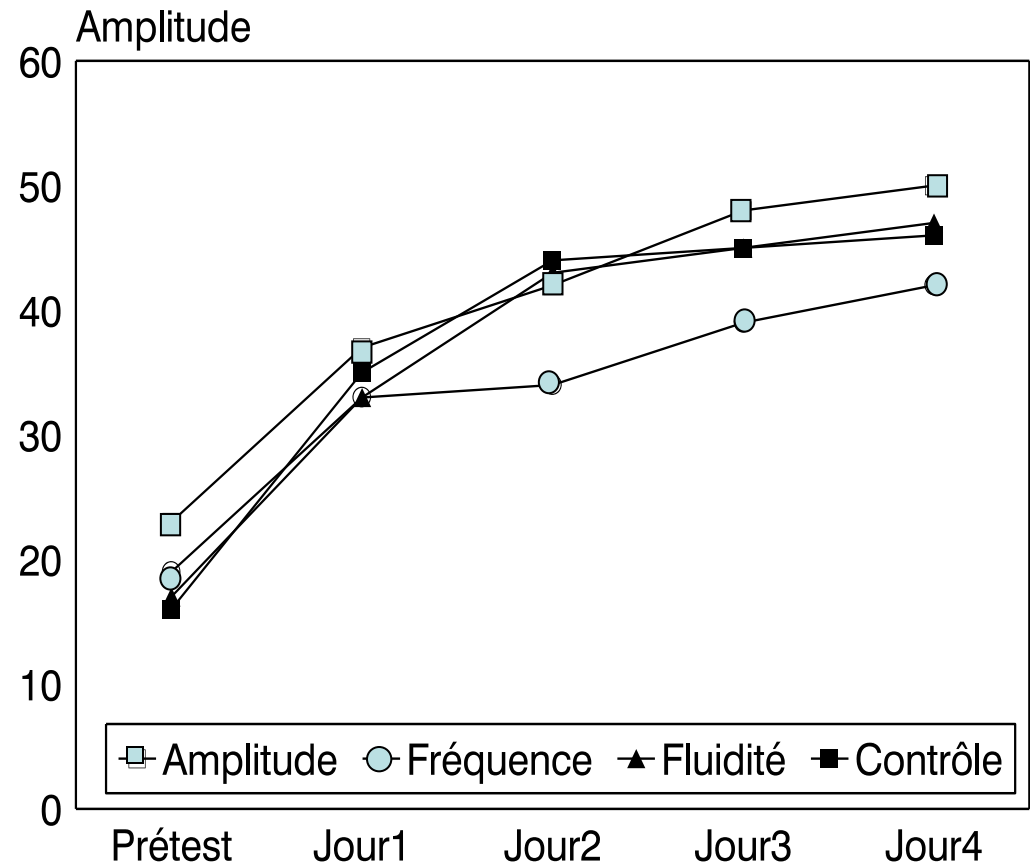
## Feedback et tâches complexes?



Les auteurs comparent les performances de sujets dans diverses conditions de feedback:

- feedback sur l'amplitude
- feedback sur la fréquence
- feedback sur la fluidité
- pas de feedback

## Vereijken et Whiting (1990)



Dans des tâches complexes, le sujet dispose de suffisamment d'informations intrinsèques pour guider l'apprentissage.

**L'intérêt porté à l'importance du feedback extrinsèque constitue un artefact de laboratoire, lié à la pauvreté informationnelle des tâches analysées.**

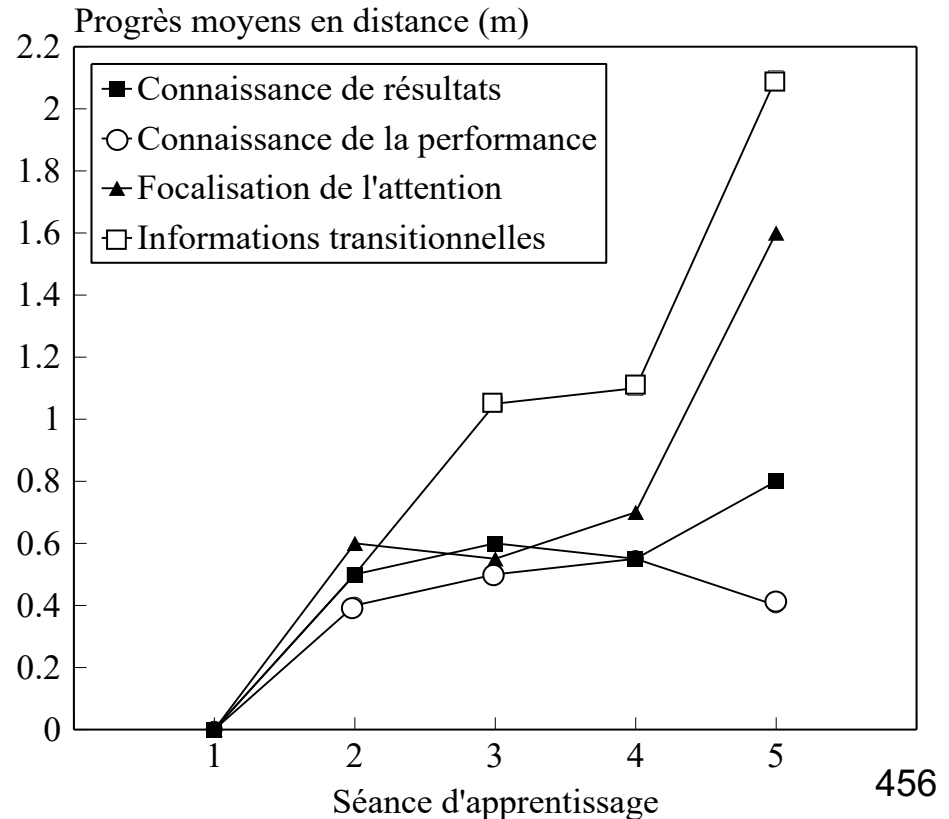
## L'information transitionnelle

Kernodle et Carlton (1992) définissent l'information transitionnelle comme **une information portant sur ce qui doit être fait à l'essai suivant**

Ils comparent dans une tâche de lancer de balle de précision, l'efficacité de la **CR**, de la **CP** et de l'**information transitionnelle**

0 FB intrinsèque disponible:  
les sujets lancent derrière un  
paravent

**Il est plus efficace de dire au  
sujet ce qu'il doit faire pour  
progresser, que de le  
renseigner sur ce qu'il a fait**





## Références bibliographiques

Simonet, P. (1985). *Apprentissages moteurs*. Paris: Vigot.

Schmidt, R.A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.

## 5. Apprentissage et conditions d'apprentissage

5.1. Répétition, consistance et automatisations

5.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

5.3. La démonstration

5.4. Variabilité de la pratique

5.5. L'interférence contextuelle

5.6. Feedbacks

5.7. L'apprentissage piloté par les contraintes

## L'apprentissage piloté par les contraintes

Constraints-led approach (Davids, Button & Bennet, 2008)

Critique de deux principes classiques en apprentissage:

- La décomposition de la difficulté
- Le primat des instructions

## La décomposition des tâches

Fragmentation de la tâche principale en sous-tâches, chaque sous-tâche étant à nouveau sub-divisée jusqu'à atteindre un niveau de simplicité accessible aux débutants.

1. La tâche principale se décompose en sous-tâches pré-requises. L'analyse se déroule ainsi du but principal aux sous-buts initiaux reliant ainsi les habiletés terminales aux habiletés initiales.
2. Les sous-tâches, ou tâches élémentaires, sont **indépendantes**. Elles sont chacune constituées par un sous-but indépendant.
3. Dans l'acquisition de l'habileté terminale, les sous-tâches **s'additionnent**.
4. Chaque sous-tâche suppose l'acquisition d'une **habileté particulière**. (Famose, 1985).

## La décomposition des tâches

Par exemple, le saut en hauteur peut être décomposé en 4 sous-tâches:

- Le course d'élan
- L'impulsion
- L'esquive
- La réception

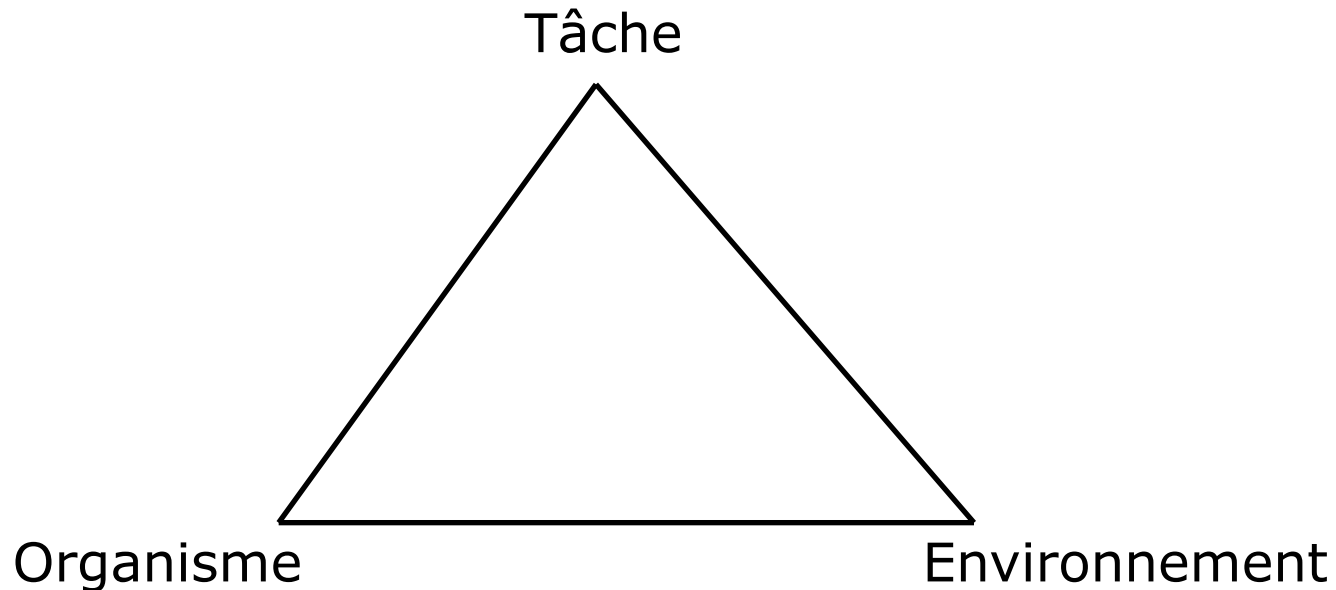


Pour Davids, Button et Bennet (2008), il s'agit de simplifier la tâche, mais pas de la décomposer

## Le primat des consignes

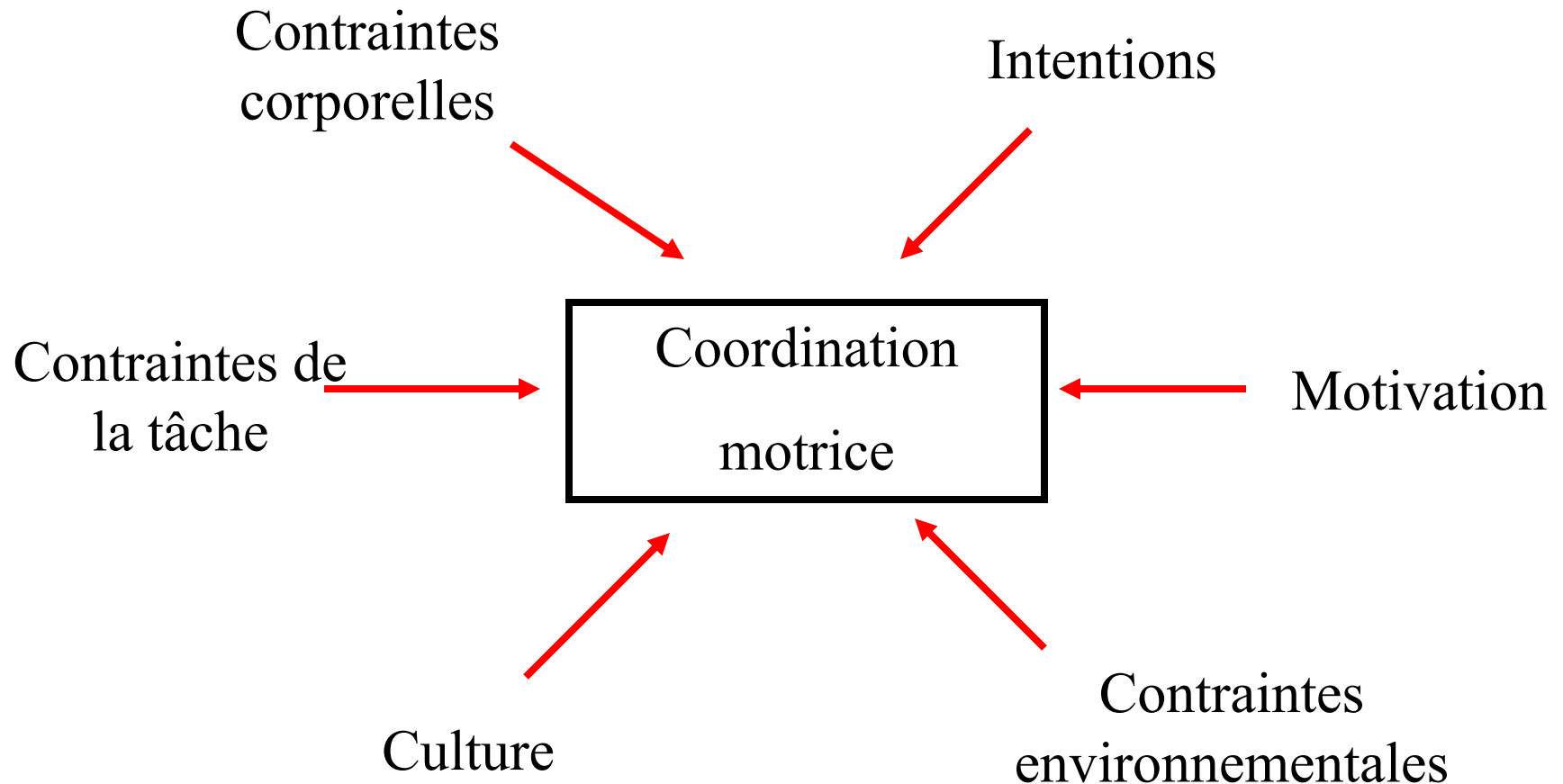


## L'apprentissage piloté par les contraintes



La tâche, l'organisme et l'environnement constituent un système complexe de contraintes (Newell, 1986)

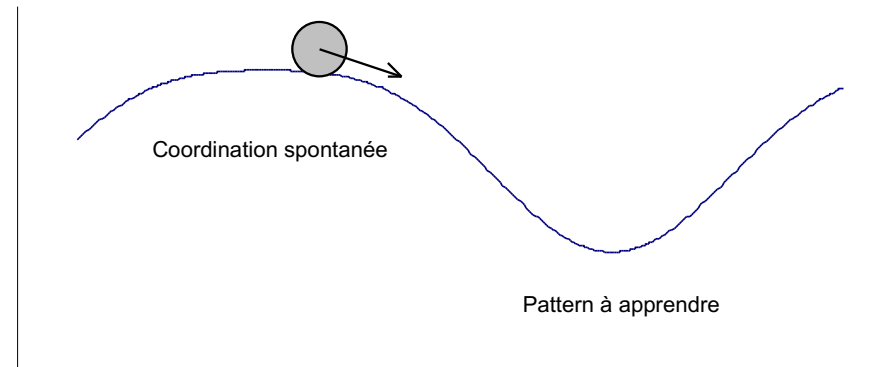
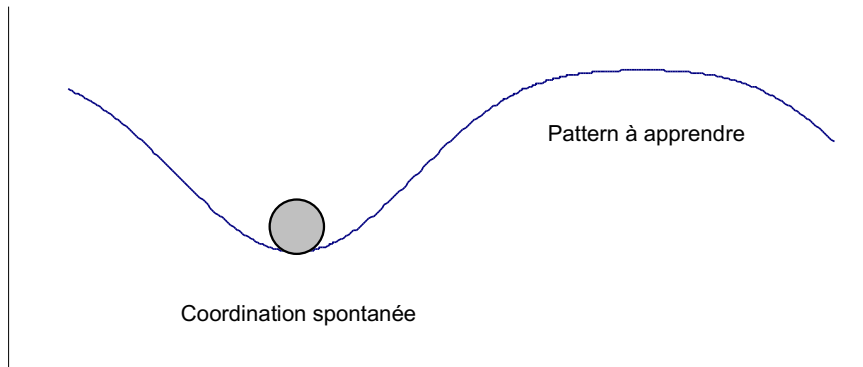
# L'apprentissage piloté par les contraintes





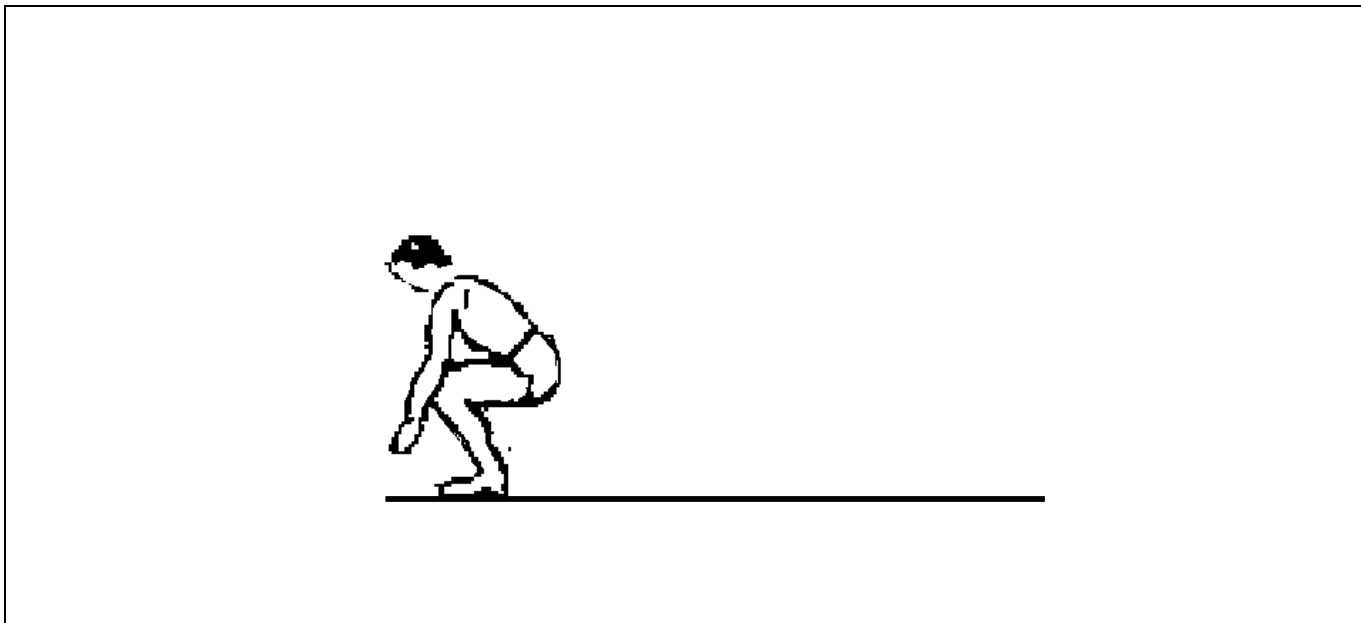
# L'apprentissage piloté par les contraintes

On peut agir sur le paramètre de contrôle pour rendre disponible un attracteur

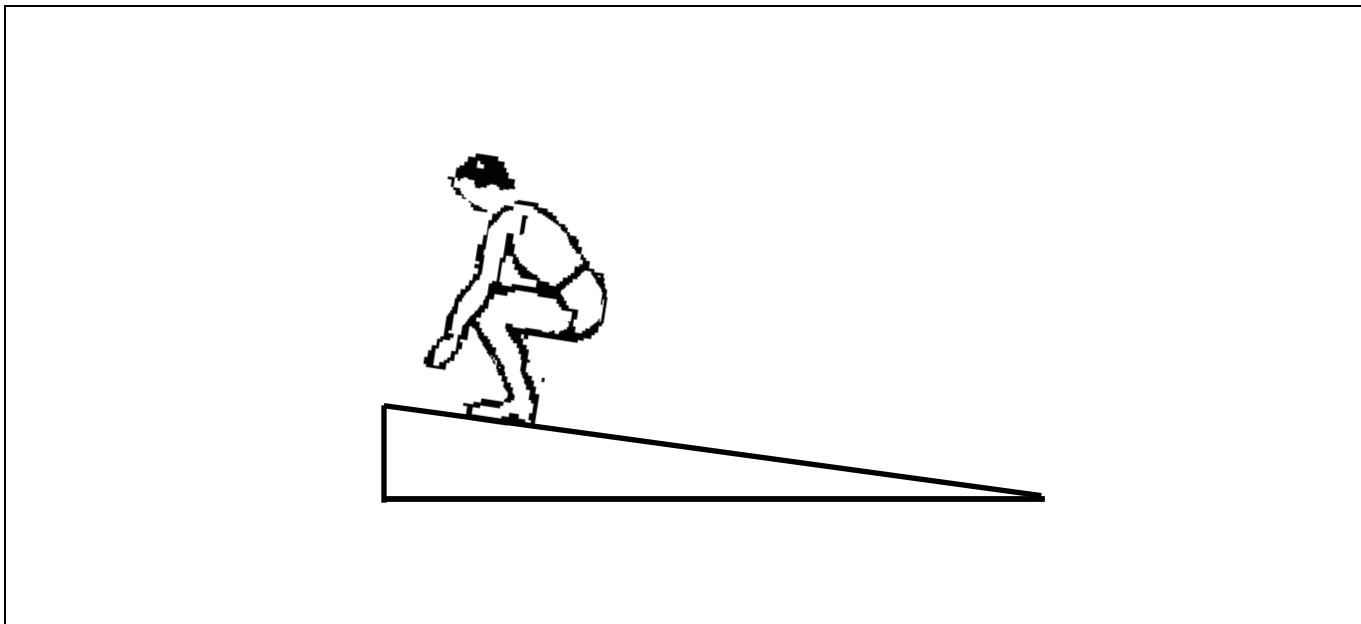


Il s'agit de déstabiliser la coordination spontanée et de rendre attractive la nouvelle coordination

Rendre la coordination à apprendre plus disponible  
en manipulant les contraintes de la tâche

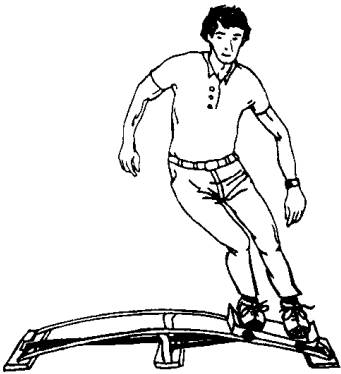


Rendre la coordination à apprendre plus disponible  
en manipulant les contraintes de la tâche



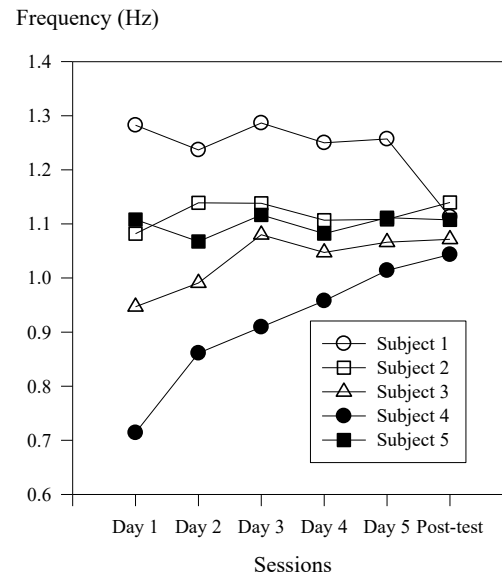
# L'apprentissage piloté par les contraintes

Nourrit, Lauriot, Deschamps, Caillou & Delignières (2000)



A forte amplitude, les sujets convergent vers la fréquence de résonance du système

(Durand, Geoffroi, Varray & Préfaut, 1994)



# L'apprentissage piloté par les contraintes

Nourrit, Lauriot, Deschamps, Caillou & Delignières (2000)



Hypothèse: si l'on force les sujets à osciller à forte amplitude, on devrait obtenir

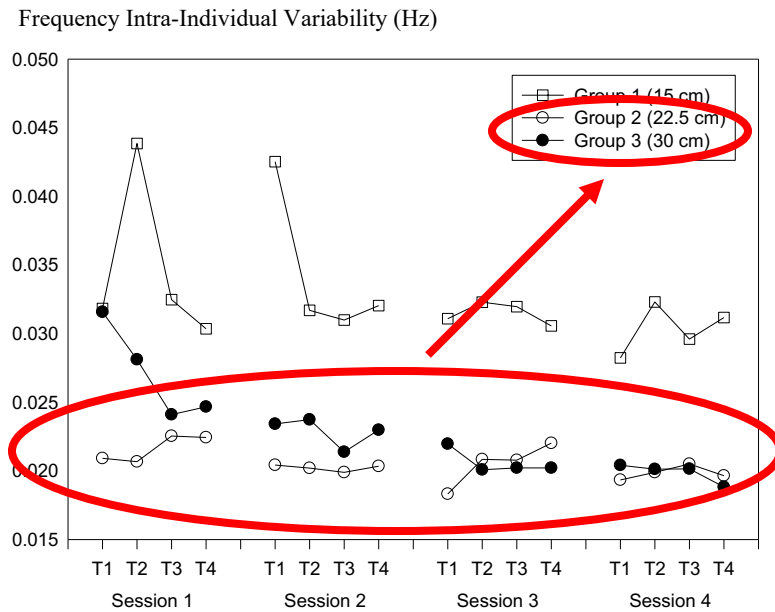
- des oscillations plus stables (variabilité inter-individuelle)
- des oscillations plus homogènes (variabilité inter-individuelle)

- Trois groupes de 6 sujets
- Quatre sessions de pratiques
- Trois amplitudes imposées: 15 cm, 22.5 cm, et 30 cm

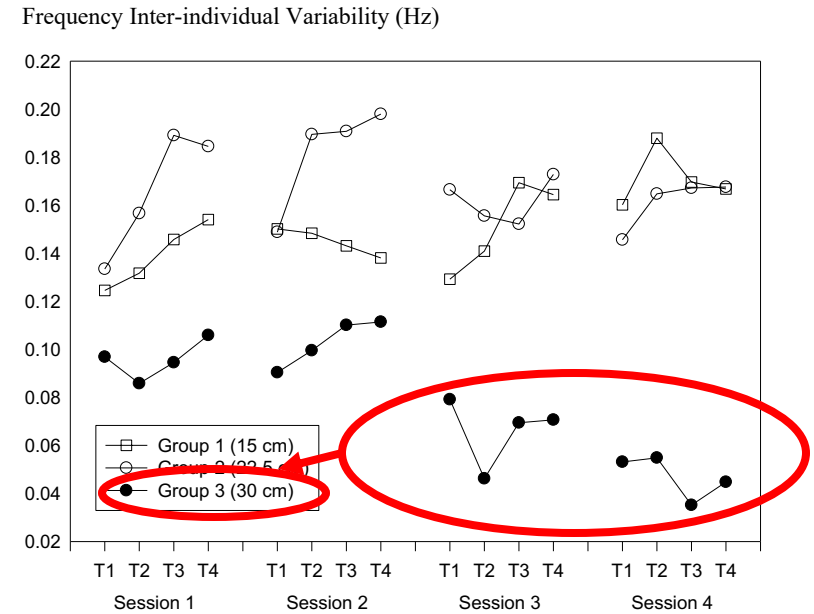
# L'apprentissage piloté par les contraintes

Nourrit, Lauriot, Deschamps, Caillou & Delignières (2000)

## Variabilité intra-individuelle

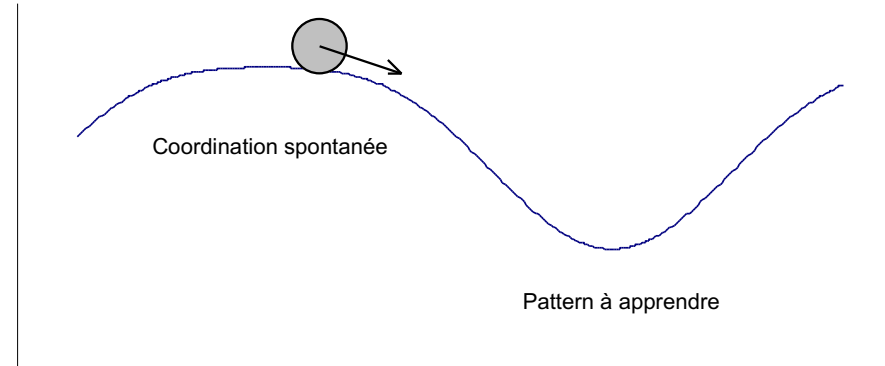
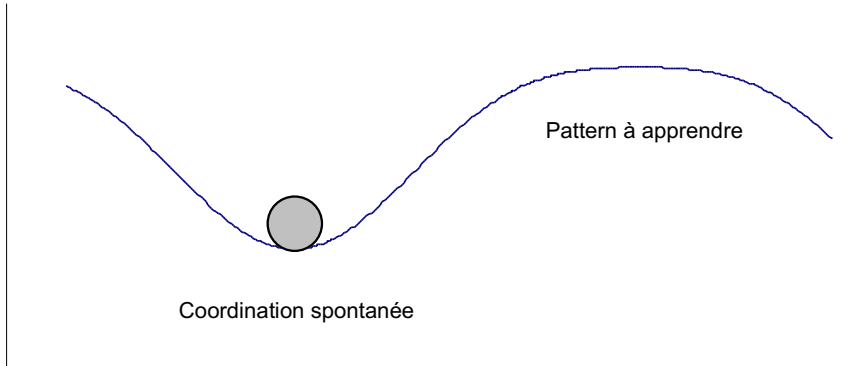


## Variabilité inter-individuelle



# L'apprentissage piloté par les contraintes

Nourrit, Lauriot, Deschamps, Caillou & Delignières (2000)



Dans ce type de tâche, c'est paradoxalement en rendant la tâche plus difficile que l'on favorise l'apprentissage

≠ principe de progressivité de Famose

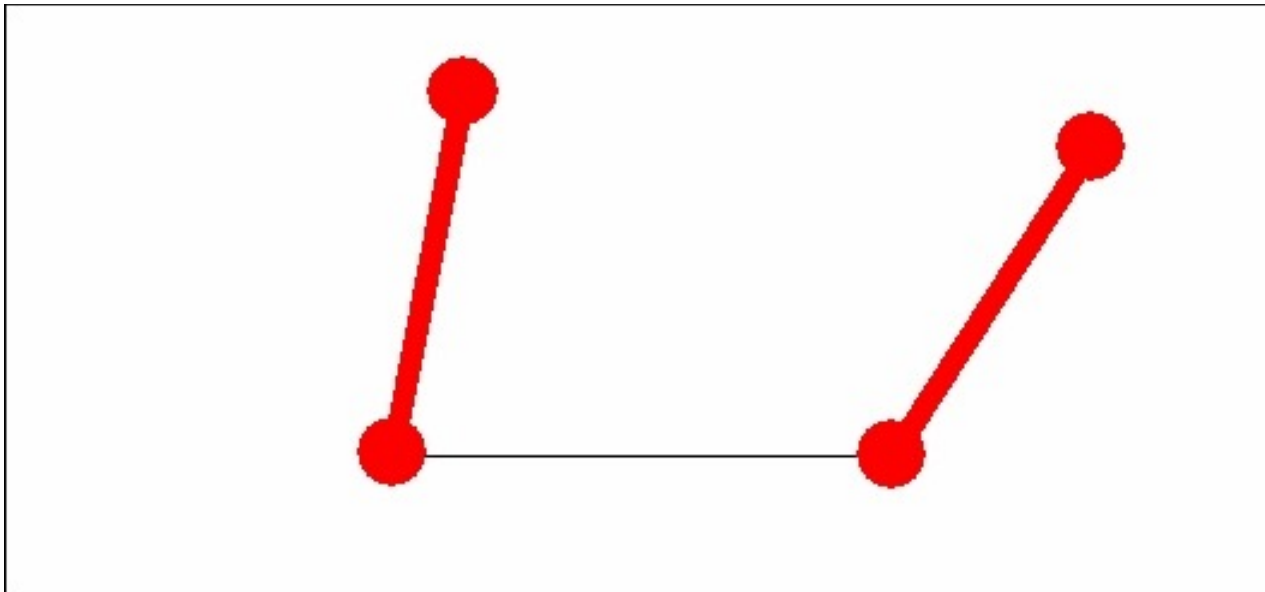
Comment apprendre à courir?

Comment apprendre la roue?

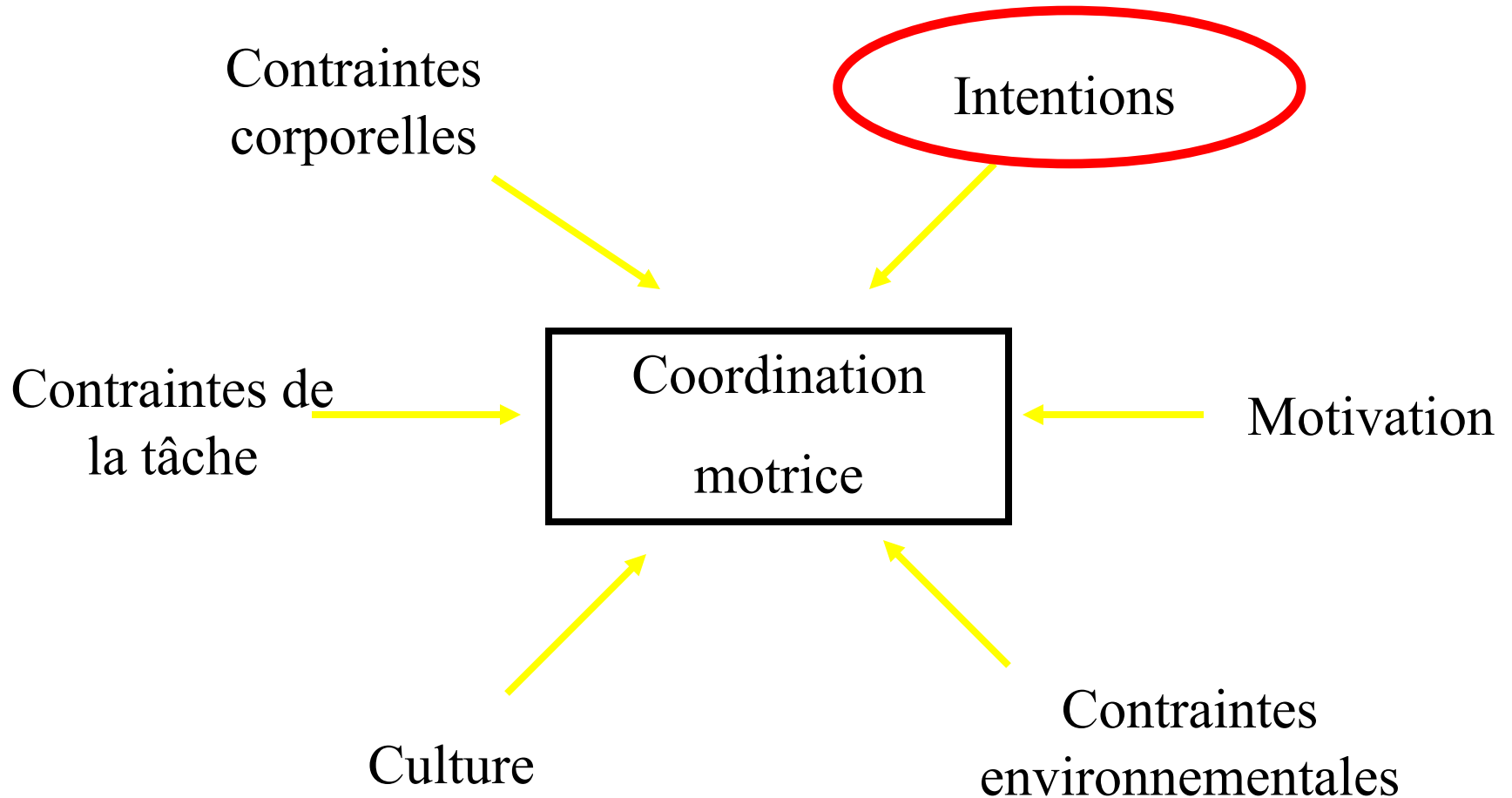
## Les contraintes cognitives

Apprentissage d'une coordination à  $90^\circ$  de phase relative

Caillou (2003)







## Les contraintes cognitives

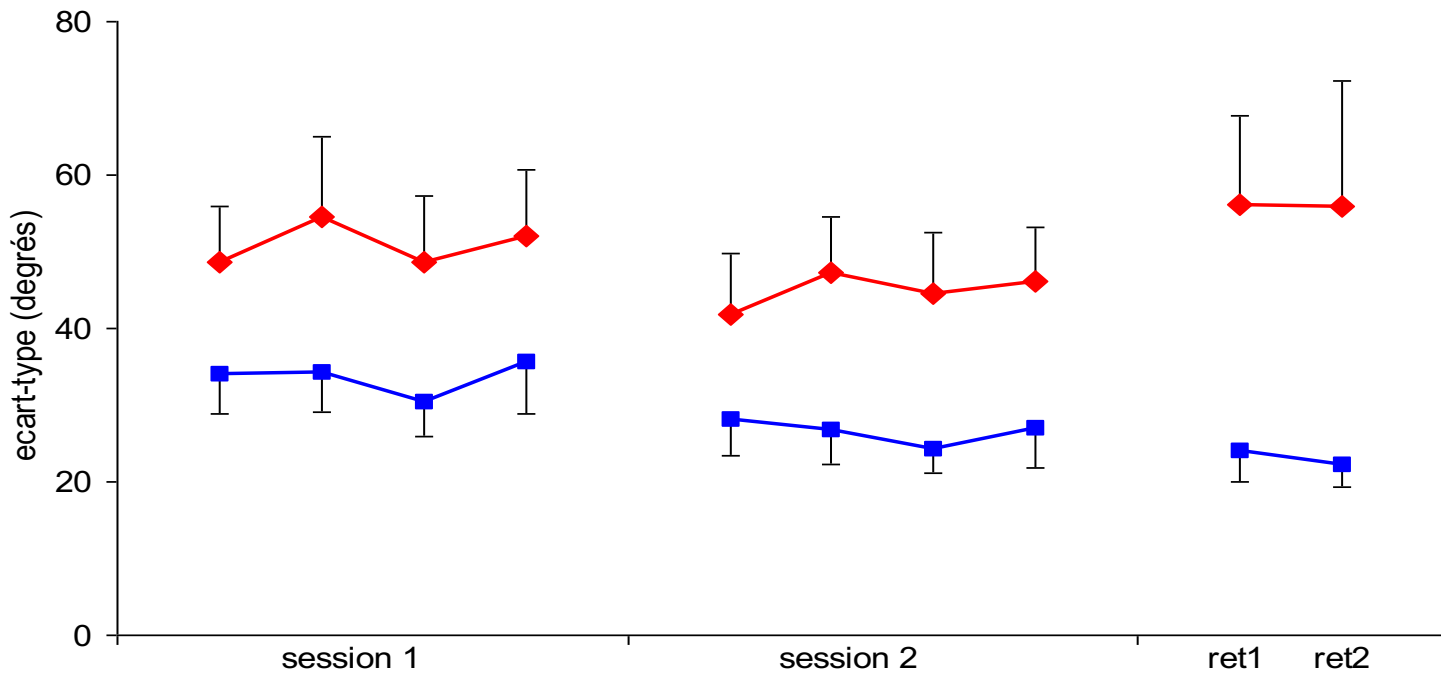
Apprentissage d'une coordination à  $90^\circ$  de phase relative

Caillou (2003)

Comparaison d'une **consigne analytique** (précisant les positions successives à réaliser) et d'une **consigne analogique**:

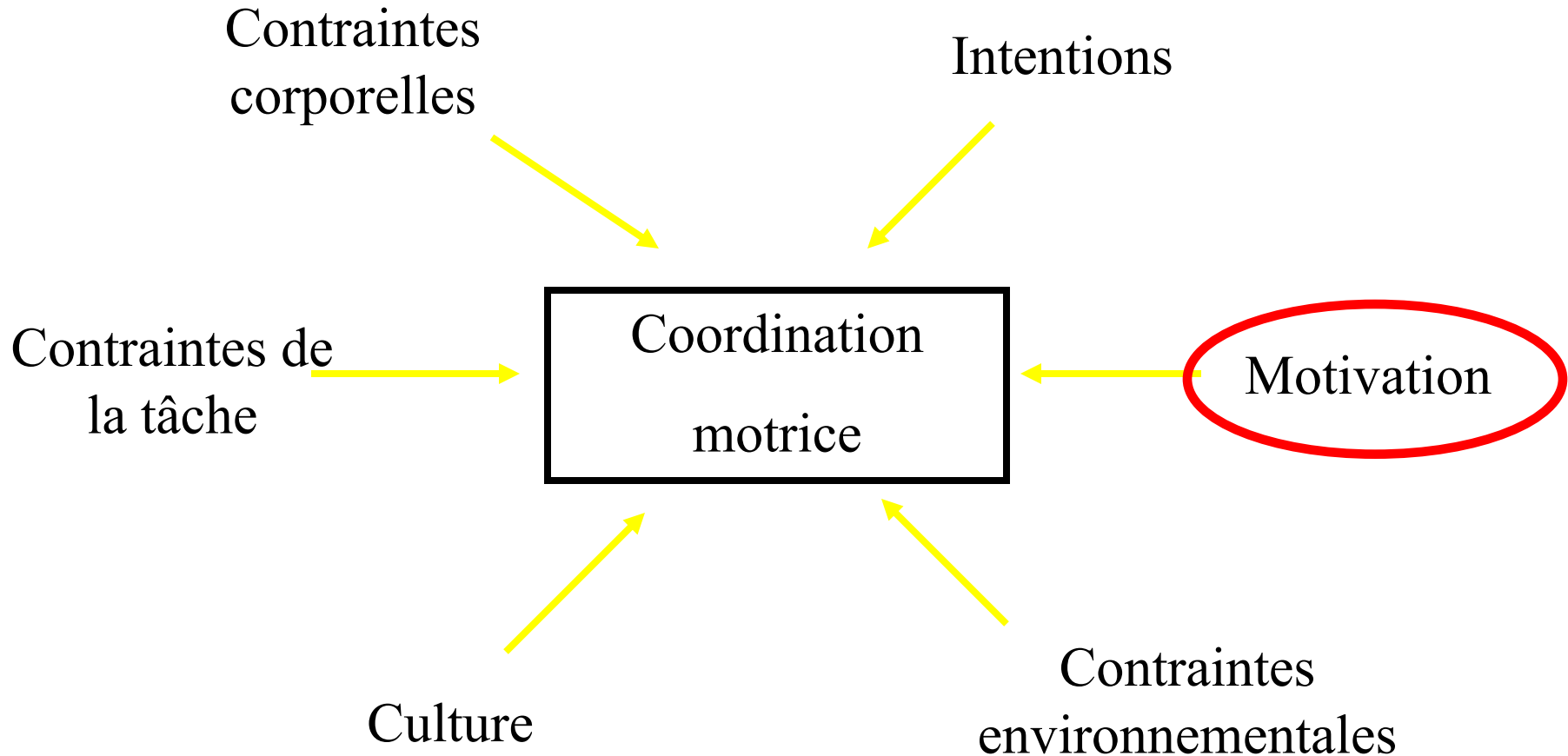
*"Imaginez une rafale de vent qui fait se coucher les arbres. Elle se propage dans la pièce de votre gauche vers votre droite. Les manettes représentent des arbres qui se couchent l'un après l'autre à chaque rafale de vent. Enfin, imaginez qu'à peine couchés, les arbres reprennent leur position initiale."*

## Évolution de la variabilité de la coordination en fonction de la nature des consignes (Caillou, 2003)



Consigne analogique  
Consigne analytique

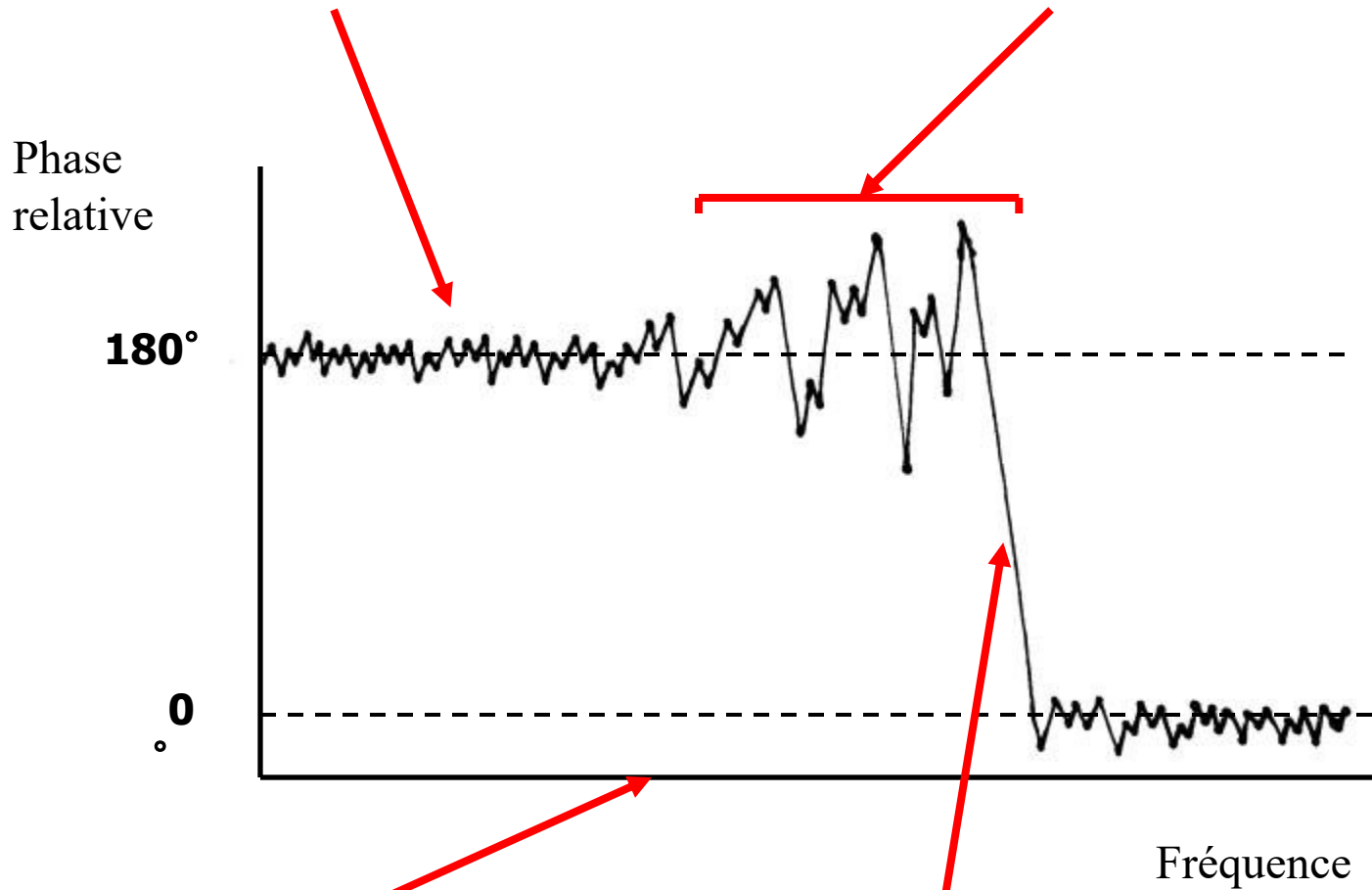
## Motivation et performance



# Les transitions de phase dans les coordinations bimanuelles

Préparation initiale en anti-phase

Fluctuations critiques



Accroissement de la fréquence

Transition de phase

## Influence de l'effort sur la stabilité d'une coordination bimanuelle (Deschamps, 2000)

- Sujets préparés en anti-phase

- 5 conditions de fréquence

Fréquence critique ( $F_c$ ),

$F_c - 0.5\text{Hz}$ ,  $F_c - 0.25\text{Hz}$ ,  $F_c + 0.25\text{Hz}$ ,  $F_c + 0.5\text{Hz}$

- Deux conditions d'intention:

**Intention de base:** « maintenez la coordination en anti-phase »

**Intention augmentée:** « maintenez la coordination en anti-phase, en essayant de vous contrôler au maximum et d'être le plus précis possible »

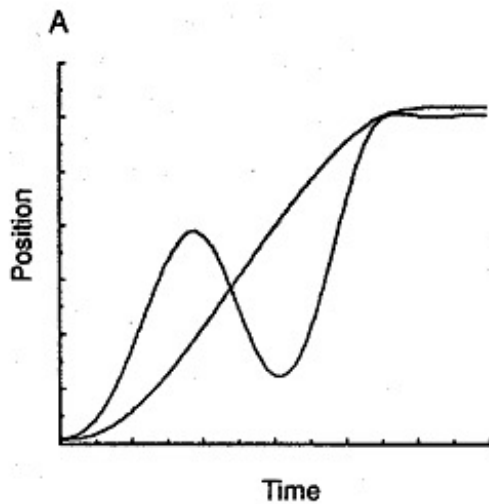
Influence de l'effort sur la stabilité d'une coordination bimanuelle  
(Deschamps, 2000)

→ Une intention renforcée/un effort, permet de retarder l'occurrence de la transition de phase vers des fréquences de mouvement plus élevées

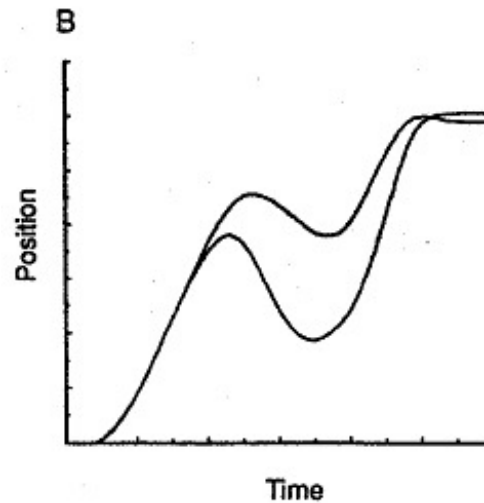
# L'apprentissage piloté par les contraintes

Walter et Swinnen (1995)

L'approche dynamique suggère que dans certains cas le comportement du débutant est fortement attiré par des modes de coordination spontanés



Trajectoires attendues



Trajectoires observées



# L'apprentissage piloté par les contraintes

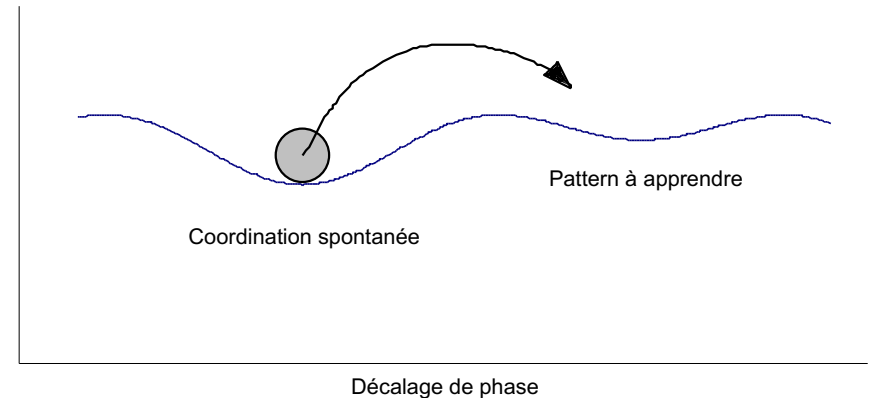
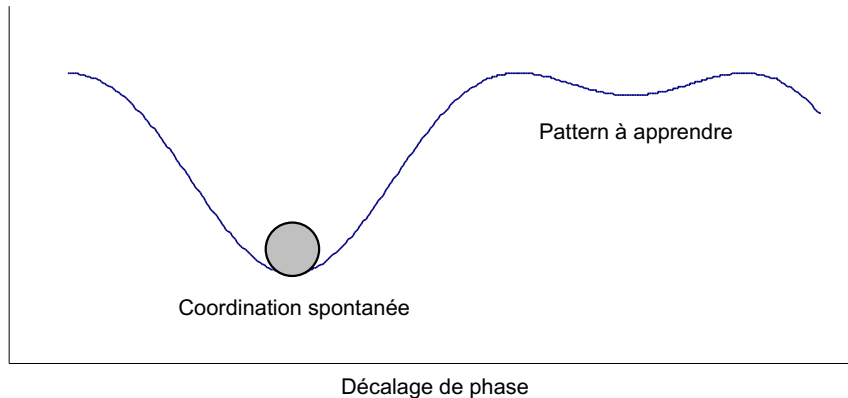
Walter et Swinnen (1995)

Plus les attracteurs spontanés sont stables, plus il contrarie l'apprentissage

A haute fréquence, seul l'attracteur en phase est stable

La coordination 1:3 est très difficile à produire

→ Idée de base: si l'on réduit la force de l'attracteur en phase en diminuant la fréquence, on rend plus facile l'exploration d'autres solutions



# Plan du cours

## Introduction : définitions

1. Habileté et traitement de l'information
2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente
3. Les étapes de l'apprentissage moteur
4. Apprentissage et efficacité
5. Apprentissage et conditions d'apprentissage
6. Apprentissage et connaissances