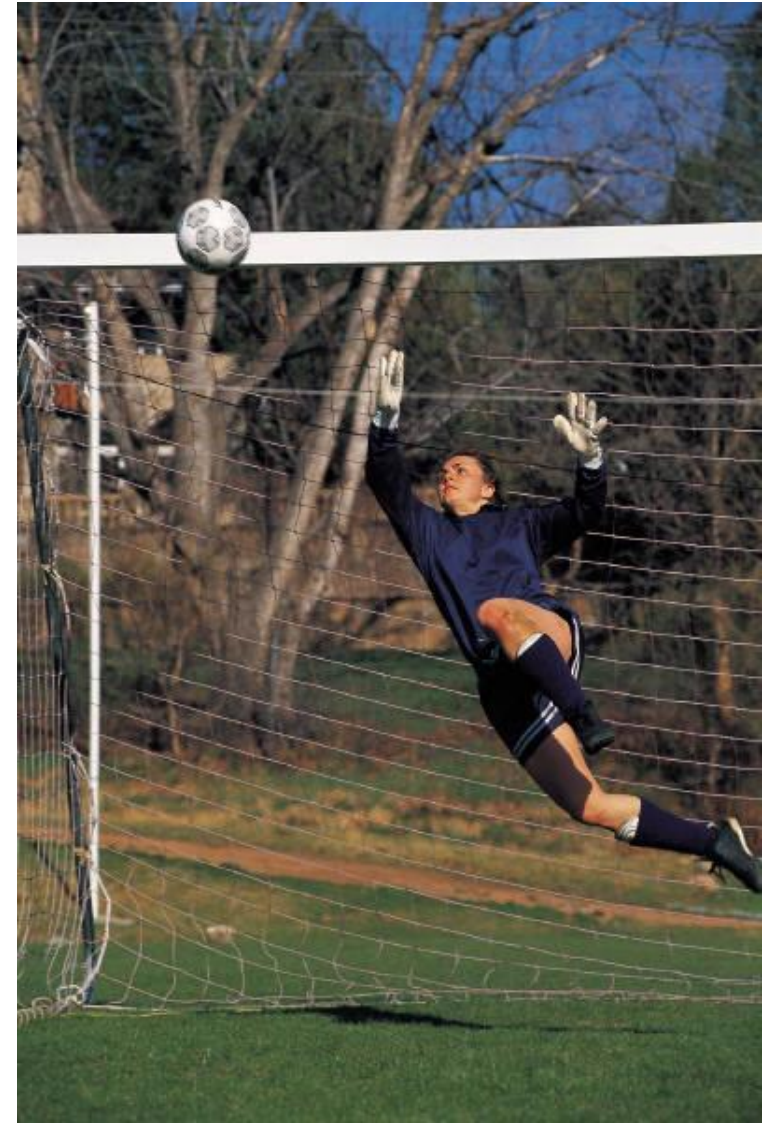


Les apprentissages moteurs

J. Lagarde/ - 2023

Loïc Damm



PLAN DU COURS



- ◆ **1. Introduction - Cadrage - Définitions**
- ◆ **2. Caractéristiques des habiletés /
Persistances et changements au cours de
l'apprentissage**
- ◆ **3. Discontinuités, étapes, lois générales**
- ◆ **4. Les conditions d'apprentissage**

PLAN (suite)



- ◆ **5. Les théories de l'apprentissage**
 - ◆ Approche cognitive de l'apprentissage
 - ◆ Approche neurophysiologique de l'apprentissage
 - ◆ Approche écologique de l'apprentissage
 - ◆ Approche dynamique de l'apprentissage

- ◆ **6. Le transfert d'apprentissage: Mythe ou réalité?**

- ◆ **7. Développement sensori-moteur et apprentissage**

I. Introduction

APPRENTISSAGES MOTEURS

- ◆ **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**
 - ◆ **Les processus cognitifs, sensoriels, moteurs**
 - ◆ **Types de session de pratique**
 - ◆ **Feedback**
- ◆ **Apprentissage moteur - Contrôle moteur**
- ◆ **Intérêt de l'expertise**



Généralités- Définitions

Apprentissage : Une tradition institutionnelle, rationaliser l'enseignement, mais une question fondamentale/ pas seulement les staps...

Adaptation : unique au vivant, définit le vivant. Très étonnant.

- **Apprentissage** : changement relativement permanent permettant la performance face à un problème nouveau. L'apprentissage moteur est une série de processus associés à la pratique ou à l'expérience, conduisant à des changements relativement permanents de la capacité à répondre (à une situation).

- Adaptation : changement transitoire face à la nouveauté

- **Thèmes associés :**

Mémoire(s) : La permanence relative de l'adaptation du comportement repose sur l'existence, la formation, d'un « support », d'une trace (métaphore de la plaque de cire), d'un « stockage » (métaphore informatique).

- **Plasticité, développement, ré- apprentissage (réadaptation), adaptation à des déficiences.**

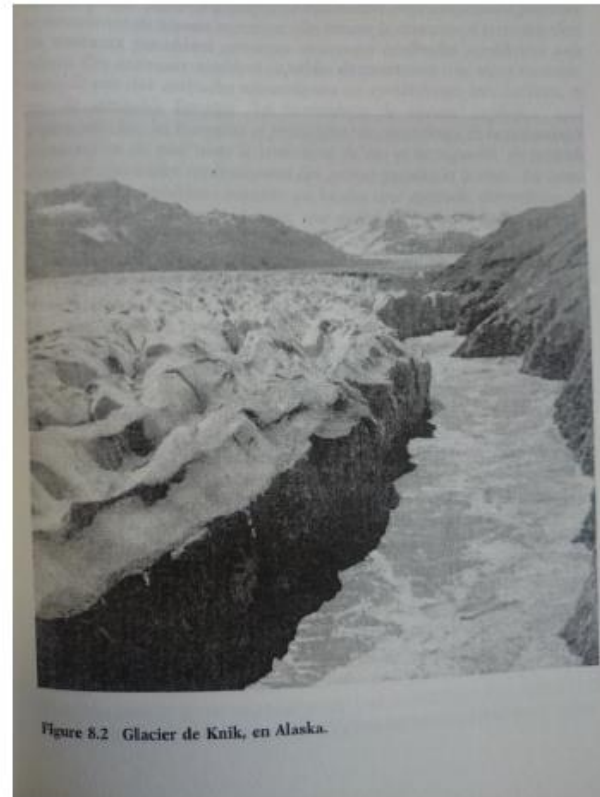
- Tests comportementaux : amélioration des performances, changements dans l'organisation du mouvement , transfert, rétention

Mémoire ?

Gerald Edelman, Giulio Tononi (2000) A Universe Of Consciousness: How Matter Becomes Imagination

Comment la matière devient conscience. Odile Jacob

- ✓ **Plasticité cérébrale**
- ✓ **Encrage cellulaire de la mémoire et de l'apprentissage**



La mémoire non représentationnelle

La mémoire est une composante centrale des mécanismes cérébraux produisant la conscience. On considère en général qu'elle correspond à l'inscription et au stockage d'informations. Mais qu'est-ce qui se trouve stocké ? Est-ce un message codé ? Quand on le « déchiffre », quand on se le remémore, est-il le même ? Ces questions renvoient au postulat général selon lequel ce qui est stocké prendrait la forme d'une représentation. Ce chapitre adopte en fait le point de vue opposé, qui va avec notre perspective sélectionniste : la mémoire est non représentationnelle. Nous la considérons comme l'aptitude d'un système dynamique façonné par la sélection et qui n'est plus capable de répéter ou de supprimer un acte mental ou physique. Cette vision nouvelle de la mémoire peut être illustrée par une comparaison géologique : la mémoire s'apparente plus au brassage et au refroidissement qui ont lieu dans un glacier qu'à une inscription sur un rocher.

L'apprentissage est une forme de mémoire, qui repose sur la structuration de réseaux de neurones

The 19th century neuroanatomist Santiago Ramón y Cajal proposed that memories might be stored across synapses, the junctions between neurons that allow for their communication.

Règle de Hebb (1949)

Let us assume that the persistence or repetition of a reverberatory activity (or "trace") tends to induce lasting cellular changes that add to its stability.... When an axon of cell *A* is near enough to excite a cell *B* and repeatedly or persistently takes part in firing it, some growth process or metabolic change takes place in one or both cells such that *A*'s efficiency, as one of the cells firing *B*, is increased.

The theory is often summarized as "*Cells that fire together, wire together*".

Hebb, D.O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley & Sons

Lashley (1929, 1950), : Hypothèse des « engrams » (réseaux de neurones)

Engrams : Le moyen par lequel une trace mémorielle est réalisée dans le cerveau par des processus biophysiques ou biochimiques en réponse à un stimulus externe

Récepteurs sensoriels et bases corticales de la motricité

Objectif : Localiser la mémorisation, l'apprentissage

Méthode :

- Entraînement de rats (renforcement/ nourriture- labyrinthe) puis lésions corticales localisées

- Mesure comportementale avant/ après lésion

→ Effet de la taille des lésions (quantité de matière prélevée)

→ Pas d'effet de la localisation des lésions sur les performances dans le labyrinthe (temps mis pour trouver la nourriture)

→ La mémoire n'est pas localisée mais distribuée dans le cortex

By 1950, Lashley had distilled his research into two theories. The principle of "mass action" stated that the cerebral cortex acts as one—as a whole—in many types of learning. The principle of "equipotentiality" stated that if certain parts of the brain are damaged, other parts of the brain may take on the role of the damaged portion

-Définition du problème : Qu'est ce que l'apprentissage ?

Apprentissage social, techniques transmises, création invention, recherche de *solutions*.

Des solutions ? A quels problèmes ?

- Découvrir- établir- former les bonnes formes corporelles (coordinations) et les bonnes relations entre perception (de l'environnement, du corps) et mouvement.

- Les bonnes formes corporelles (coordinations) : *L'organisation du geste*

- *La perception :*

1) Trouver l'information (apprentissage perceptif; radiologie, escalade); pb spatial et temporel: Quelle est la bonne information ?

2) Utiliser l'information pour adapter la coordination à l'objectif, à l'environnement.

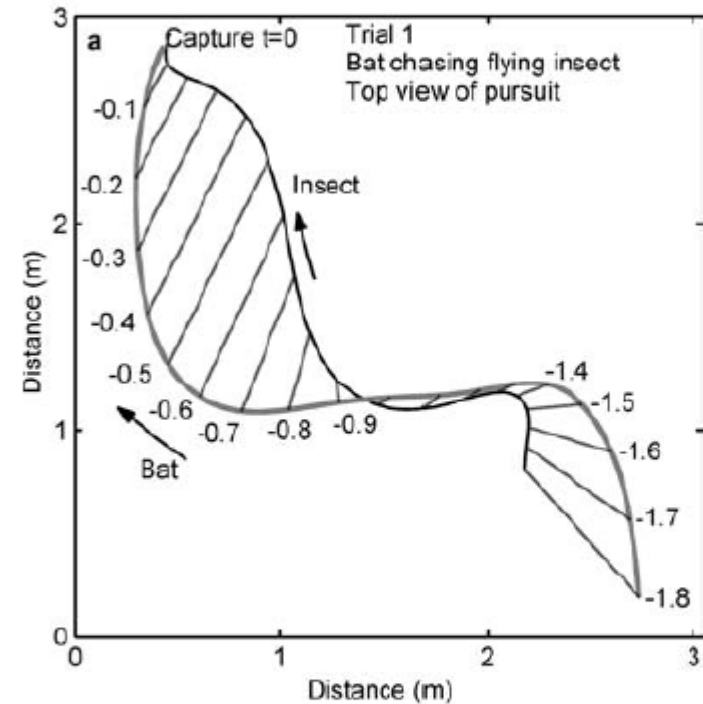
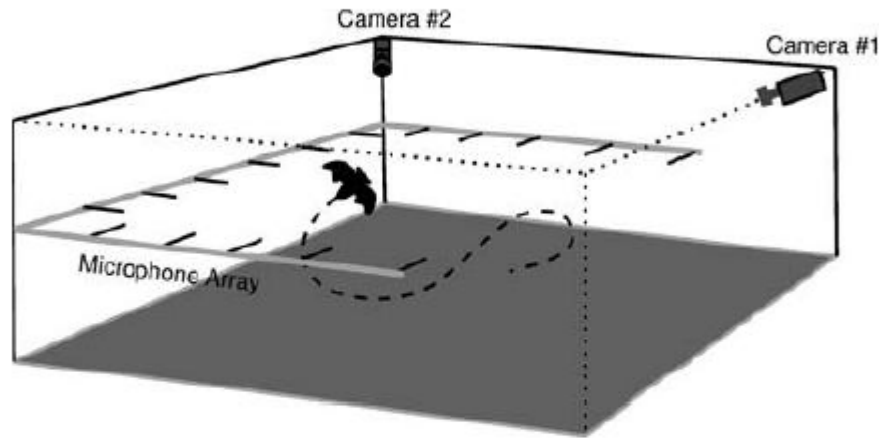
- La bonne information est celle qui permet de réguler...

- Information pour la décision, vs. information pour le mouvement

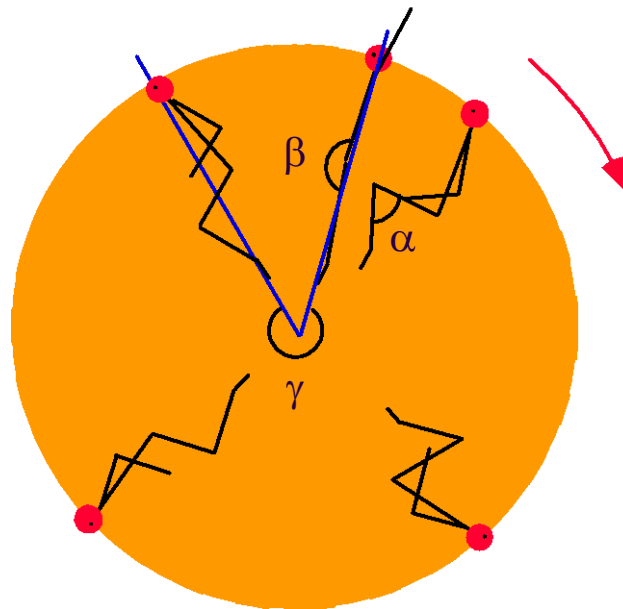
Ex. : Loi de Hick vs. Loi de Fitts (événements vs mouvement de pointage)

3) *Sources multiples* : vision de ma main et du monde, X proprioception de mon bras, X perception par le système vestibulaire des accélérations de la tête : les sources sont confrontées par le SNC, « intégrées », et comme le mouvement génère de l'information, ceci permet de « coller » perception et mouvement.

Exemple de découverte de solutions perception- action : chauve souris et salto arrière



Shose, K., Horiuchi, T. K., Krishnaprasad, P. S., & Moss, C. F. (2006). Echolocating bats use a nearly time-optimal strategy to intercept prey. *PLoS biology*, 4(5), e108.



0°

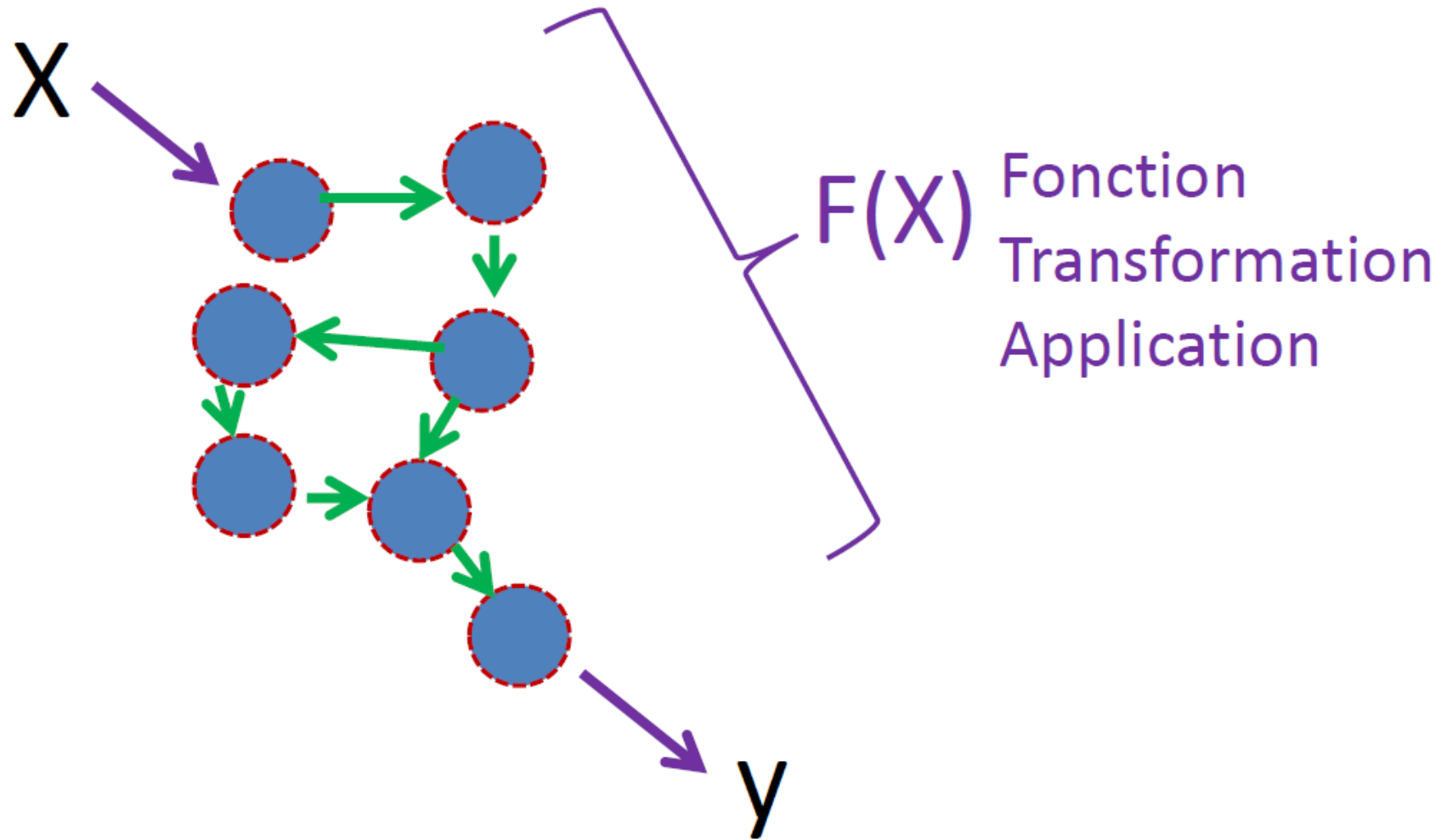
-360°

Corps (γ)

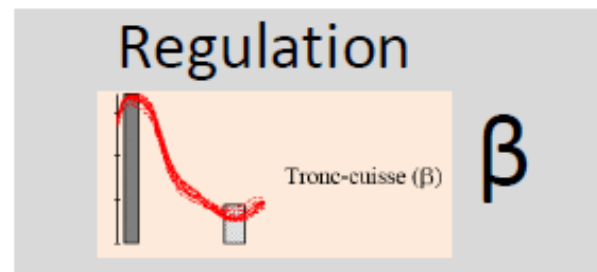
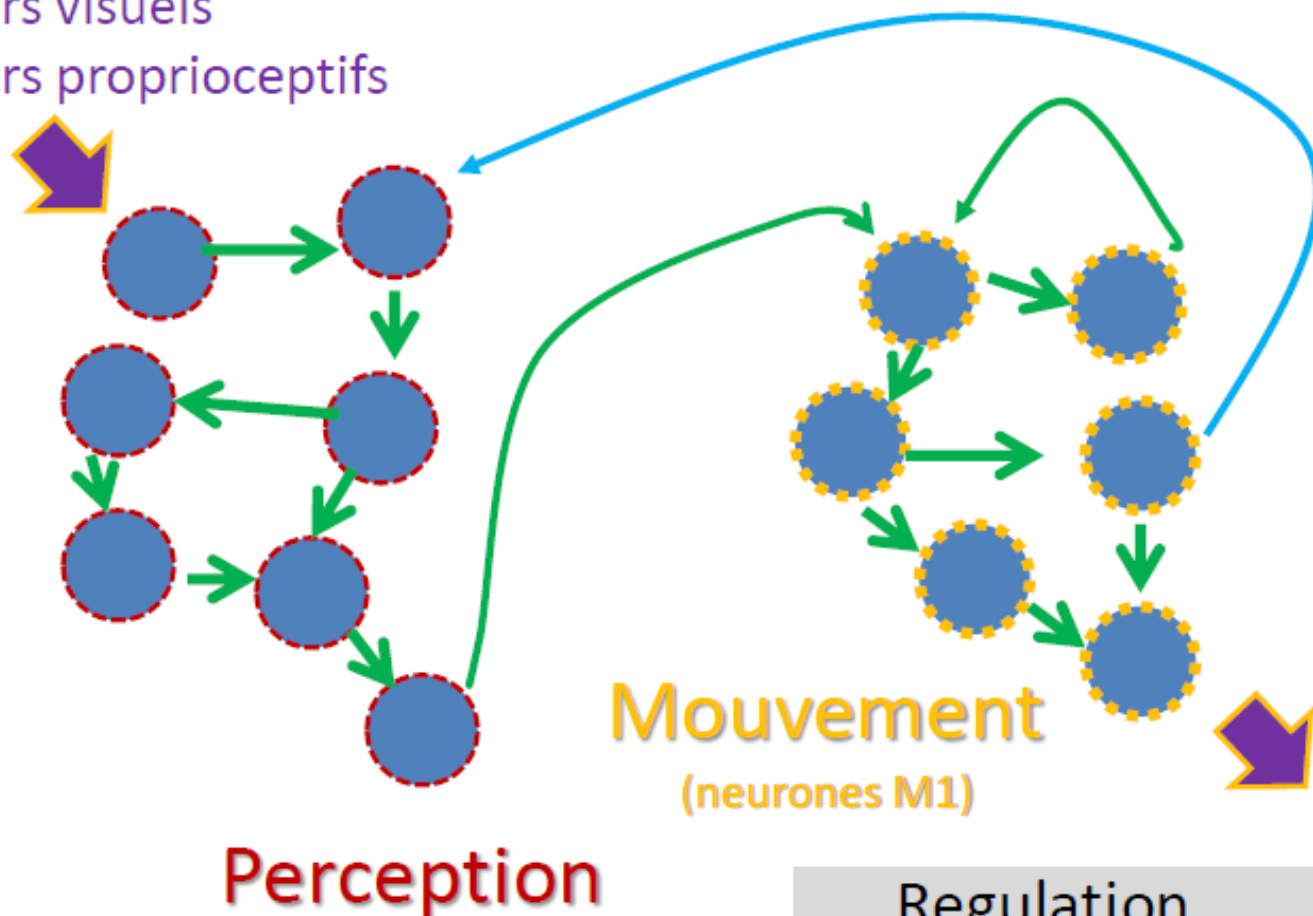
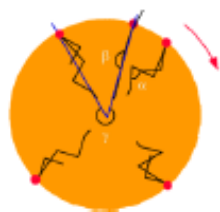
Tronc-cuisse (β)

Cuisse-jambe (α)

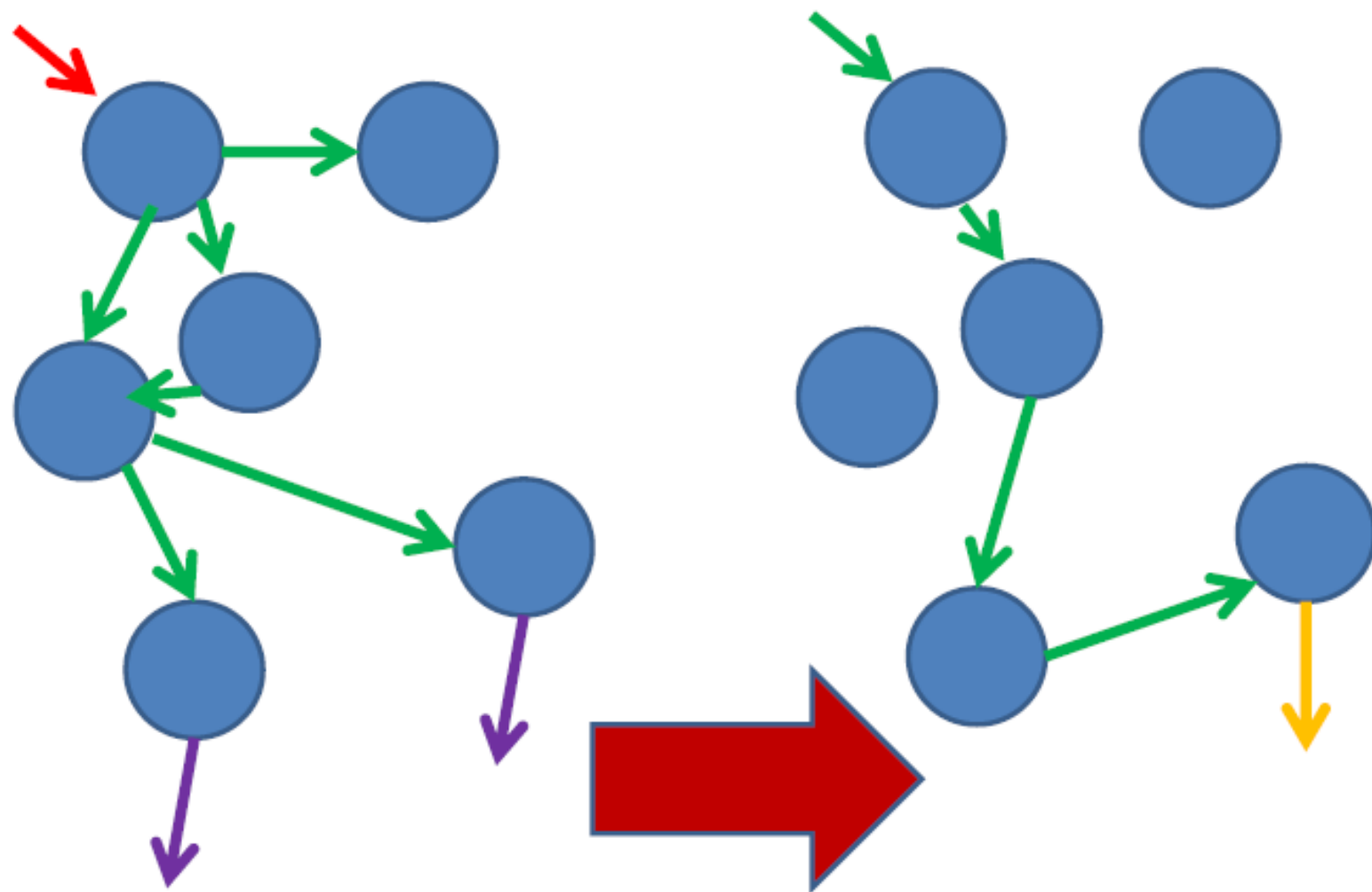
Théorie des réseaux



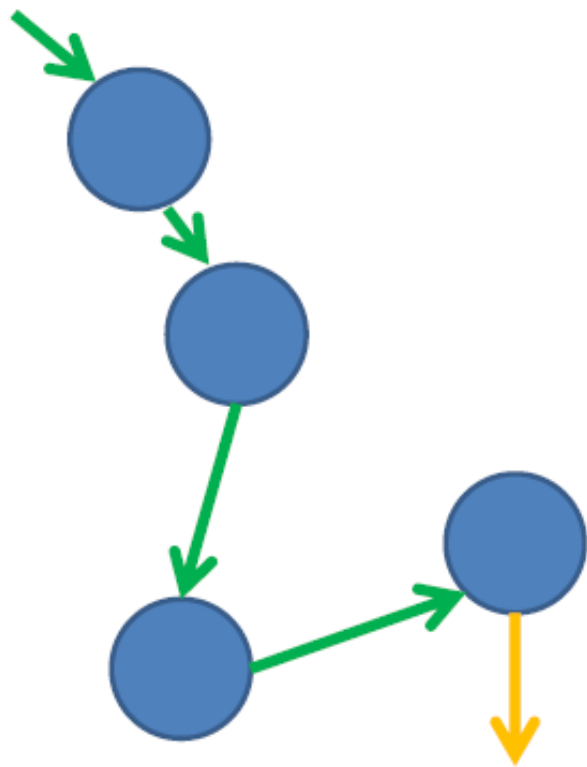
Récepteurs visuels
Récepteurs proprioceptifs



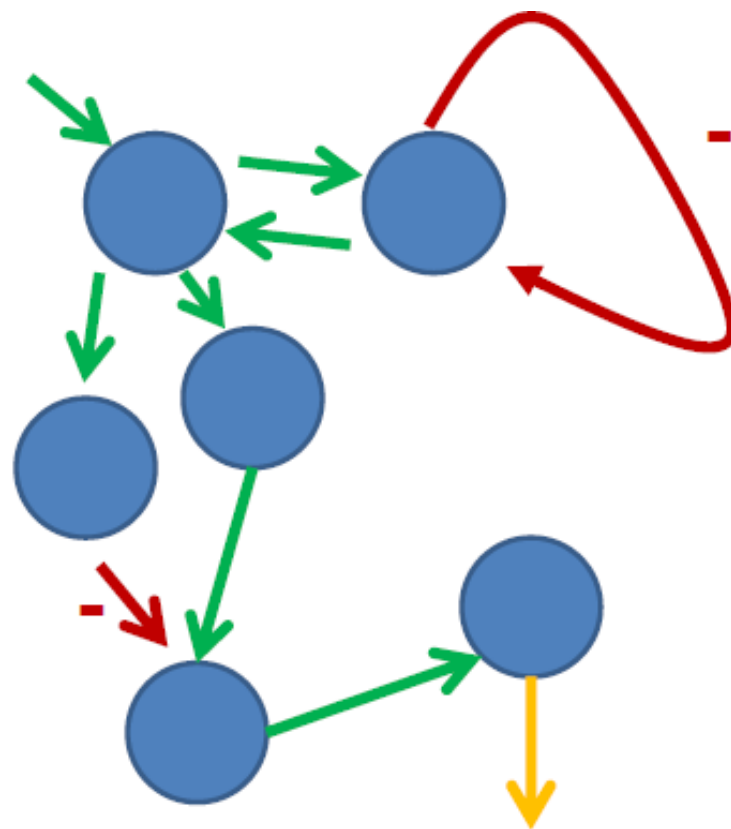
Constitution, modification de réseaux à l'échelle cellulaire



pratique, exposition à des stimulations, renforcement



Réseau 1

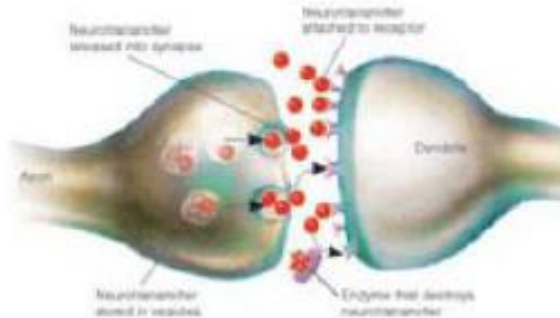


Réseau 2

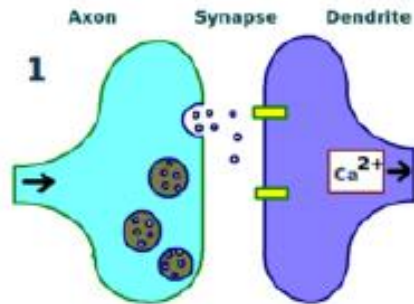
Réseau n ■■■

Compétition

Hebbian Learning in Neurons



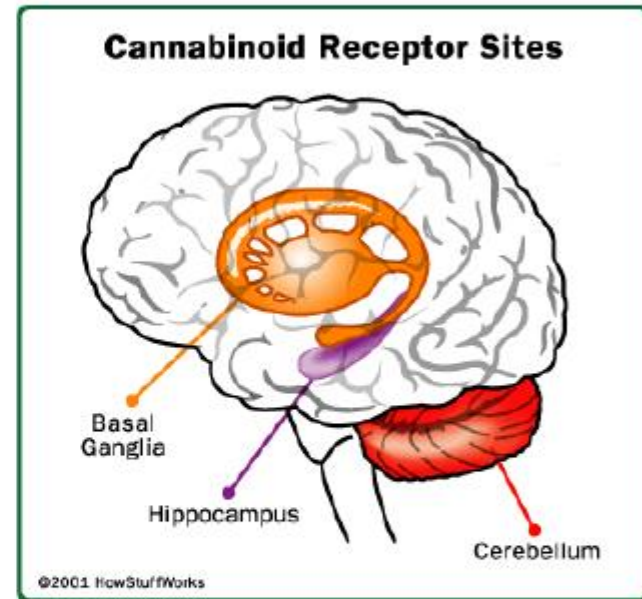
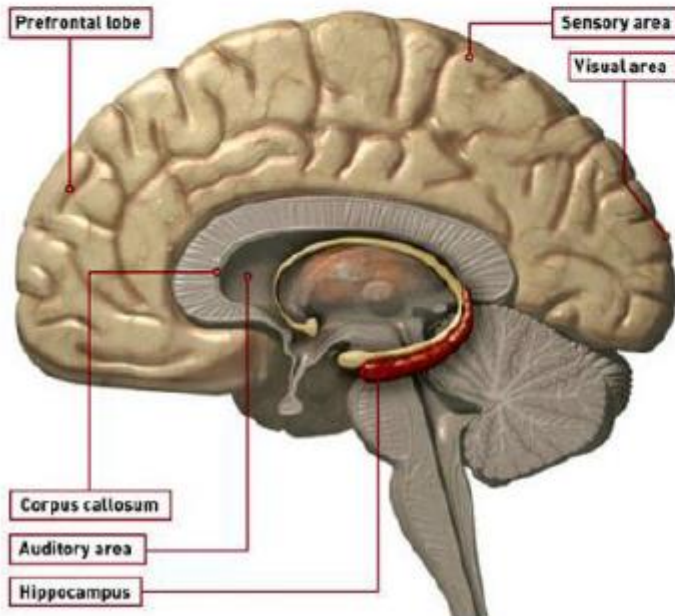
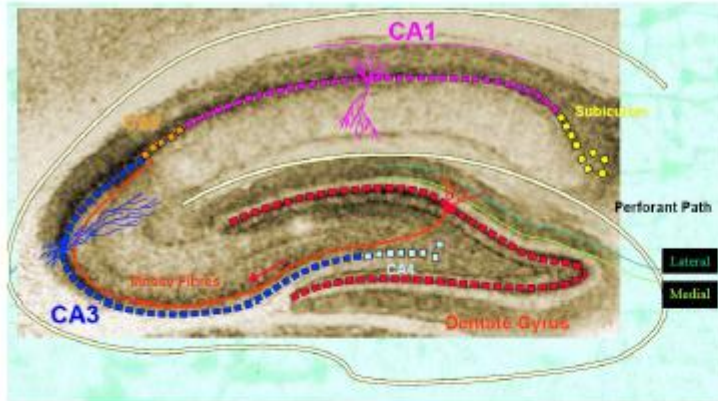
- Why?
- Synapse gets stronger as cells activity gets more correlated.
- Change in synapses seems to be the basis of memory.



(Synapses chimiques;
excitatoires)

Où ?

Potentialisation à long terme (LTP)



- **Efficacité d'une synapse** : propension à *faire passer le « signal »* * pour une entrée d'intensité donnée.

[faire passer le « signal »] * = le champ électrique post-synapse augmente plus vite (mv/sec.), le nombre de cellules post-synapses dépolarisées augmentent pour une même stimulation.

- **long-term potentiation**: l'efficacité de la synapse entre deux neurones augmente de façon durable à la suite d'une activité de cette synapse
- **long-term depression**: l'efficacité diminue de façon durable

Recherche de solutions dans un espace de grande dimension...

Par essai- erreur, par imitation, par guidage, par consignes (réduction de la dimension de l'espace de recherche (apprentissage supervisé))

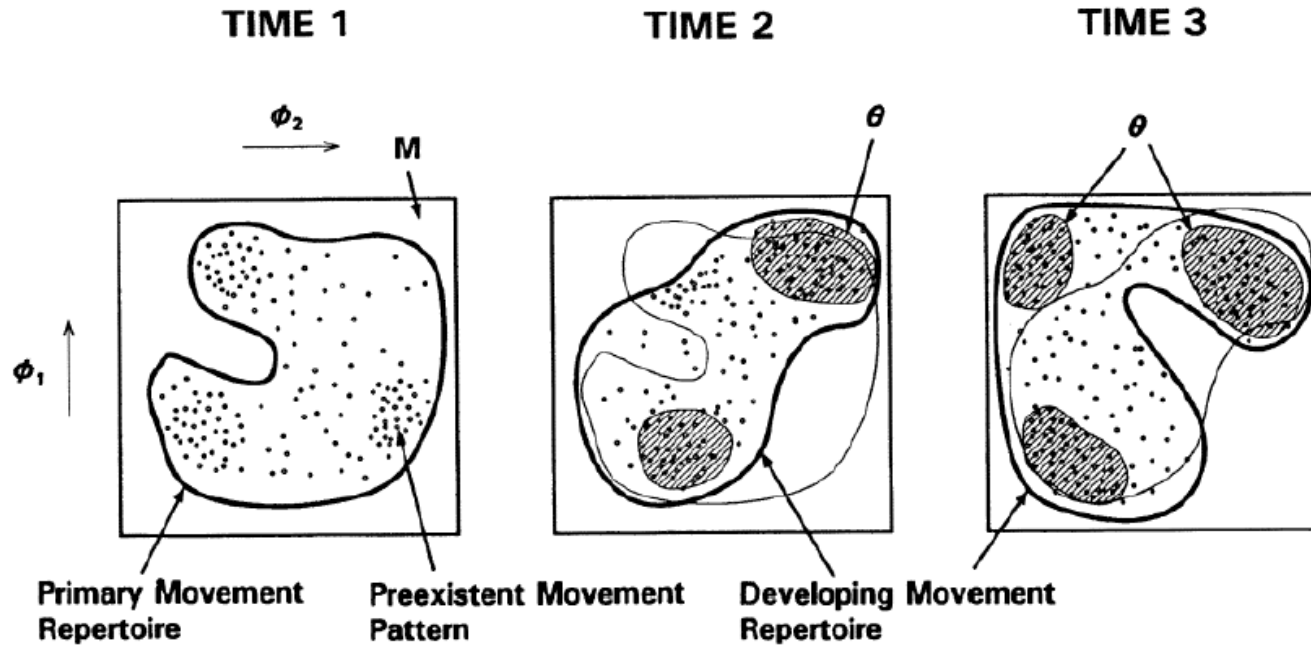
→ sélection d'une solution et d'une autre, stabilisation d'une solution +- efficace.

Reproduction- répétition- pratique, constitution d'une « mémoire ».

« Darwinisme neural » Edelman : Sélection de ce qui marche, pré requis : La variation entre les répétitions, entre les tentatives.

Sans variation, pas de choix/ pas de sélection, pas d'évolution... pas de progrès, pas d'apprentissage.

Répertoire de solutions



Sporns, O., & Edelman, G. M. (1993). Solving Bernstein's problem: a proposal for the development of coordinated movement by selection. *Child development*, 64(4), 960-981.

L'ancien et le nouveau :

Répertoire de solutions. Unités, primitives de mouvement, métaphores d'une syntaxe, d'une grammaire (Noam Chomsky, Grammaire générative, langage) : Combinaison, création, séquences (affinage des liaisons), associations, mise en parallèle (synchrones).

Préalable (disponible) et le nouveau : influence mutuelle, coopération ou compétition.

Répertoire (« réserves »), primitives, combinaisons, création



Haut-niveau

Nature du geste	Vitesse d'approche	Durée	Précision spatiale	Fenêtre temporelle
Elan au saut en longueur	9.5 m/s	4 à 6 s	8 cm	9 ms
Capture de balle avec déplacement	10 m/s	2 à 3 s	1 cm	5 ms
Salto arrière PF	610 ° /s	635 ms	5°	9 ms
Frappe de balle	800 ° /s	180 ms	6°	6.5 ms

L'apprentissage moteur

(Schmidt, 1988, p. 346)



L'apprentissage moteur est une série de processus associés à la pratique ou à l'expérience, conduisant à des changements relativement permanents de la capacité à répondre (à une situation).

1. Série de processus

- > Transformation de l'entrée visuelle -> perception**
- > Choix d'un programme moteur en mémoire**
- > Stabilisation d'une coordination motrice**

L'identification de ces processus est au centre des théories de l'apprentissage

2. Capacité acquise de répondre efficacement

- > Amélioration de la capacité**
- > Et pas seulement du comportement**



3. L'apprentissage moteur n'est pas directement observable

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

4. L'apprentissage moteur est relativement permanent

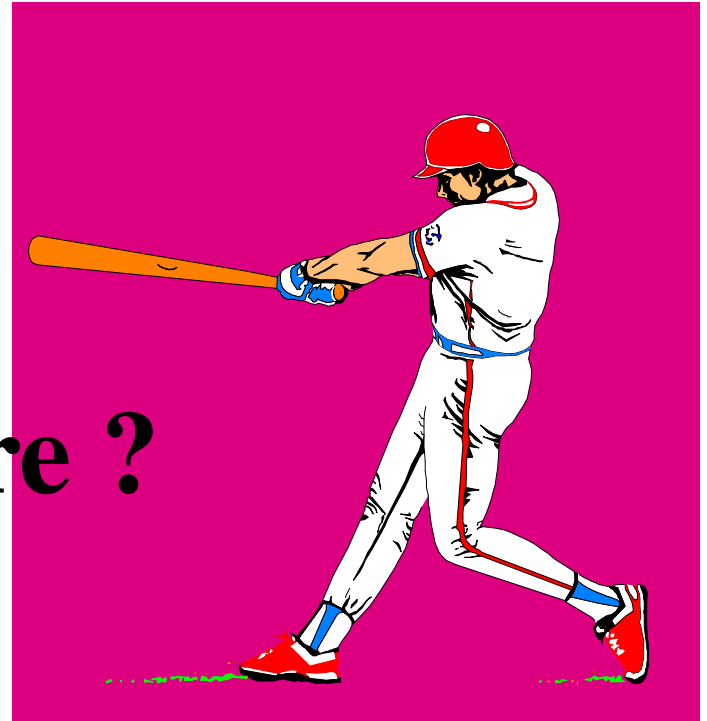
- **Changements durables**
- **Changements irréversibles**



Les apprentissages moteurs

Quoi apprendre ?

Comment apprendre ?



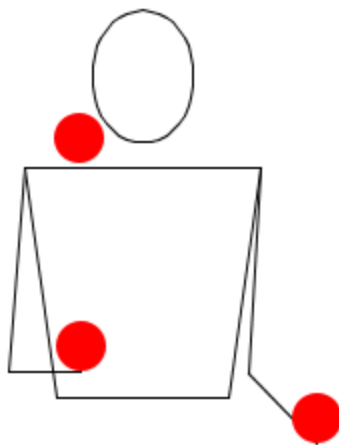
Tâches vs. Habiletés

Habilitété:

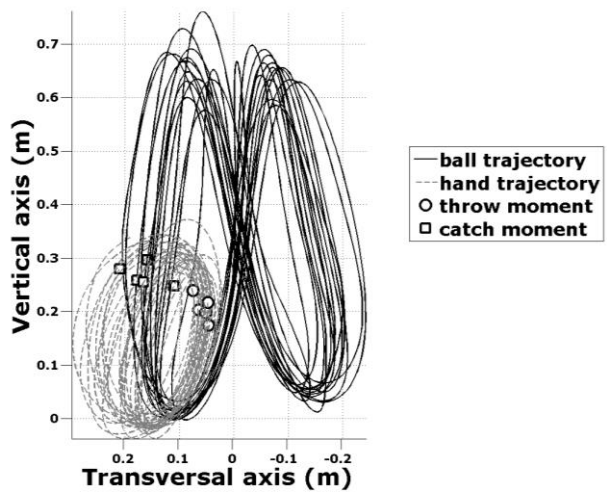
- **compétence / capacité**
- **cognitive / motrice / perceptive**
- **fait l'objet du processus d'apprentissage**
- **est un déterminant interne de l'acquisition**

Tâche:

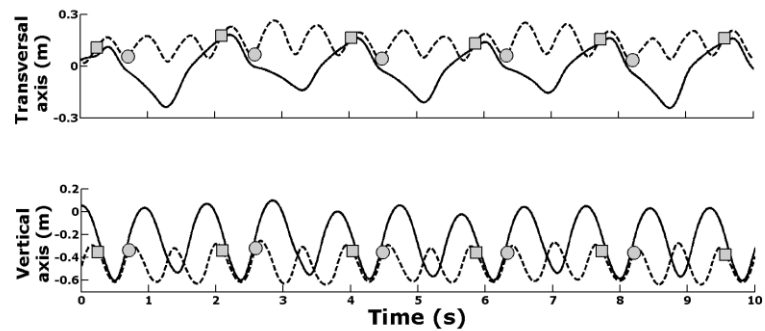
- **concerne le but l'aménagement du matériel et les consignes**
- **peut être plus ou moins définie (but / moyens)**
- **peut-être plus ou moins difficile**
- **est un déterminant externe de l'acquisition**

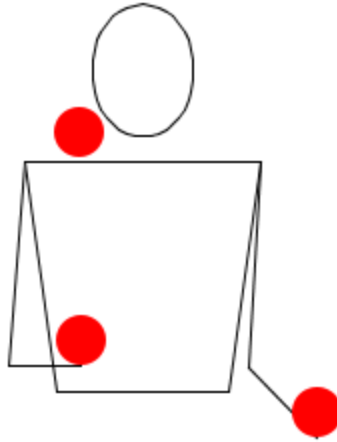


A



B





Habilité:

- s'exprime dans une tâche
- dans plusieurs tâches

Tâche:

- organise, contraint l'habileté
- met en jeu plusieurs habiletés

Matrice Tâche / Habileté:

Jonglage (Cascade 3 balles)

		Global patterning			Local accuracy	
		Timing the hand loops	Coordinating hands/ball/body	Reducing COP displacement	Catching	Tossing
Habiletés cognitives	Perception	Detect ball and hand organization to adjust timing	Perception from all senses to coordinate hands and body		Determine catching location	Determine tossing location
	Procedures		Direct the overall steps for juggling		Completing catch components	Completing toss components
	Coping Strategies			Recovering from poor throws, but maintaining stable COP to continue	Moving hand to new (unexpected) location following poor toss	If previous toss was poor, recovery to normal pattern needed
Habilité sensori-motrice	Bimanual coordination		Two hands move relative to one another and to the balls as a spatial clock	Adequate hand pattern minimizes needs for corrective body movements	Smooth catch required, implying within hand coordination	Force control in throws - Direction control in throws
	Perception-by-touch	Touch helps stabilize a 2:3 rhythm with the balls	Predict trajectories from haptics and coordinate for error correction		Touch at catches contribute to getting the overall timing of the balls' pattern	Perception of ball in hand influences the time ball is held in hand and how to toss
	Eye-hand coordination	Eyes get information on ball trajectory	Vision / proprioception from limbs and eyes informs on hand-ball distance		Saccades to balls might be necessary –Hand should be at correct place at correct time	Hand should be at correct place at correct time to throw
	Balance / postural control	Stable posture allows rhythmical (more) stable hand loops	Displacements of the body to keep balls in catchable distance			Ball release when the hand is at the correct velocity (direction and force)

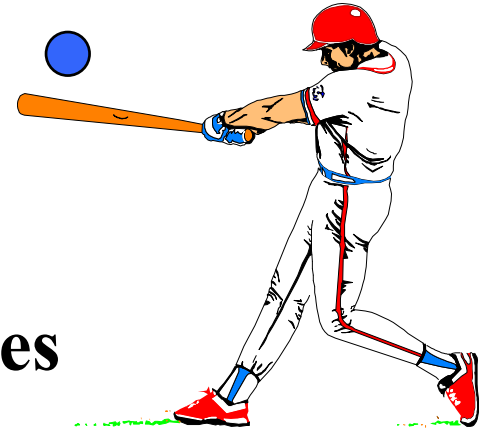
II. Caractéristiques des habiletés

**Persistances et changements au
cours de l'apprentissage**

1- L'habileté est finalisée

L'habileté est finalisée:

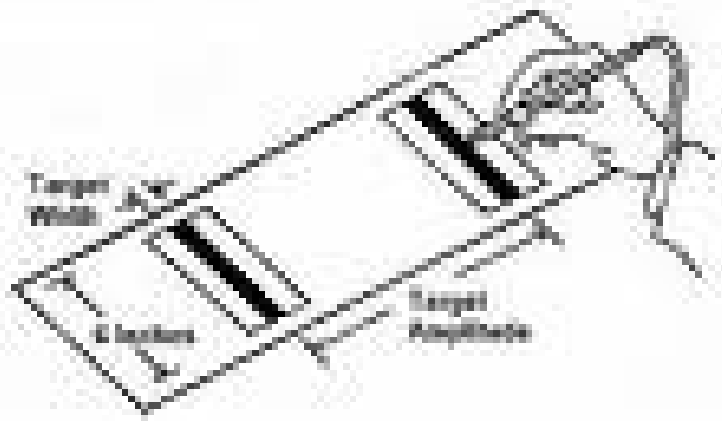
- dirigée vers un but
- \neq buts $\rightarrow \neq$ performances
- \neq performances $\rightarrow \neq$ apprentissages



ex au saut en longueur:

- sauter le plus loin possible en 1 essai
- sauter le plus loin possible en 5 essais
- sauter 5 fois à plus de 3 m

Loi de Fitts (1954)



Conflit vitesse / précision
 $TM = f(ID) = \text{Log}_2 (2A/W)$

La finalité de l'habileté:

contraint, oriente, guide, détermine

- **les coordinations sensori-motrices**
- **les mécanismes cognitifs**
- **les règles stratégiques et tactiques**



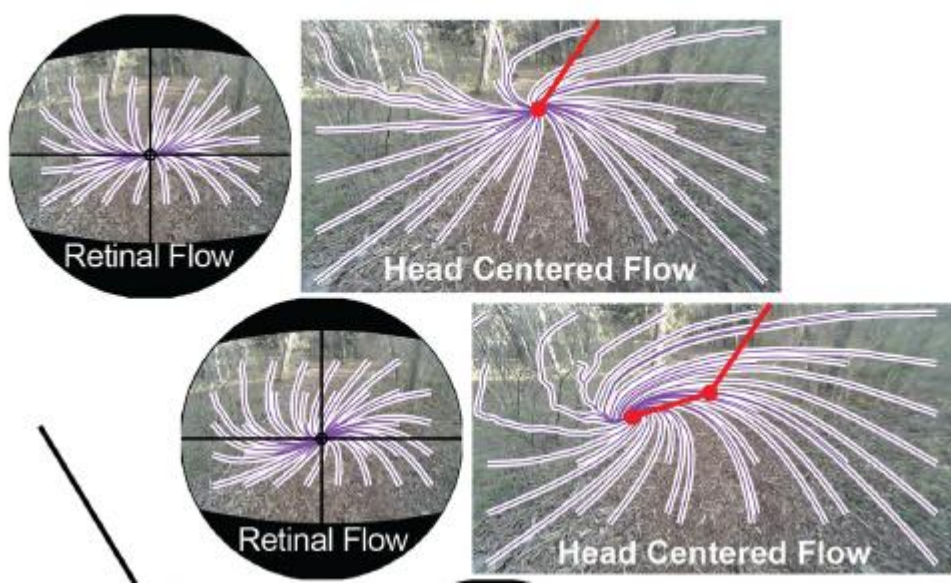
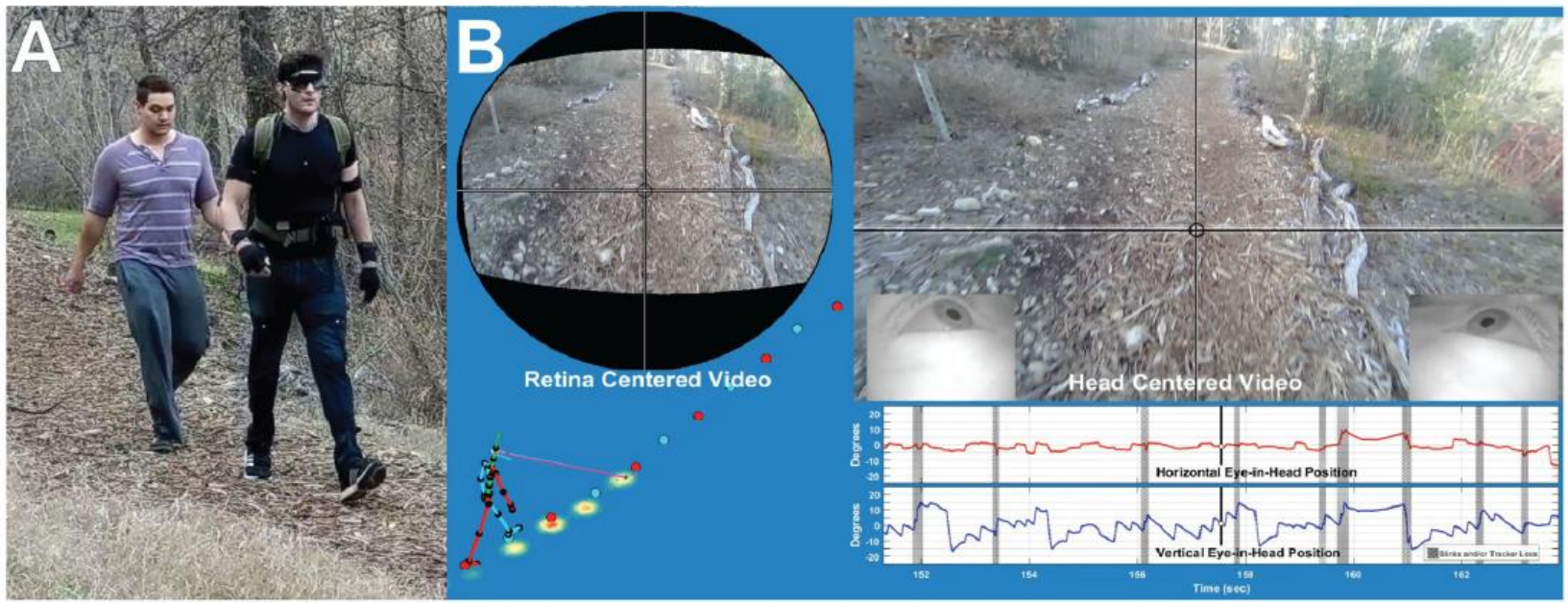
Contrôle ?

Retinal optic flow during natural locomotion

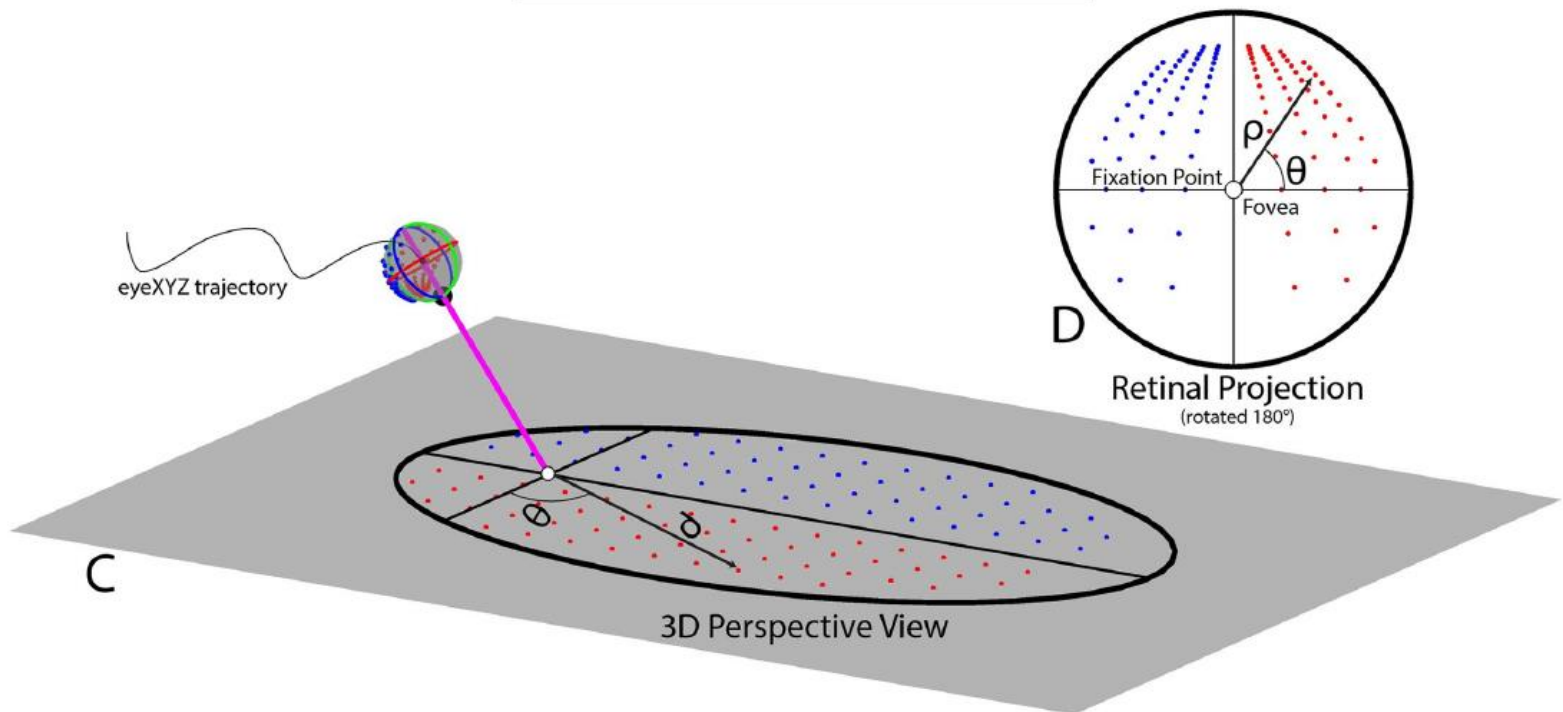
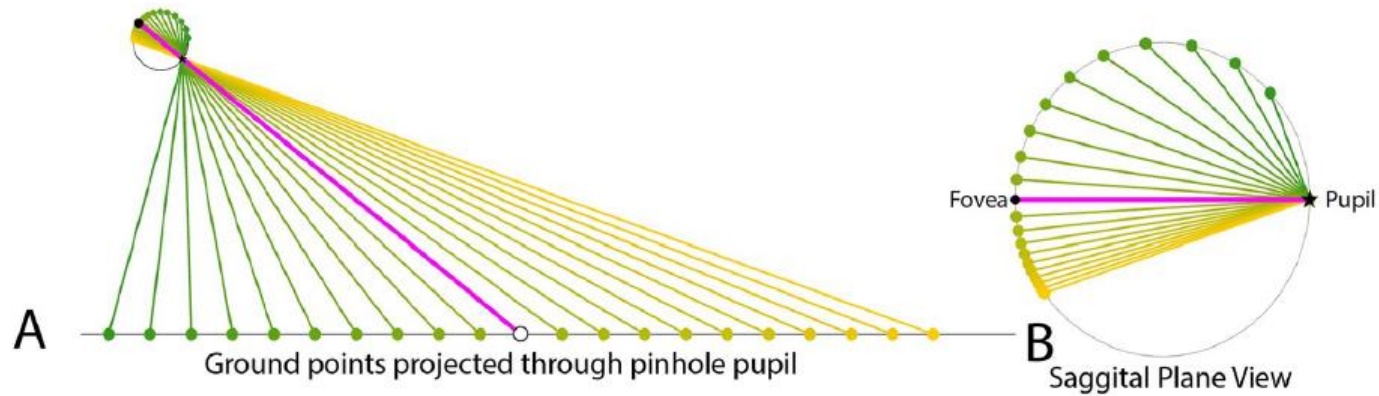
Jonathan Samir Matthis ^{1*}, Karl S. Muller ², Kathryn L. Bonnen ³, Mary M. Hayhoe ²

<https://www.youtube.com/watch?v=WX8mgOoww9w>

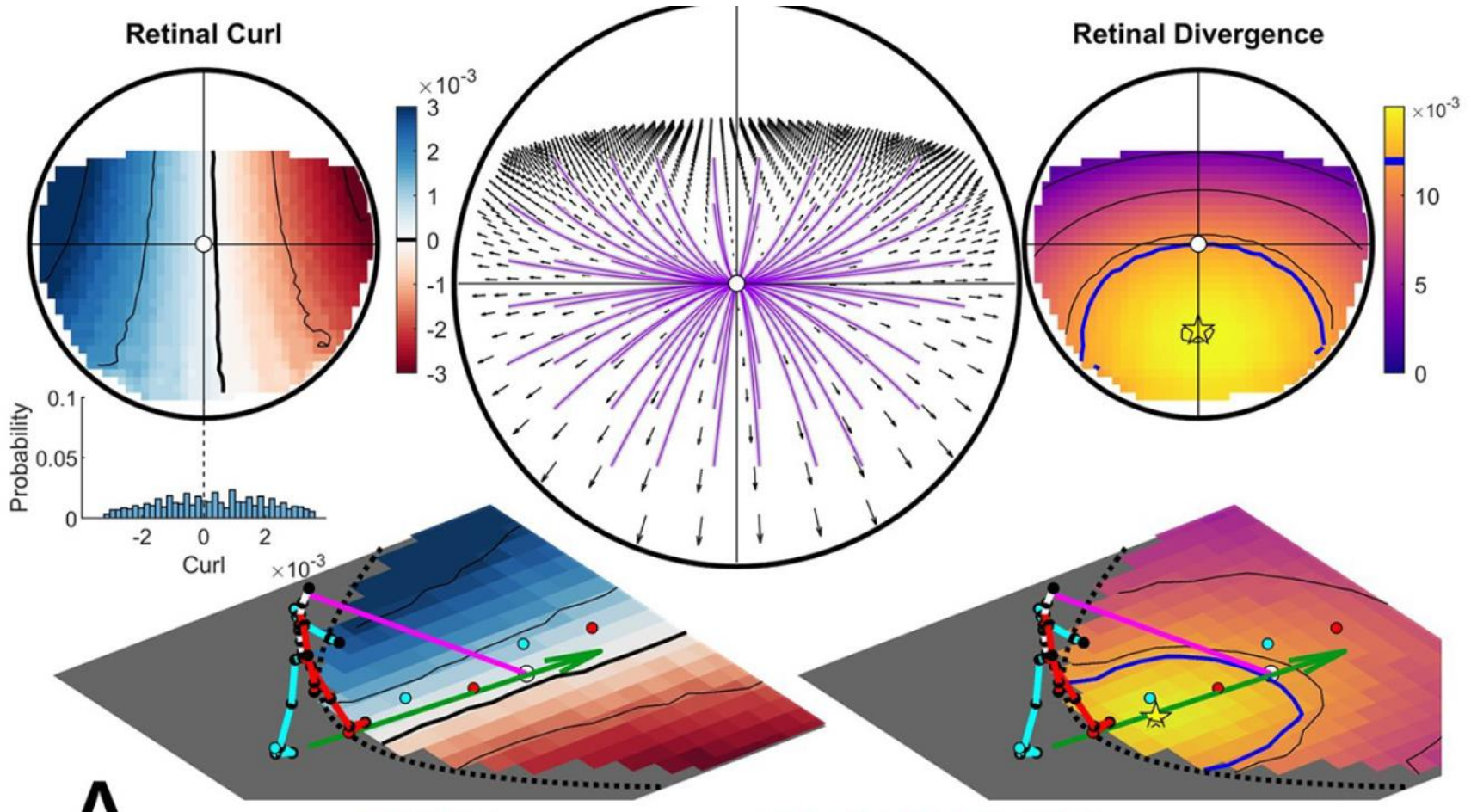
Video#[14droneFOEtrack](#) up down flow



Géométrie



Structure de l'information visuelle



The geometric relationship between retinal optic flow patterns and the translation of the eye over a groundplane was carefully investigated in a series of papers by Koenderink and van Doorn (e.g. [58, 59, 69]). This work also suggested that retinal flow patterns might be informative, and our findings are consistent, with the large body of literature that shows how instantaneous heading can be computed directly from retinal flow [20, 21, 23–25, 57,

5 Conclusion

Gibson's critical insight on optic flow was that an agent's movement through their environment imparts a structure to the available visual information, and that that structure can be exploited for the control of action [5]. In the intervening years, a large and fruitful body of research built upon this insight. However, the way optic flow is used by the visual system is difficult to intuit without direct measurement of the flow patterns that humans generate during natural behavior. Advances in imaging technology and computational image analysis, together with eye and body tracking in natural environments, have made it easier to measure and quantify these complex aspects of the visual input. Examination of the retinal flow patterns in the context of fixating and locomoting subjects suggests a change in emphasis and reinterpretation of the perceptuomotor role of optic flow, emphasizing its role in balance, short term steering, and foot placement rather than in control of steering toward a distant goal.

Gibson JJ. The perception of the visual world. Westport, Conn: Greenwood Press; 1950.

Gibson JJ. The ecological approach to visual perception. New York, London: Psychology Press; 1979.

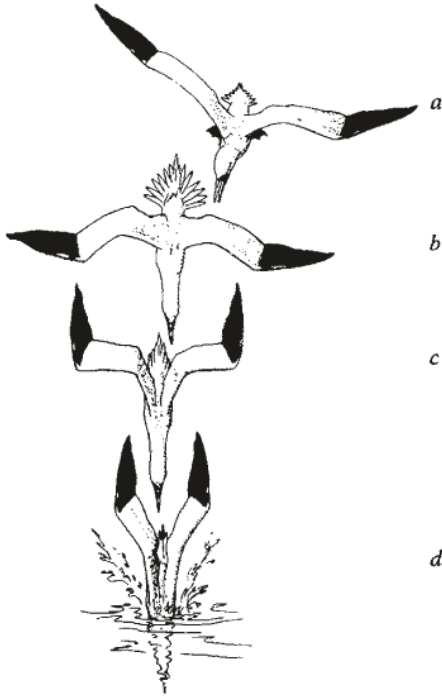


Fig. 2 Wing positions of diving gannet, *Sula bassana* (length ~0.9 m, wingspan 1.7 m). Illustration by John Busby. (Reprinted from ref. 7, courtesy of the author and publishers.)

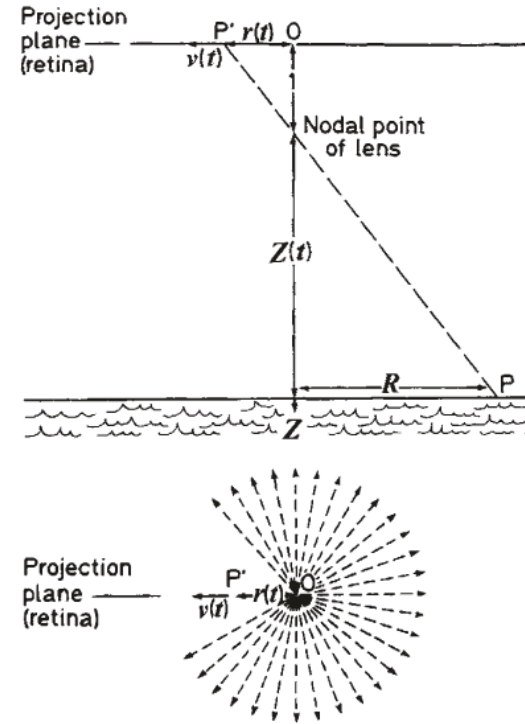


Fig. 1 How time-to-contact is specified in the optic flow field. The schematic eye is, at time t , at height $Z(t)$ and moving vertically downward with velocity $V(t)$ towards the water surface. Light reflected from the surface texture elements (for example, ripples) passes through the nodal point of the lens and projects an expanding optic flow pattern on to the retina. Considering an arbitrary

Lee D N, 1976 "A theory of visual control of braking based on information about time to collision" *Perception* **5** 437 – 459

Lee D N, Reddish P E, 1981 "Plummeting gannets: a paradigm of ecological optics" *Nature* **293** 293 – 294

Do Humans Optimally Exploit Redundancy to Control Step Variability in Walking?

Jonathan B. Dingwell^{1*}, Joby John², Joseph P. Cusumano^{2*}

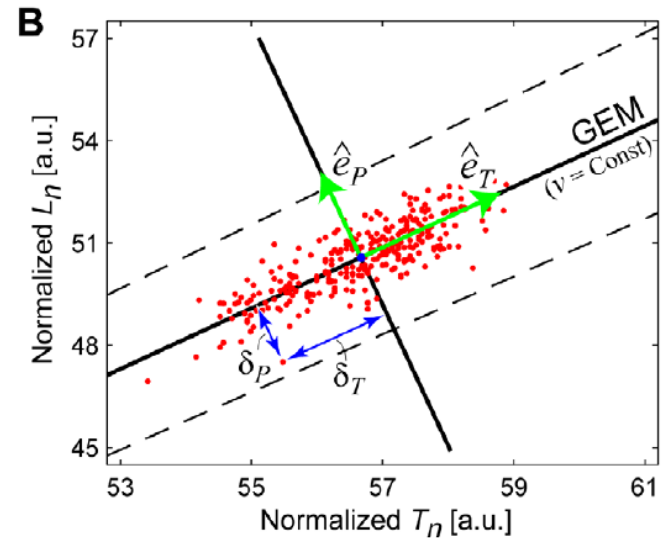
The primary task requirement for walking on a treadmill with belt speed v is to not walk off the treadmill. The net change in displacement, relative to the laboratory reference frame, for stride n is determined by the stride length, L_n , and stride time, T_n , as $L_n - vT_n$. Thus, this task can be mathematically defined by:

$$-\frac{L_{TM}}{2} < \sum_{n=1}^N (L_n - vT_n) < +\frac{L_{TM}}{2}, \quad (1)$$

where the summation is the net displacement walked over N strides and L_{TM} is the length of the treadmill belt. A key observation is that *any* sequence of L_n and T_n that satisfies this inequality will successfully accomplish the treadmill walking task. *Many* possible strategies for generating such a sequence of L_n and T_n exist. The simplest strategy can be formulated using the *goal function* [25]:

$$L_n - vT_n = 0 \quad \rightarrow \quad L_n/T_n = v. \quad (2)$$

That is, subjects could attempt to maintain constant speed at each stride. This goal function is not a “constraint,” however, because it is *not required* by Eq. (1). It is instead only one possible movement

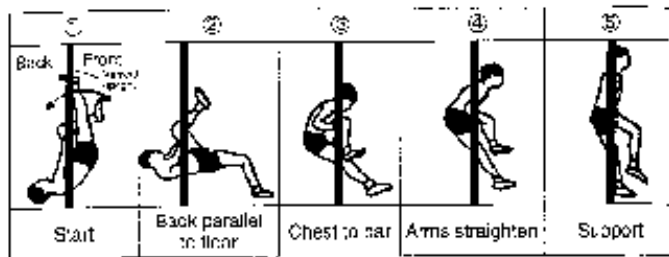


2- L'habileté est organisée

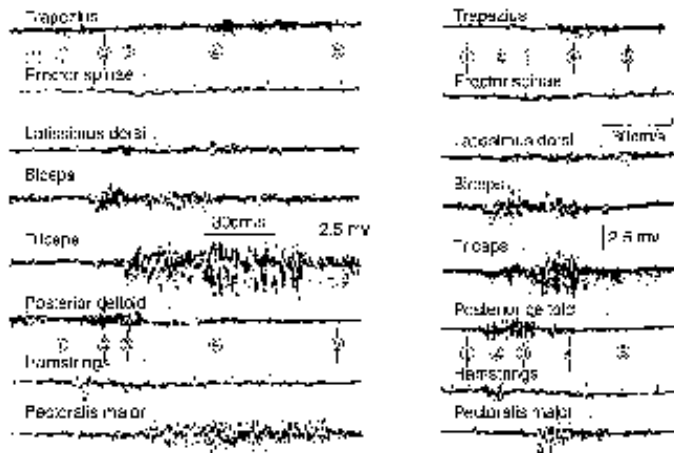
- **L'habileté est organisée en unités coordonnées en vue de l'atteinte du but**
- **Coordination: assemblage fonctionnel des différents éléments qui composent l'habileté pour produire la performance demandée**
- **Coordinations musculaires / segmentaires / neuronales / etc...**
- **Organisation hiérarchique - briques de construction mises ensembles (habiletés simples -> habileté complexe)**
- **Organisation distribuée (hétérarchique) - Pas de hiérarchie - Assemblage des différents constituants qui donne au tout des propriétés différentes de la somme des propriétés individuelles - Notion d'habiletés émergentes**

2- Organisation de l'habileté

1. Paysage des coordinations musculaires



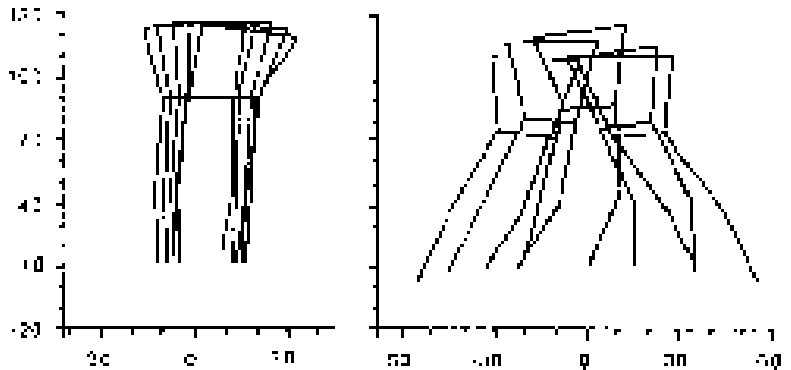
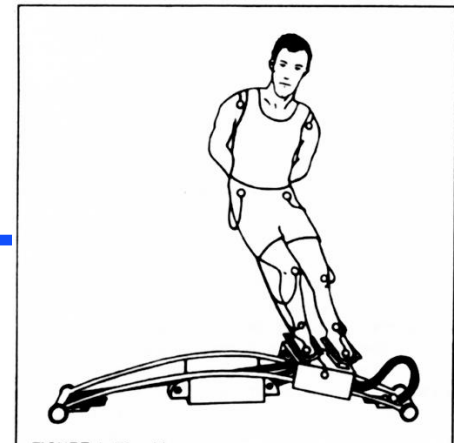
EMGs



- EMGs sont de plus en plus phasique
- Co-contraction diminuent
- Réduction des chevauchements
- Bouffées de plus en plus courtes
- Meilleur timing musculaire
- Meilleure efficacité mécanique
- Evolution du paysage musculaire qui rend le geste plus efficace, plus économique, plus fluide

2- Organisation de l'habileté (suite)

2. Coordinations segmentaires



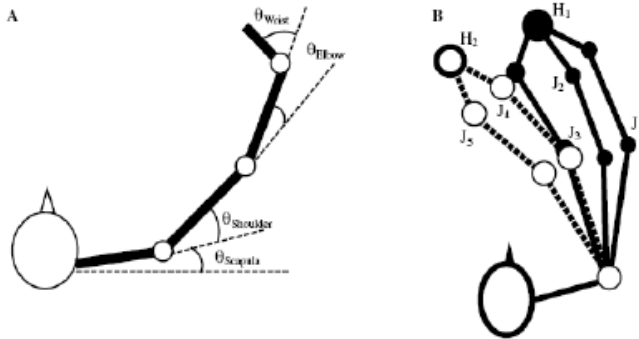
- **Mouvements de faible amplitude**
- **Rigidité du corps**
- **Fort couplages articulaires**
- **Mécaniquement peu efficace**

- **Augmentation de l'amplitude des mouvements**
- **Relâchement (diminution des couplages)**
- **Stabilisation des coordinations**
- **Mécaniquement efficace**

Gels des degrés de libertés → dégel des degrés de liberté

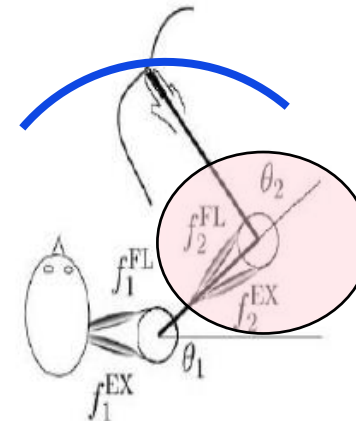
N. Bernstein (1967), The co-ordination and régulation of movements

1) Redondance

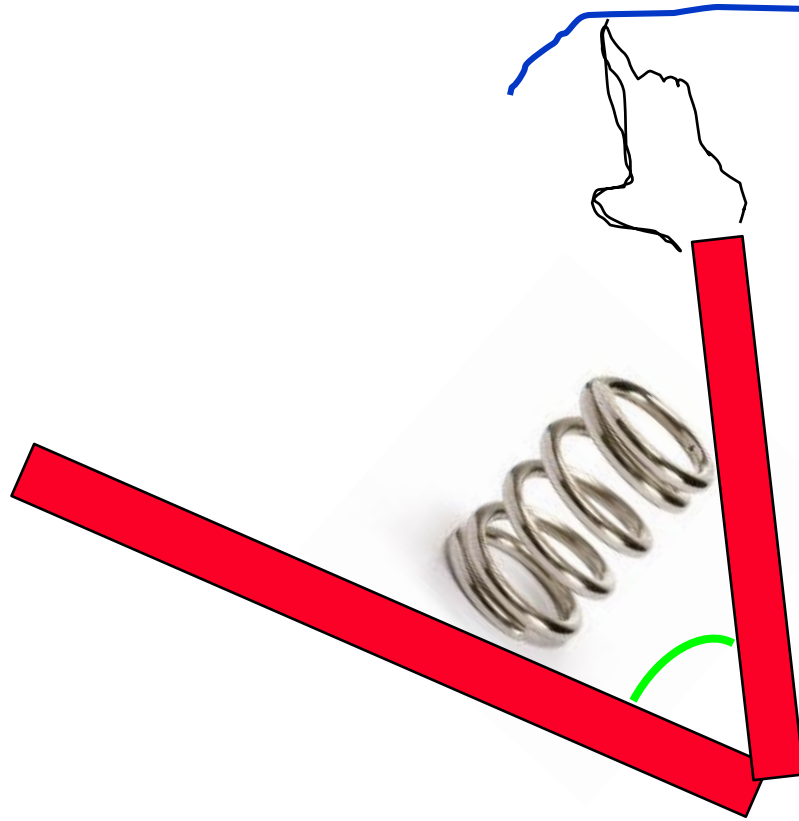
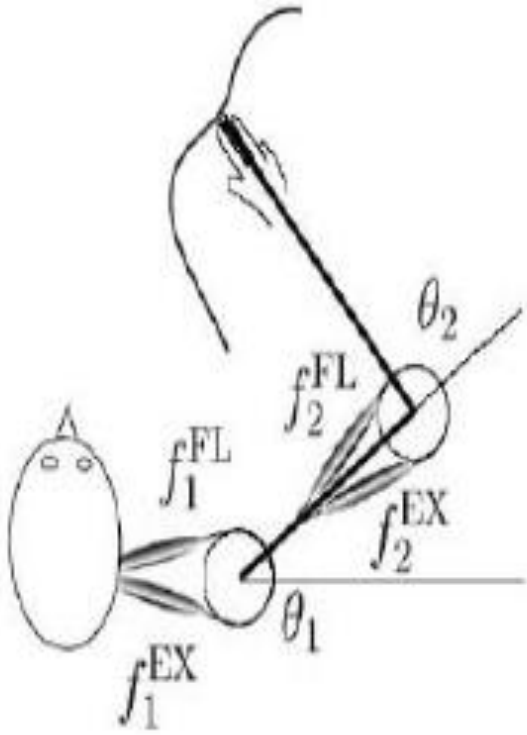


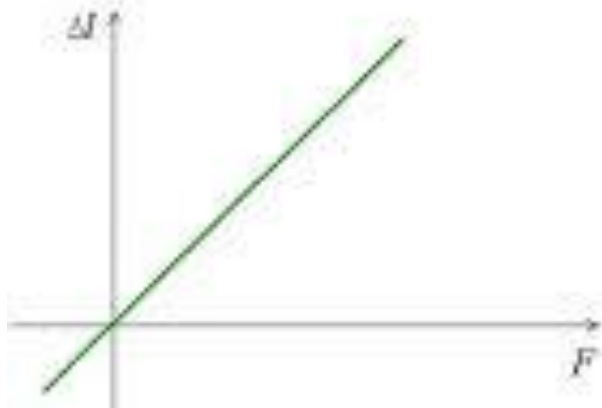
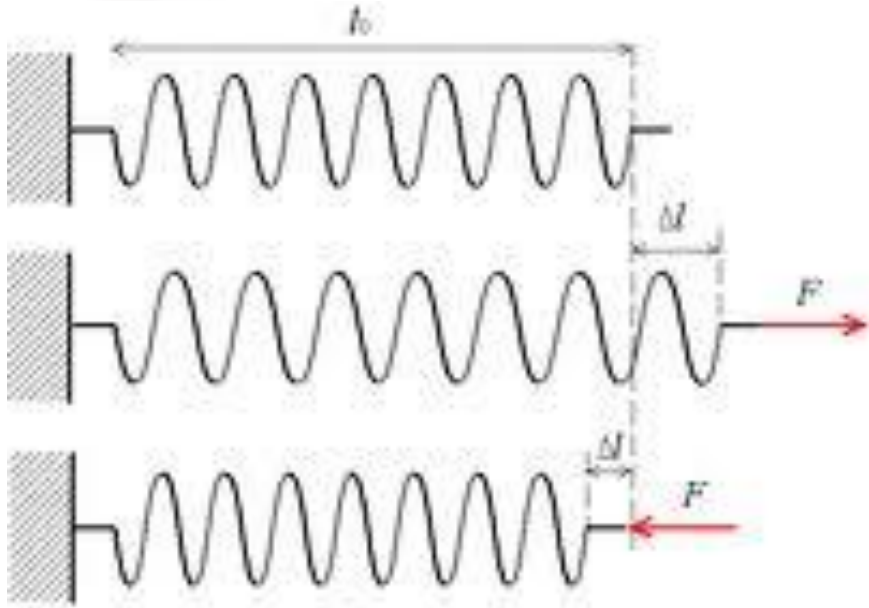
✓ Plusieurs solutions, réduire la dimension du problème

2) Rigidité articulaire : co-contraction



✓ Immobiliser des articulations en augmentant la raideur (forte contraction simultanée des agonistes et antagonistes)





$$F = k \times (\Delta L)$$

$k : \text{N/m}$

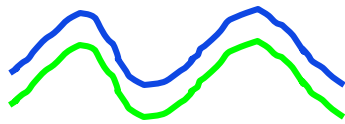


Gel :

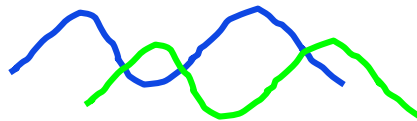
- Des articulations actives et des articulations passives (*raideur*)...
couplage mécanique local

Dégel :

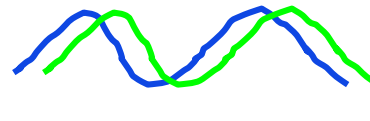
- Toutes les articulations sont actives et co-ordonnées (couplage neuro musculaire spinal, cérébral)
- Utilisation de la redondance
- Synchronisation (Flexion- Flexion), anti-synchronisation (Flexion- Extension), selon la tâche, des activations musculaires



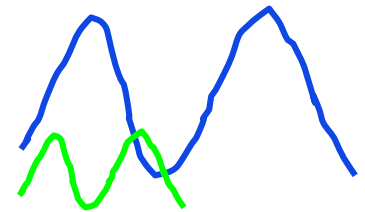
Flexion- Flexion



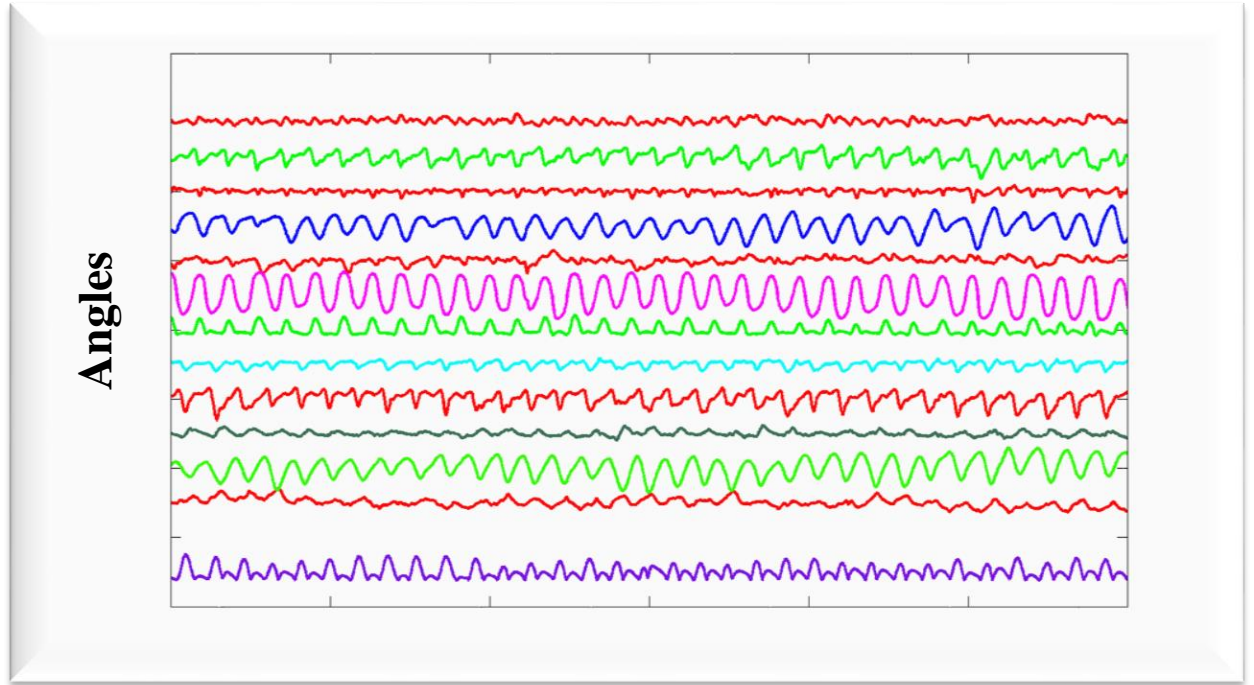
Flexion- Extension



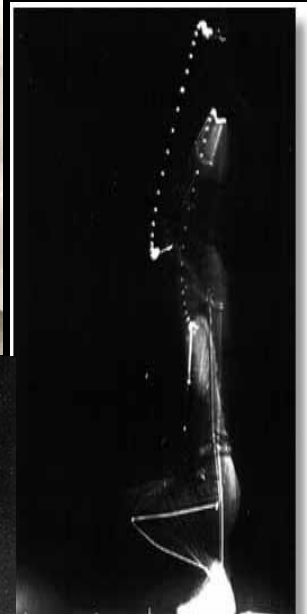
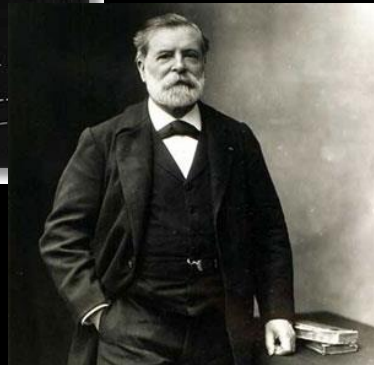
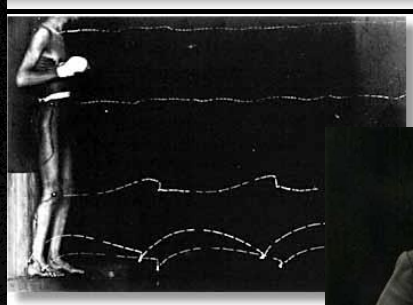
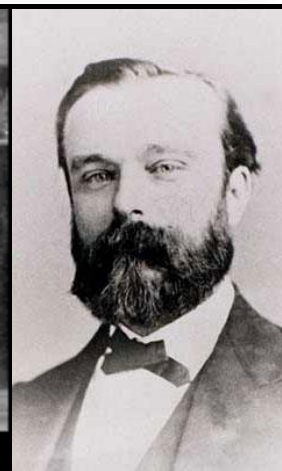
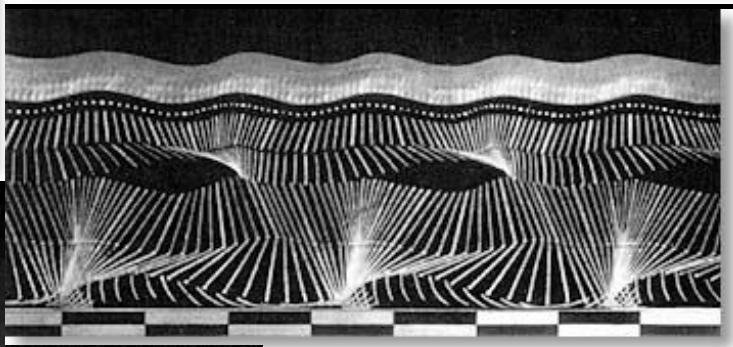
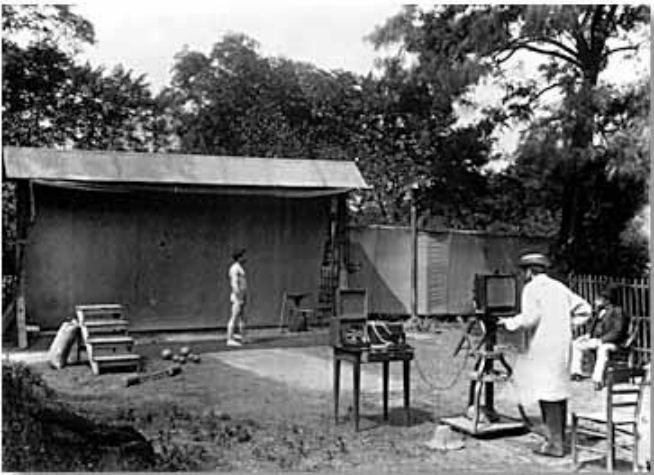
Déphasage

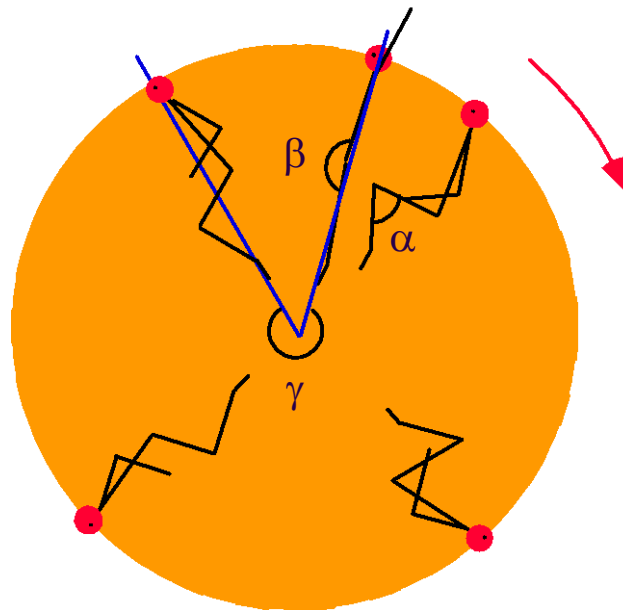


Durée, vitesse,
amplitude, force



Temps





0°

-360°

Corps (γ)

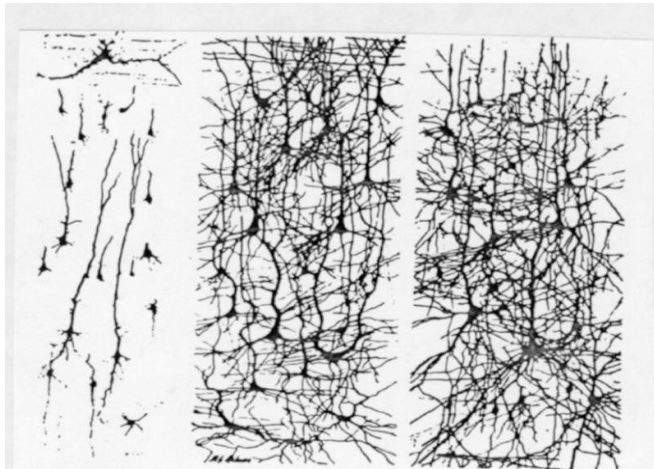
Tronc-cuisse (β)

Cuisse-jambe (α)

2- Organisation de l'habileté (suite)

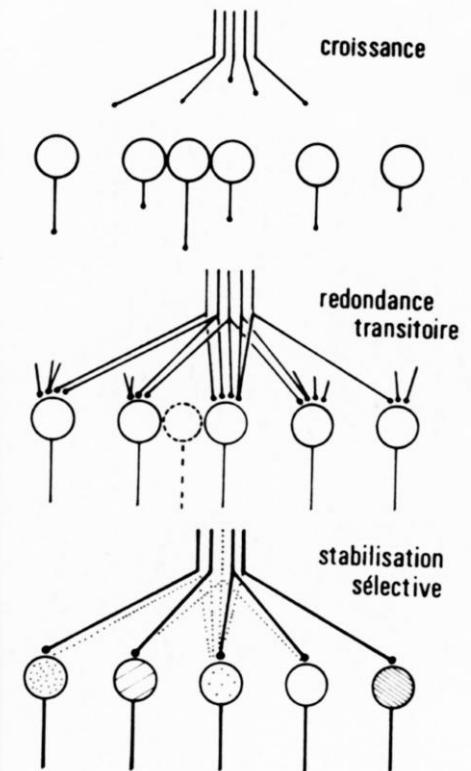


3. Coordinations neuronales



Naissance 16 mois 2 ans

Scholl, 1975



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

Changeux, 1983

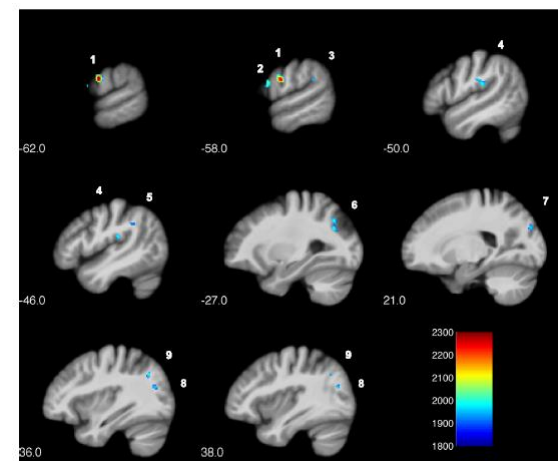
Training-Induced Neural Plasticity in Golf Novices

Ladina Bezzola,^{1,2} Susan Mérillat,² Christian Gaser,^{3,4} and Lutz Jäncke^{1,2}

The Journal of Neuroscience, August 31, 2011 • 31(35):12444–12448



Figure 1. Gray matter increases (sagittal slices with *x*-coordinate value) in the golf group. 1, Central sulcus; 2, ventral premotor cortex; 3, rostral inferior parietal lobule; 4, rostral inferior parietal lobule; 5, rostral inferior parietal lobule; 6, intraparietal sulcus; 7, parieto-occipital junction; 8, caudal inferior parietal lobule; 9, caudal inferior parietal lobule. The color bar represents the threshold-free cluster enhancement statistics.



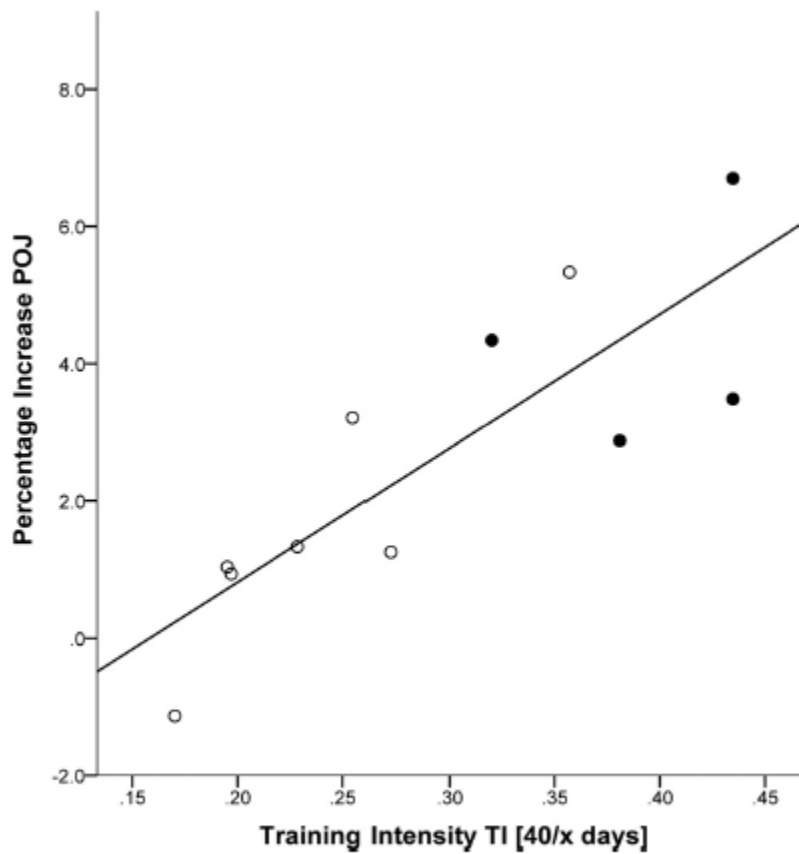
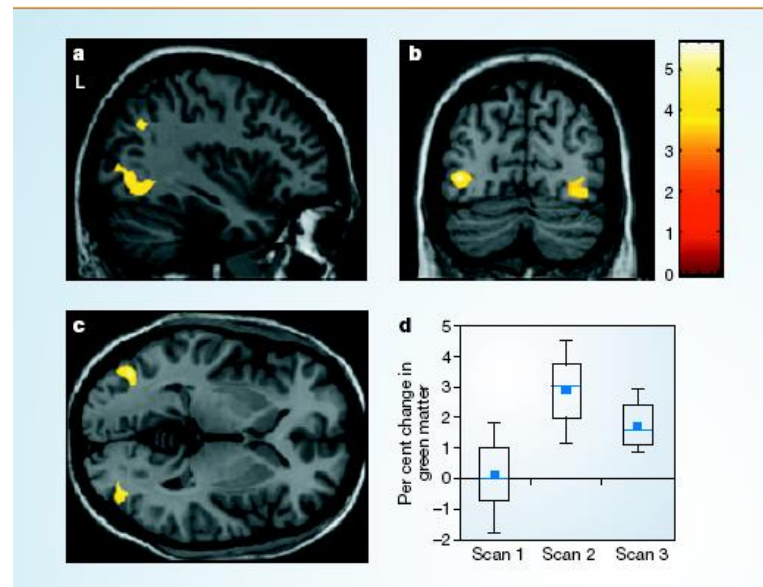


Figure 3. Correlation of gray matter percentage increase in the POJ and TI. Filled dots represent golf participants who passed the basic entrance examination within the study period.

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*

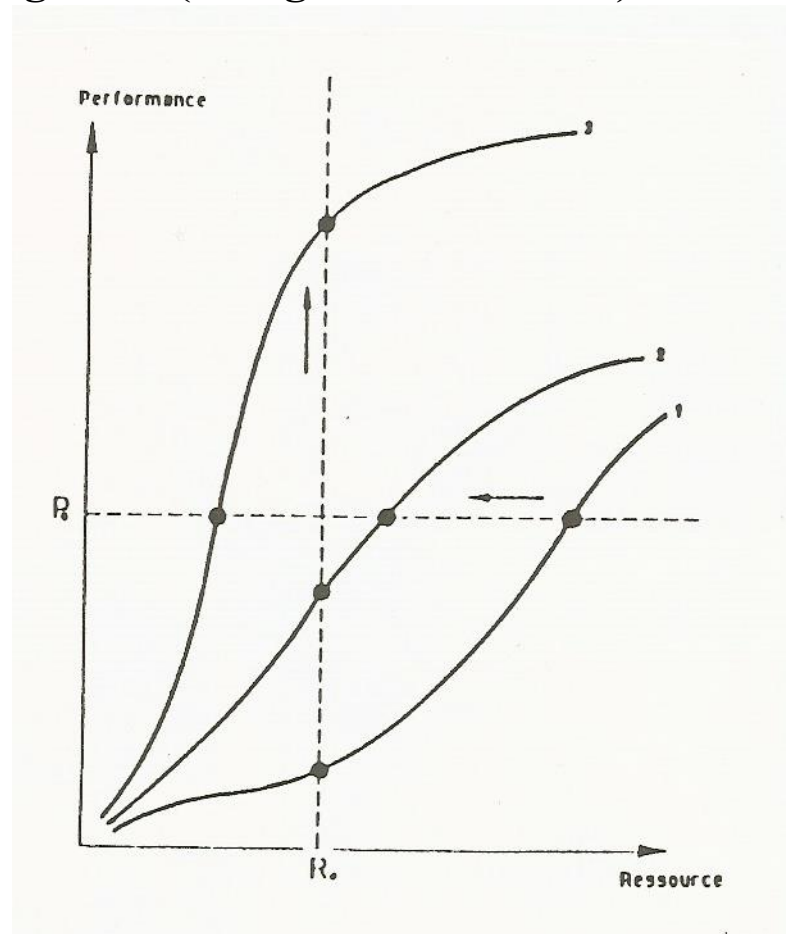


3- L'habileté est efficace

- Réalisation d'une performance de haut niveau d'une manière économique
- Efficience énergétique / Efficience cognitive (charge de traitement)

Effet de la pratique sur la
fonction ressource /
performance

Leplat (1987)



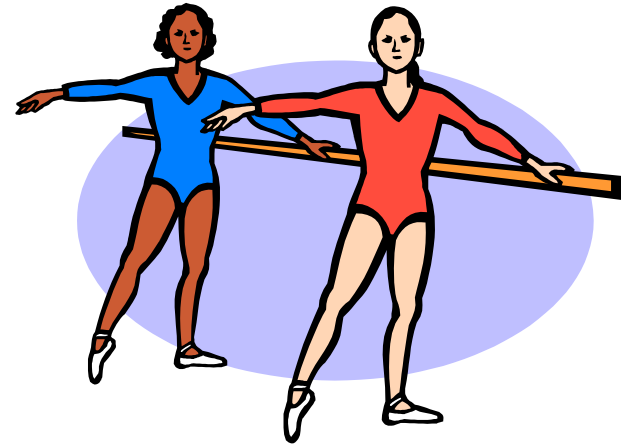
3.1. Efficience énergétique

- **Efficience (%) = (Travail mécanique effectué / Energie dépensée) * 100**
- **$W = \text{Force} * \text{Déplacement}$**
- **$F = \text{masse} * \text{acceleration}$**

- **Efficience \neq Economie**
- **Economie: Energie dépensée pour atteindre le but**

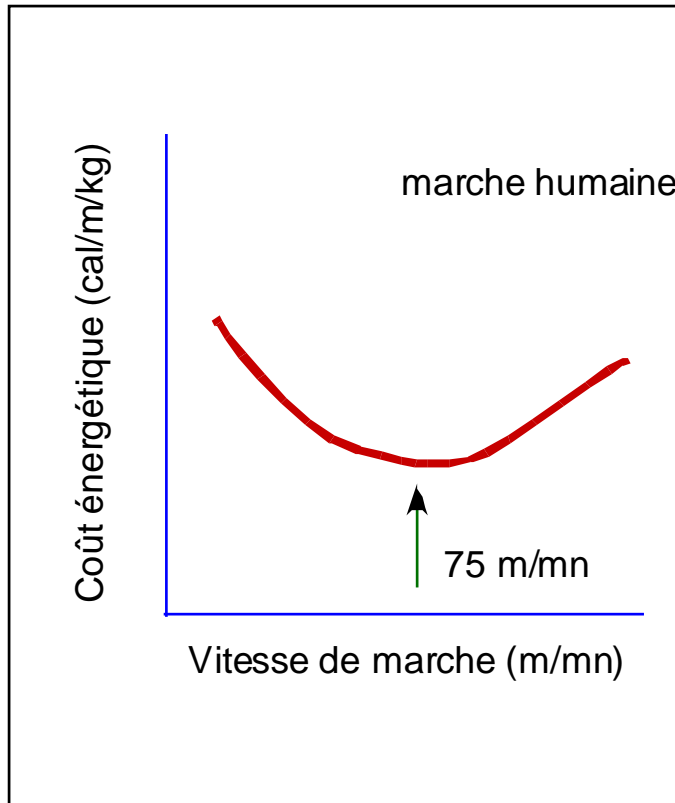
- **Avec l'apprentissage; l'économie s'accroît**

- **Meilleure organisation du geste (musculaire, segmentaire)**
- **Meilleure efficacité mécanique**
- **Mouvement plus lisse / plus fluide**
- **Fluidité: minimisation de la secousse (« jerk »)**
- **Vitesse = dp / dt accélération = dv / dt secousse = da / dt**

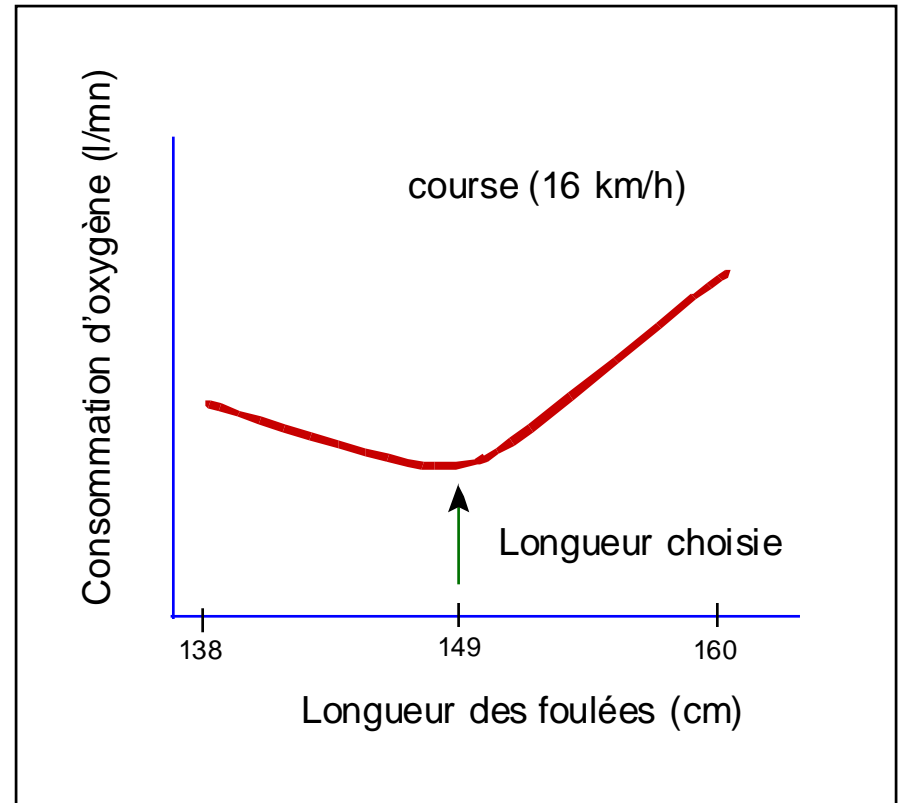


Dépense énergétique / allure

Ralstone, 1958

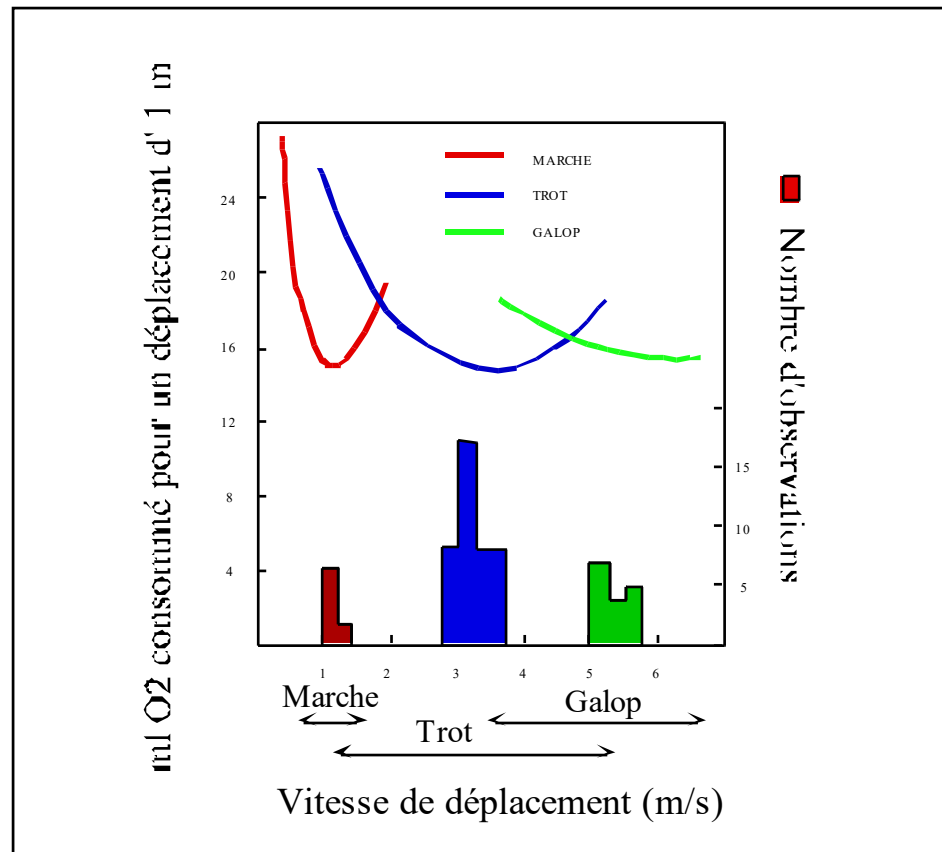


Hogberg, 1952



Dépense énergétique / coordinations segmentaires

Hoyt & Taylor, 1981



3.2. Efficience cognitive

- Capacité à produire une performance avec un minimum d'investissement des ressources cognitives
- Ressources perceptives (filtre sélectif)
- Ressources attentionnelles
- Ressources de programmation motrice
- Ressources d'exécution

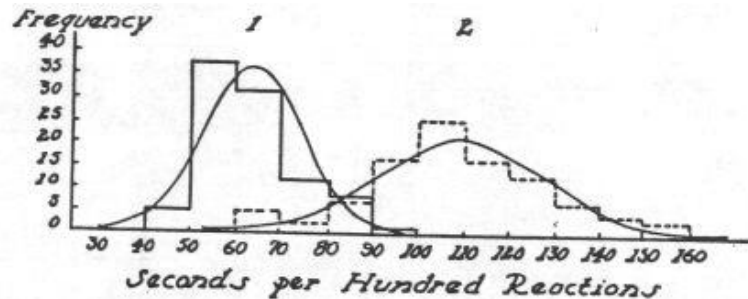


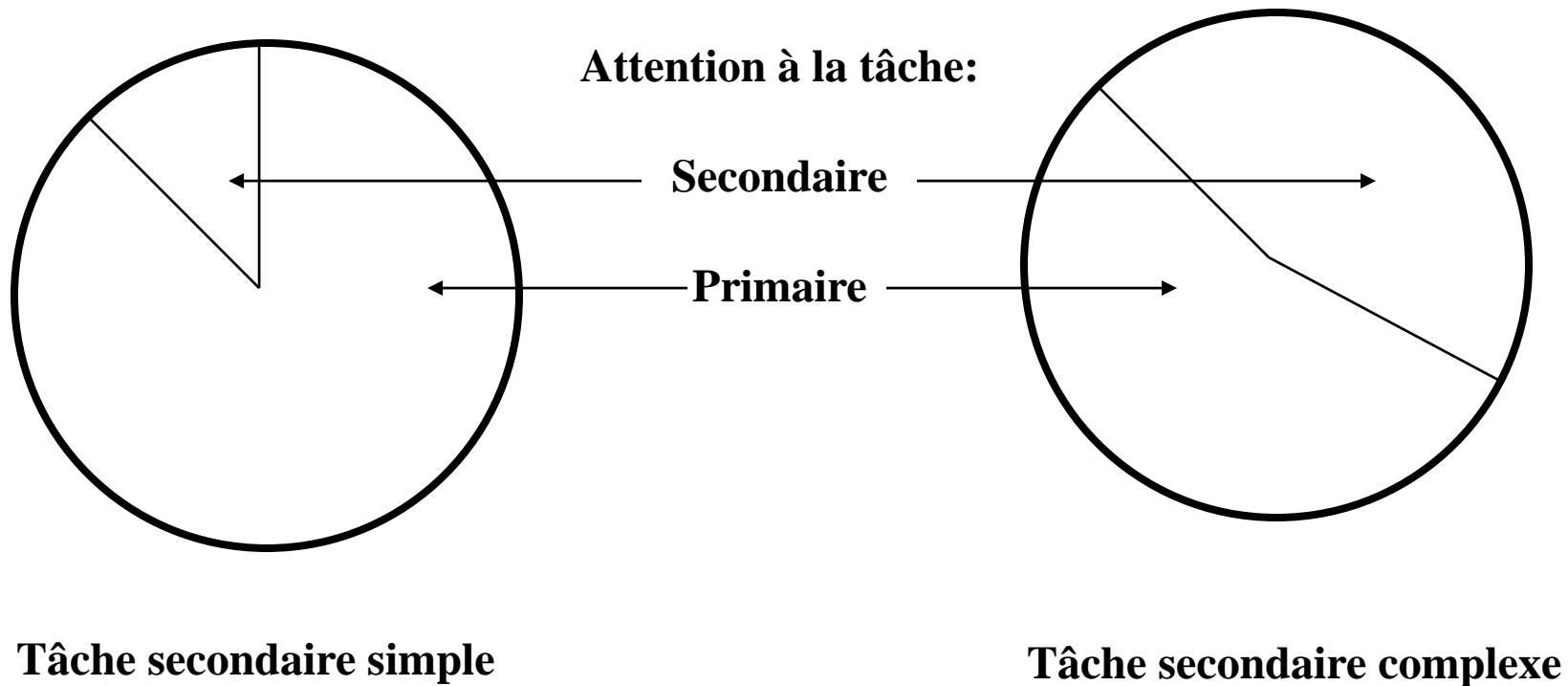
FIG. 1. Showing the effect of interference on naming colors. No interference (1); interference (2).

Stroop, 1935

+	Vert
+	Rouge
+	Rouge
+	Noir
+	Noir
+	Vert
+	Bleu
+	Bleu
+	Rouge
+	Rouge
+	Vert
+	Bleu

3.2. Efficience cognitive (suite)

- Capacité générale attentionnelle limitée (priorité à la tâche primaire)



Performance à la tâche secondaire: mesure du coût attentionnel de la tâche primaire

Attention au cours du mouvement - illustrations

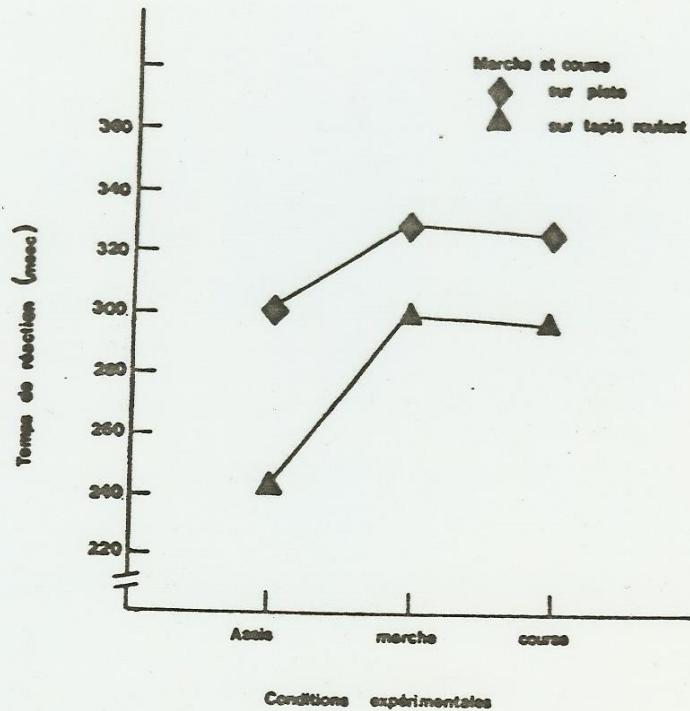


Figure 2.14. Comparaison des temps de réaction obtenus lors des études ayant analysé la marche et la course effectuées sur piste et sur tapis roulant (d'après Girouard, Perreault, Black & Vachon, 1979).

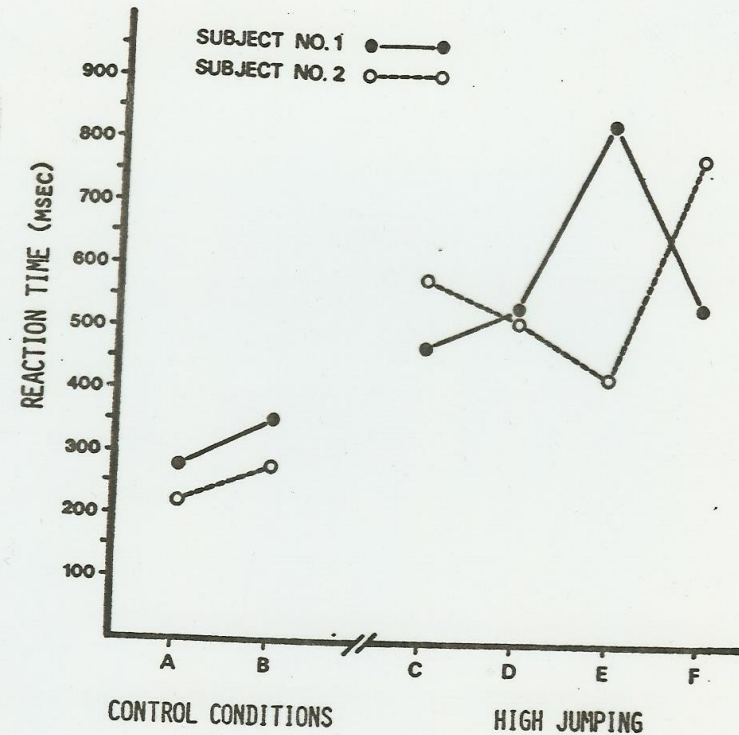
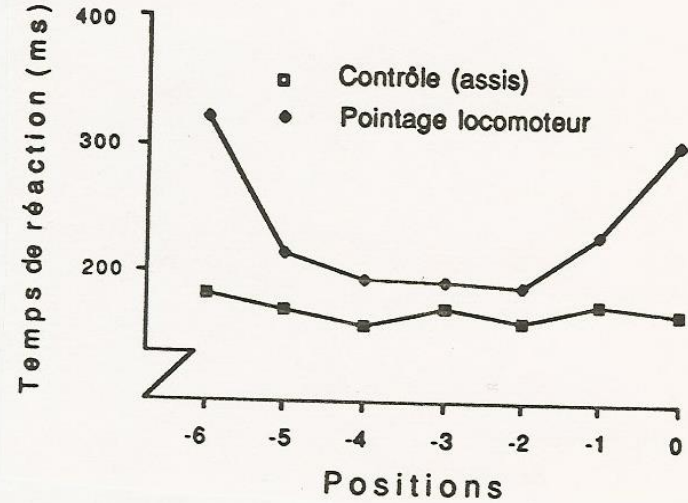
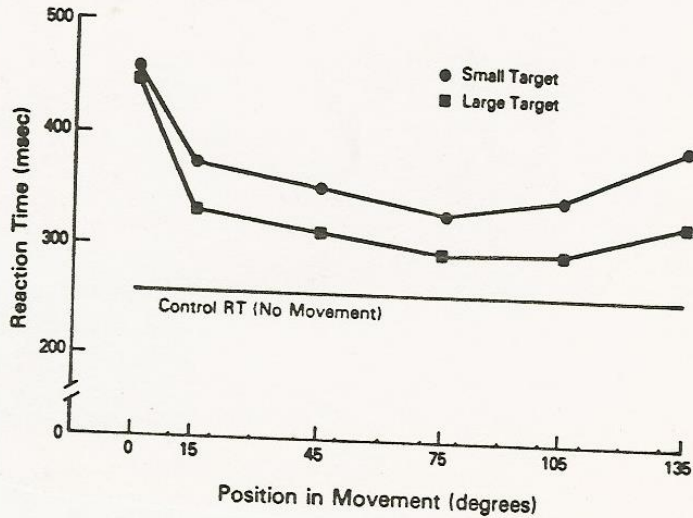
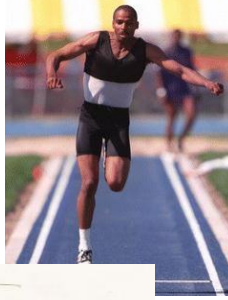


Figure 2.16. Temps de réaction à la tâche secondaire pour des conditions-contrôle (A: assis; B: course) et pour différentes phases du saut en hauteur (C: période préparatoire; D: course d'élan; E: impulsion; F: passage de la barre) (d'après Girouard, Perreault, Vachon & Black, 1979).

Attention au cours du mouvement



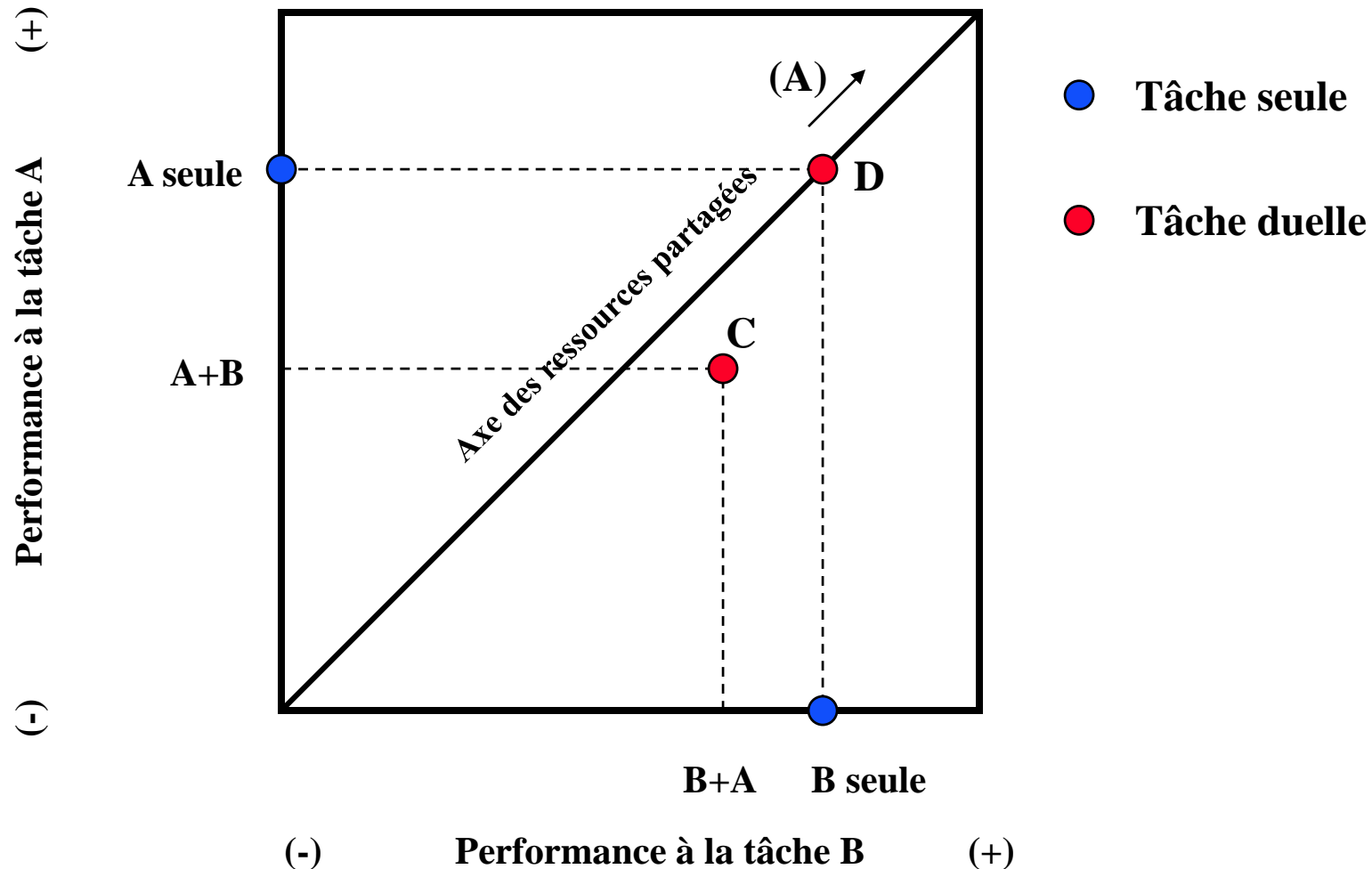
Posner (1980)

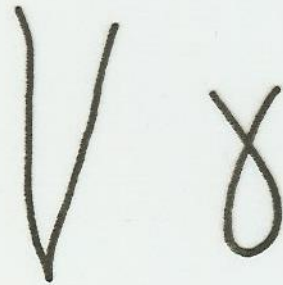
Bardy (1991)

- Hétérogénéité de la demande / mouvement
- Phase initiale / déclenchement du geste
- Phase terminale / régulation perceptive du geste

3.2. Efficience cognitive (suite)

- Partage des ressources attentionnelles entre deux tâches sans priorité

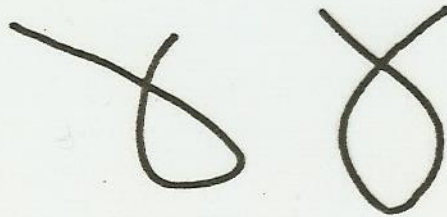




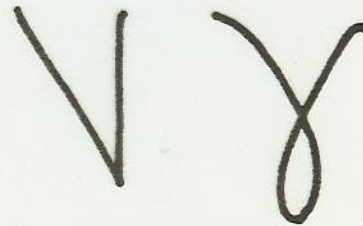
Single Trial 225



Dual Trial 16



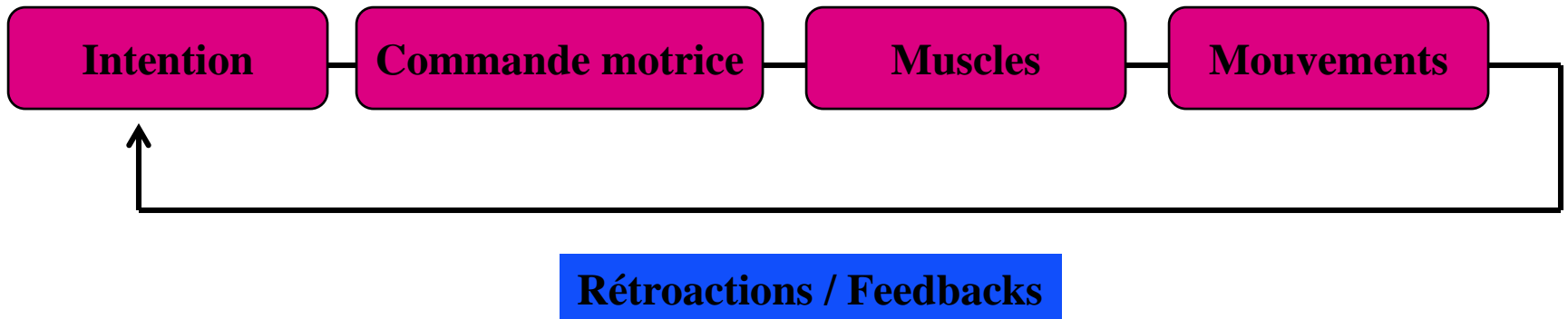
Dual Trial 1



Dual Trial 18

4- L'habileté est contrôlée

Contrôle – Régulation - Rétroactions sensorielles
Adaptabilité de l'habileté

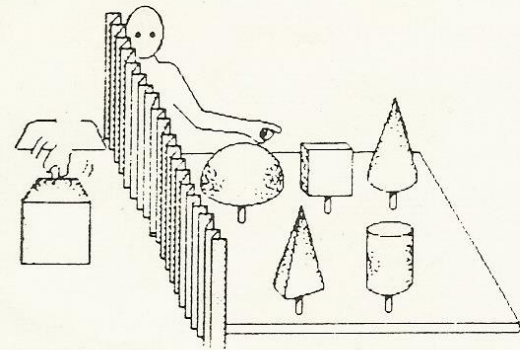


Classification des sens:

Extérocepteurs (Vision, Audition, Odorat, Goût)

Propriocepteurs (Sens tactilo-kinesthésique, Système vestibulaire)

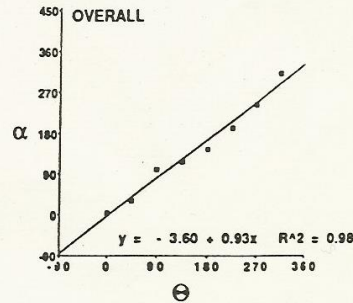
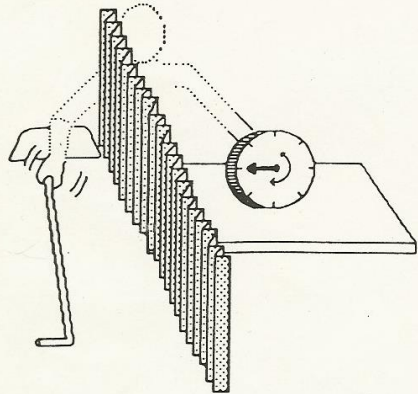
Pagano & Turvey, 1988



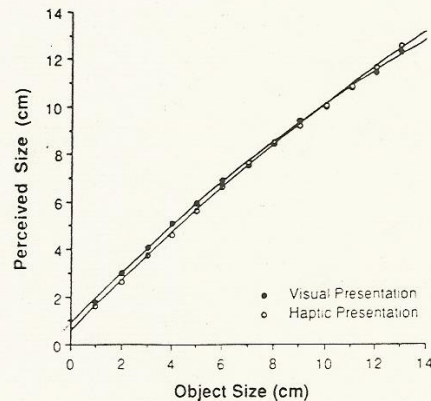
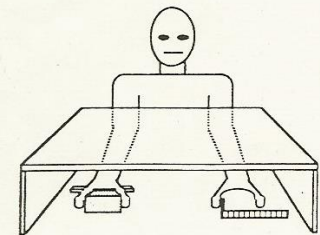
Shape Reported

	29	11	15	4	1
	17	16	10	9	8
	14	14	16	7	9
	3	7	3	24	23
	4	9	4	16	27

Shape Presented



Propriocepteur -> information extéro
 Toucher -> fonction extéro
 Sens haptique -> fonction proprio
 Vision -> fonction proprio



Sens:
 Fonction extéroceptive
 Fonction proprioceptive

Evolution des modes de contrôle

Effets de l'apprentissage:

- Renforcement du rôle de chaque modalité (vision par exemple),
renforcement du couplage entre une modalité et le mouvement
- Transfert de modalité (passage extéroception -> proprioception)
Délégation à une modalité de la prise en compte de certaines informations
- Utilisation de la congruence entre modalités (informations
visuelles, musculaires et vestibulaires par exemple)

Vision: Mouvement

Muscle: Mouvement

Oreille interne: Mouvement

Mouvement accéléré

Vision: Mouvement

Muscle: Immobilité

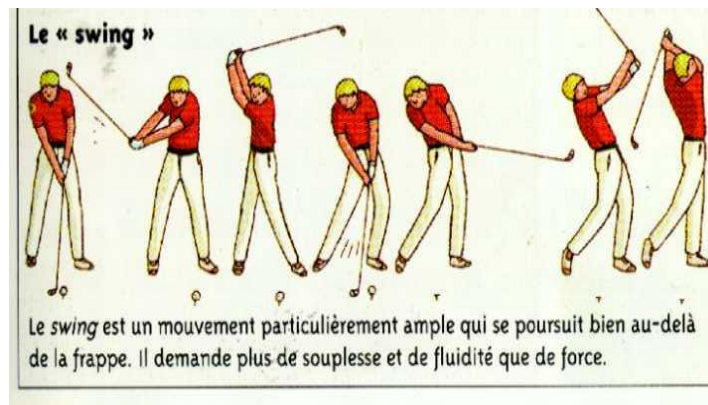
Oreille interne: Immobilité

Mouvement transporté à vitesse constante

Régulation sensorielle avant le geste: contrôle en boucle ouverte (*feedforward*)
gestes balistiques (rapides, sans correction en cours)

Régulation sensorielle pendant le geste: contrôle en boucle fermée (*feedback*)
gestes contrôlés (lent, contrôle en ligne)

Régulation sensorielle d'un geste sur l'autre: contrôle intermittent
gestes amendés (intermédiaire, contrôle d'un essai à l'autre)

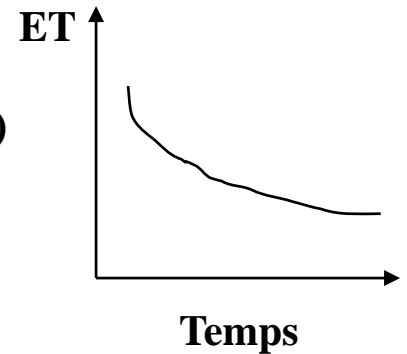


Le swing: un geste vraiment balistique?

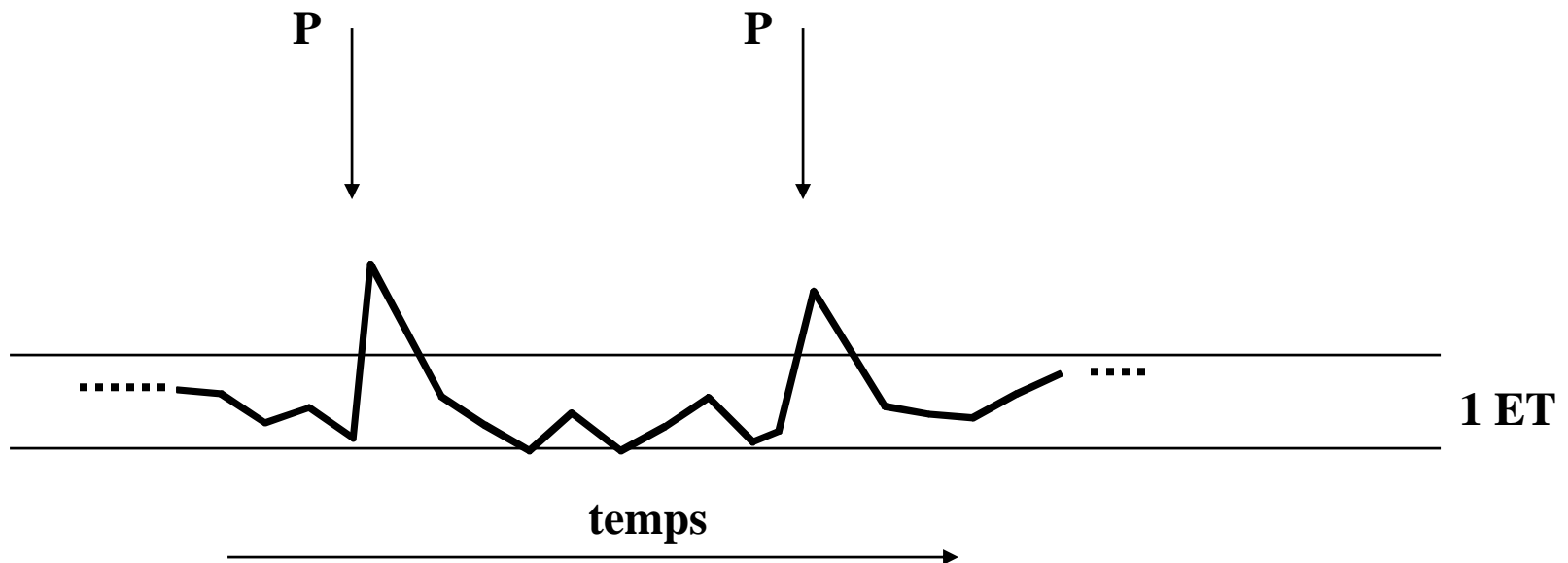
5- L'habileté est stable

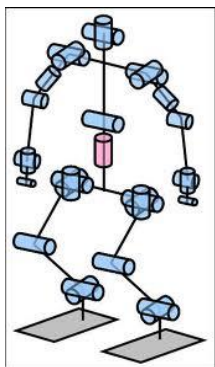
- Stabilité = reproductibilité
- Stabilité peut être mesurée par:

- écart type inter-essai pour chaque sujet (intra-sujet)



Temps de relaxation / temps de stabilisation après perturbation





6- L'habileté est acquise

- **L'habileté est au cœur de l'apprentissage sensori-moteur**
- **Apprentissage: modifications complexes d'un ensemble de processus:**
 - **moteurs / musculaires / segmentaires**
 - **neuraux / neuro-musculaires**
 - **perceptifs, cognitifs, décisionnels, attentionnels, etc...**
 - **Modes de contrôle**
- **C'est l'interaction complexe de ces changements qui caractérise l'apprentissage.**
- **Apprentissage: Transformation complexe de chacune des parties qui résulte en un tout différent et cohérent**

Taxonomie des habiletés

Habiletés diverses: intérêt de les classer pour mieux les analyser

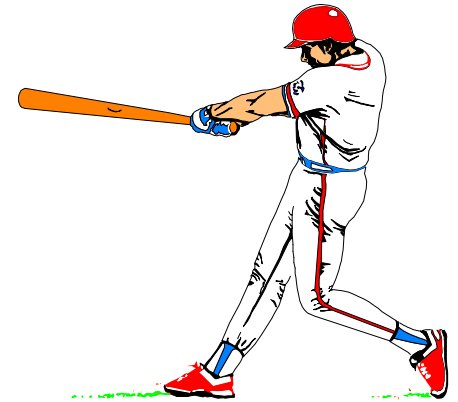
Différentes habiletés:

processus différents au cours de l'apprentissage

Cinq distinctions principales

Habiletés stratégiques vs techniques (French & Thomas, 1987):

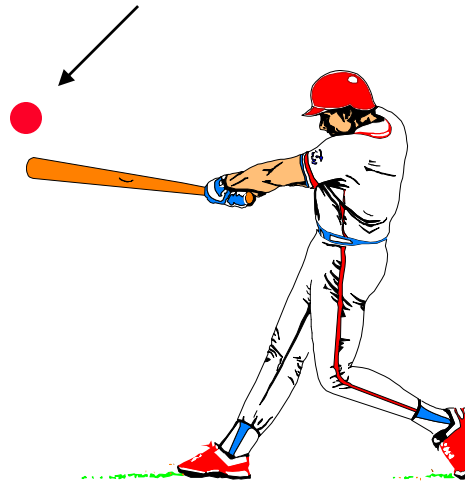
Habiletés techniques: Habiletés pour lesquelles le problème à résoudre est la mise en jeu d'une coordination sensori-motrice spécifique permettant d'atteindre le but (e.g., habileté gymnique). Ces habiletés sont contrôlées selon un mode plutôt implicite. **Apprentissages sensori-moteurs**



Habiletés stratégiques: Habiletés caractérisées par la présence d'incertitude. Les participants doivent prendre des décisions relatives au sous-buts 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**



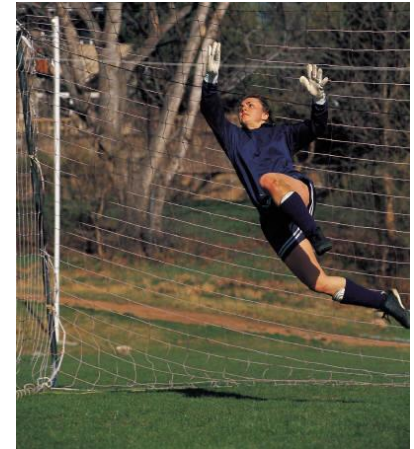
Habiletés ouvertes: Situation dans lesquelles les conditions environnementales changent au cours du temps de manière imprévisible. Prise de décision (choix) et adaptations doivent être envisagées au cours de l'action. **Apprentissage par adaptation**

Habiletés de coordination vs. Habiletés de contrôle

(Magill & Schoenfelder-Zohdi, 1995)

Habiletés de coordination: Habiletés nécessitant l'élaboration d'un nouveau patron de coordination, souvent à partir des patrons spontanés de coordination. **Apprentissage par déstabilisation / stabilisation des coordinations motrices**

Habiletés de contrôle: Habiletés nécessitant l'adaptation de la coordination aux contraintes changeantes de l'environnement. **Apprentissage par adaptation / modulation de la coordination**



Habiletés topocinétiques / morphocinétiques

(Paillard, 1991)

Habiletés topocinétiques: Habileté dont le but est spatialement repérable dans l'environnement (objet à atteindre, barre à franchir). **Apprentissage par renforcement des liens entre le mouvement produit et les rétroactions sensorielles issues du mouvement**



Habiletés morphocinétiques: Habileté dont le but est une forme à produire ou à reproduire (pirouette en danse). **Apprentissage par renforcement des liens entre le modèle interne et les conséquences sensorielles issues du mouvement**



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), et dont l'acquisition est rapide (quelques essais, une séance de pratique).

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

Autres classifications

Habiletés proximales vs. distales: Habiletés proximales (posturales, locomotrices) supportent (et interagissent avec) les habiletés distales (saisie, frappe, capture).

Habiletés perceptives vs. motrices: Habiletés à dominante perceptive ou cognitive (automatismes moteurs en réaction à différents stimuli), habiletés à dominante motrices (100 m en réaction au pistolet)

Caractère relatif des classifications



Habilités ET technique ET stratégique

Habilités plutôt fermée ou plutôt ouverte

Habilité ET coordonnée ET contrôlée

Habilité ET topocinétique ET morphocinétique (ex: saut à la perche)

Habilité complexe (débutant) ou simple (expert)

Habilité ET perceptive ET motrice: Habilité perceptivo-motrice

Habilité avec composante proximale ET distale

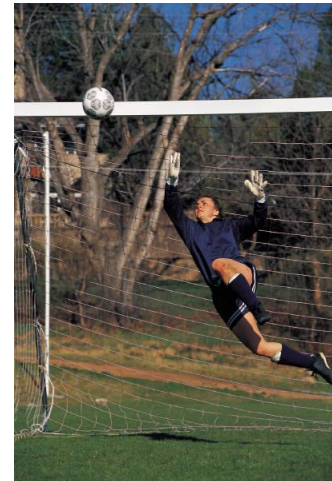
L'habileté est souvent caractérisée par l'interaction entre ces diverses composants

Résumé II



L'habileté sensori-motrices a six propriétés fondamentales. Elle est:

- Finalisée
- Organisée (musculaire, segmentaire, neuronal)
- Efficente, économique
- Stable
- Contrôlée, adaptable
- Acquisée par apprentissage



Persistances et changements caractérisent ces propriétés au cours des acquisitions

Différents type d'habiletés -> classification -> différences et similitudes dans les mécanismes responsables de l'apprentissage

III. Discontinuités, étapes, lois générales de l'apprentissage

III.1. Courbe d'apprentissage - 1

- **Habiletés ne peuvent être apprises sans essais (répétition)**
- **Courbe d'apprentissage: Y en fonction de X**

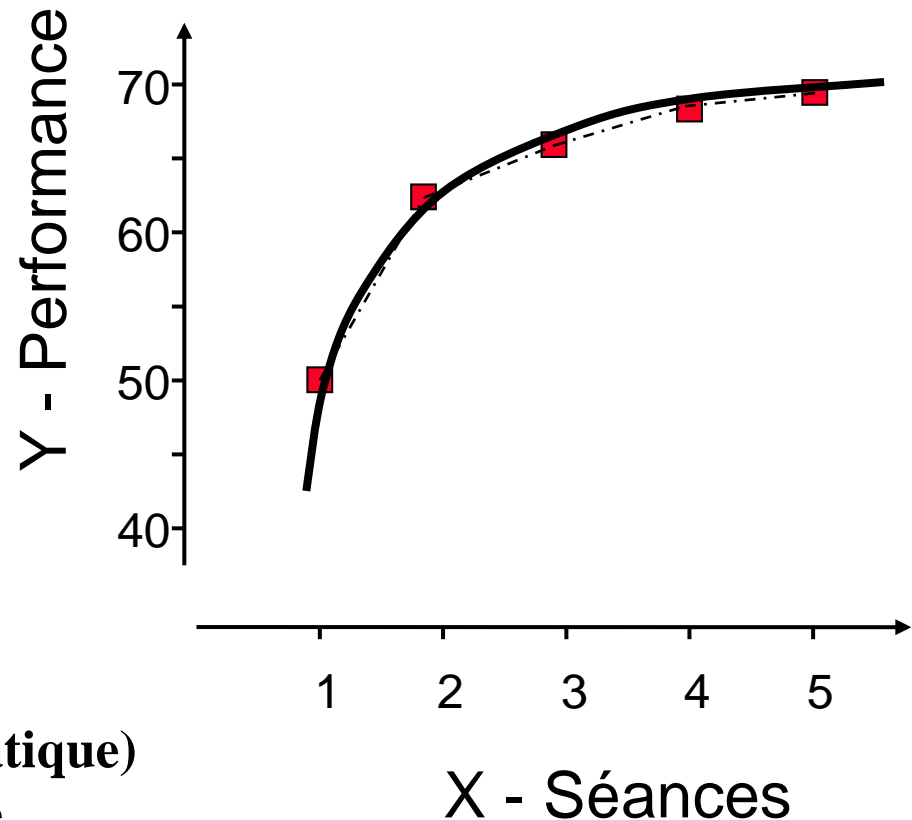
- **Y: Variable exprimant la performance**

- Temps (s)
- Amplitude (m)
- Energie
- Variabilité
- Erreur
- % performance max

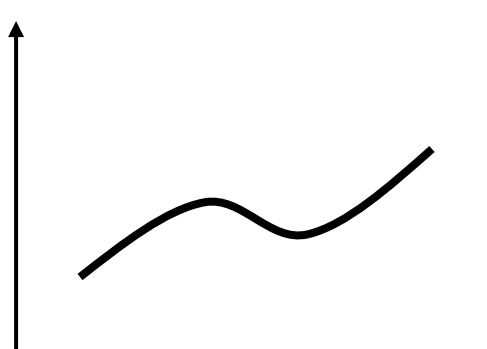
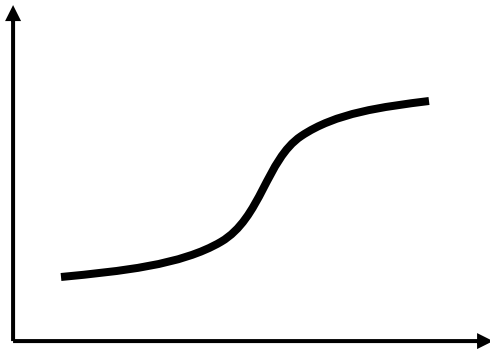
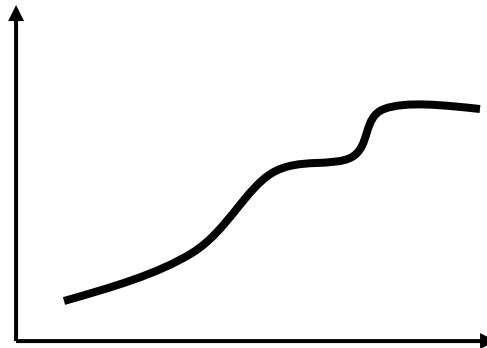
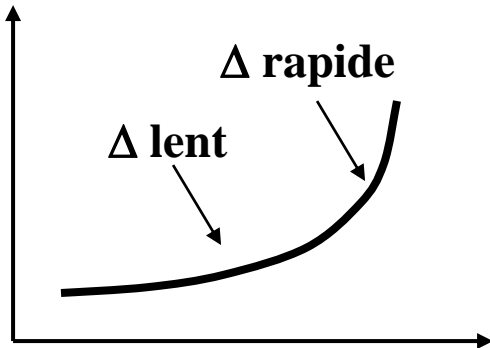
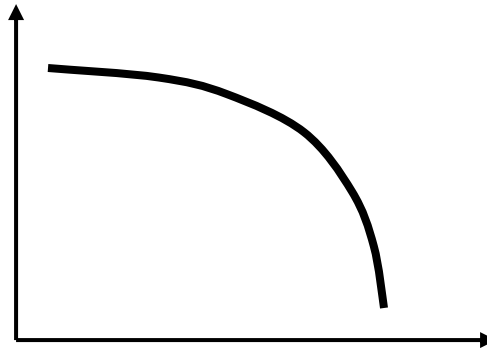
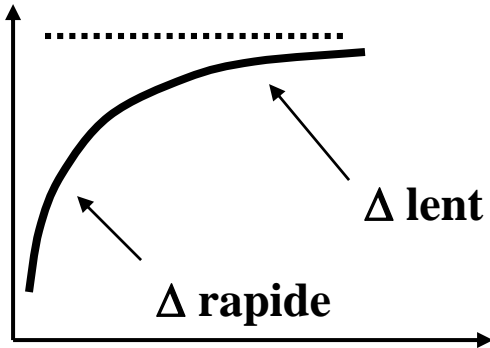
- **X: Répétition**

- Temps (s, jours / mois)
- Essais / blocs / Sessions

- **Courbe d'App: Ajustement / Fonction**
- **Fonction polynomiale (linéaire, quadratique)**
- **Permet de résumer / permet de prédire**



Courbe d'apprentissage - 2



- Non linéaire
performance plafond
- Courbe d'accélération négative
Loi générale
- Courbe d'accélération positive
Certaines phases, habiletés morpho
- Courbe en S
- Courbe de décélération
Y - erreur
- Plateau
- Phases de régression

Les raisons du plateau et de la régression



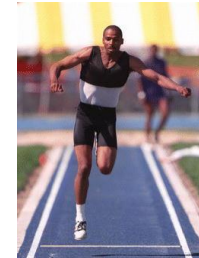
• Facteurs inhérent au sujet

- démotivation, découragement dû à la lenteur des progrès (psycho)
- affection temporaire (maladie, blessure)
- avancée en âge (développement, vieillissement)



• Facteurs inhérents à l'apprentissage

- mise en place de nouveaux mécanismes cognitifs (modèle interne)
- mise en place de nouveaux couplages sensori-moteurs
- mise en place d'un filtre attentionnel, etc...



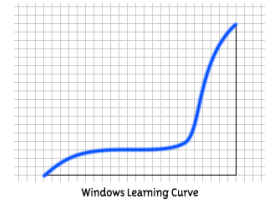
• Ces nouvelles procédures de résolution de problème peuvent nuire temporairement à l'acquisition de l'habileté (notion d'interférence)

• Les régressions sont des étapes normales au cours de l'apprentissage

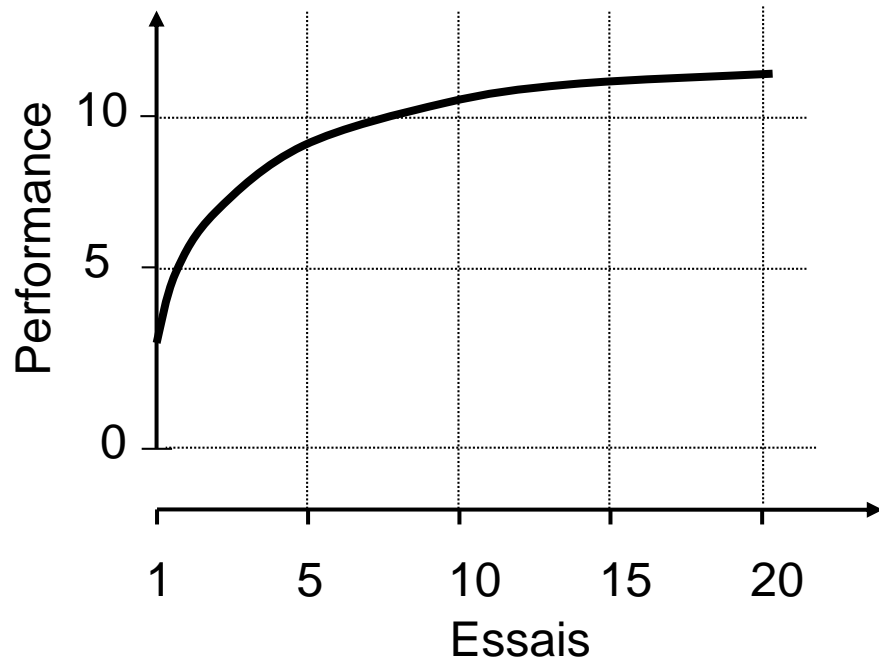
En résumé, la forme des courbes d'apprentissage dépend:

- des caractéristiques de l'apprenant
- des caractéristiques de l'habileté (nature, difficulté, ...)
- de l'interaction entre ces deux facteurs

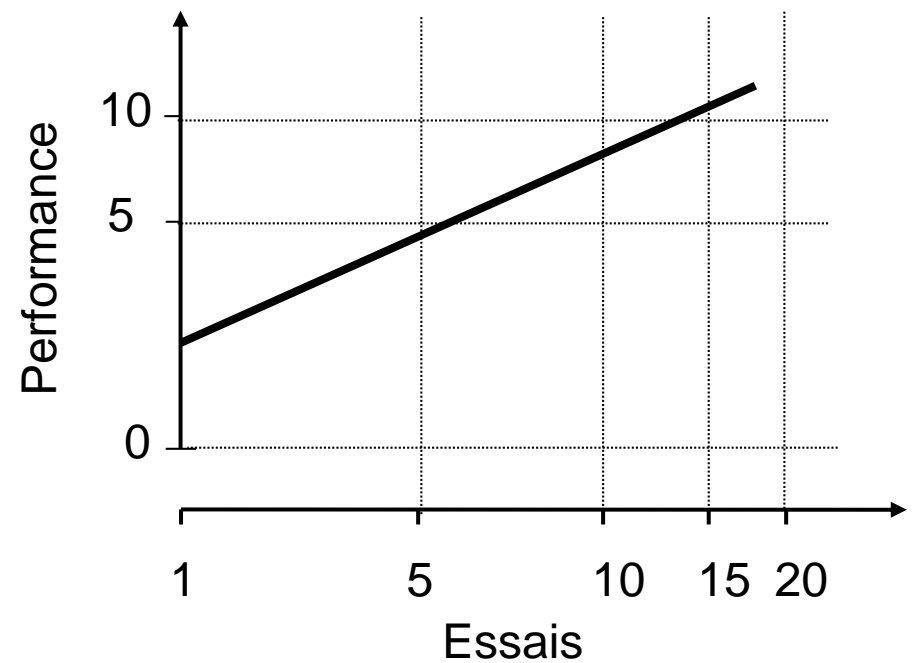
Courbe d'apprentissage - 3



Echelles Linéaires



Echelles Logarithmiques



Lois générales - 1

Bilodeau (1966)

• Matrice de corrélation

- *Temps de mouvement*
- *Trajectoire*
- *Vitesse*
- *Accélération*
- *Erreur*
- *etc*

pratique

Essai	1	2	3	4	5	6	7	8
1	.79	.77	.74	.73	.71	.71	.70	
2		.87	.87	.84	.82	.82	.82	
3			.91	.89	.87	.85	.86	
4				.91	.88	.86	.88	
5					.89	.90	.90	
6						.93	.93	
7							.94	
8								

- Les corrélations entre essais successifs plus grandes qu'entre essais distants
- Les corrélations entre essais successifs s'accroissent et se stabilisent (super-diagonale)

→ Stabilisation progressive des mécanismes de l'apprentissage

Lois générales - 2

- **Fonction de puissance**

TM: temps de mouvement

f: final

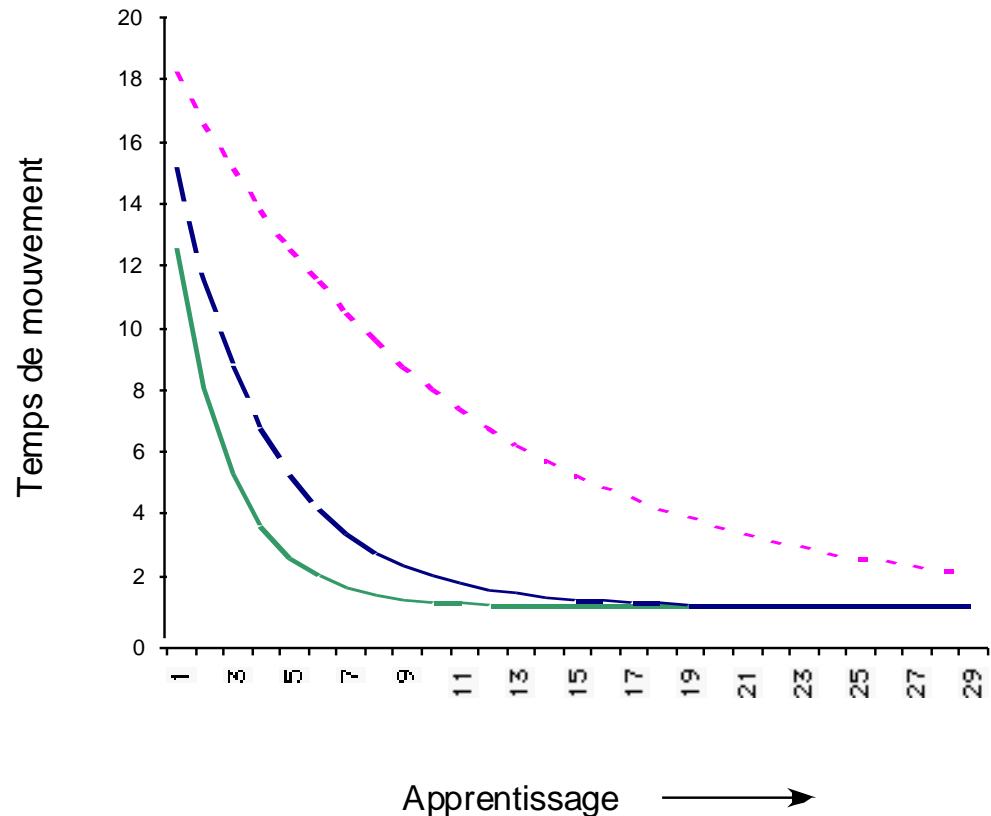
0: initial

Différentes valeurs de a

Décélération négative

Accélération négative

$$TM = TM_f + (TM_0 - TM_f) \cdot e^{-at}$$



III.2. Etapes classiques de l'apprentissage (processus cognitifs)

Initiale (cognitive, verbal-moteur, idée du but)

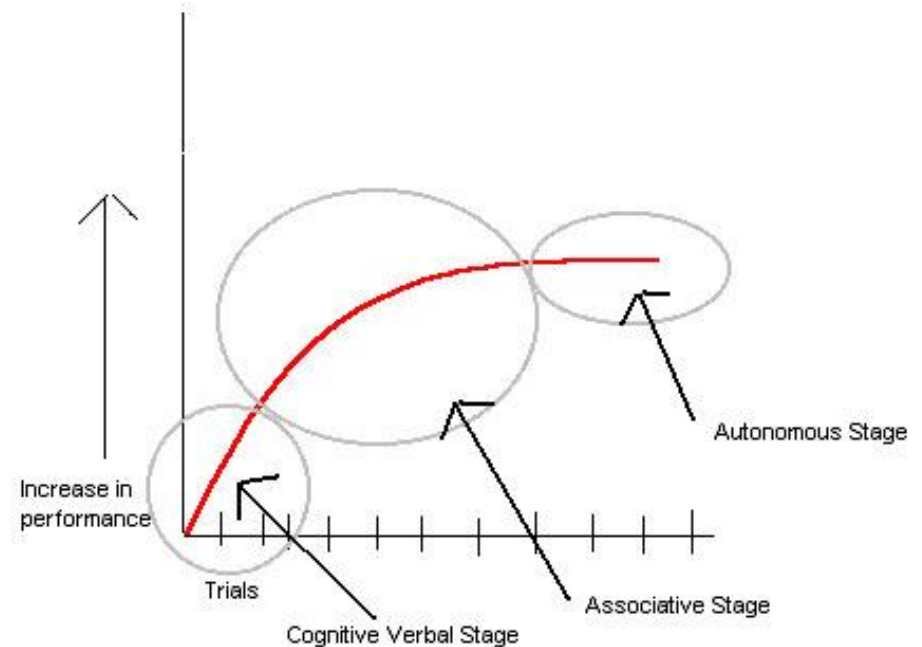
- apprendre en agissant
- apprendre en observant
- apprendre en écoutant

Associative

Stabiliser la programmation motrice
Mettre en jeu les couplages sensori-moteurs
Utiliser les rétroactions sensorielles

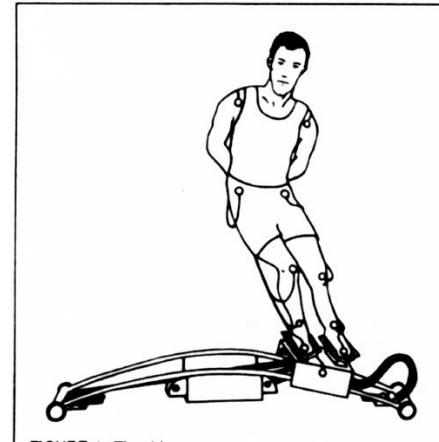
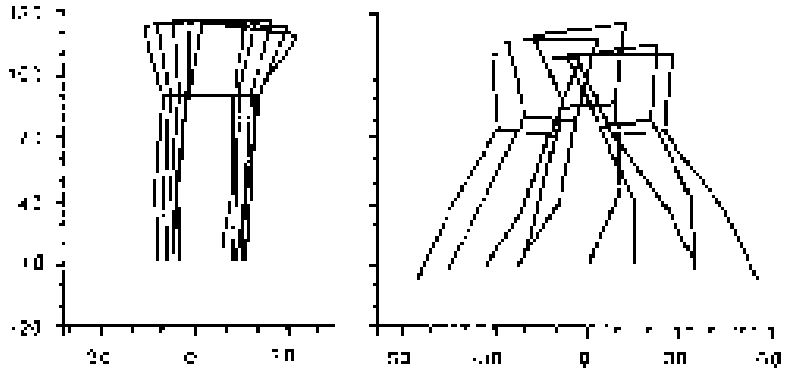
Finale/autonome

Libère le canal de traitement de l'information
Efficience - Economie
Automatisme



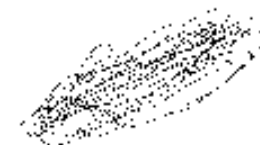
Evolution des couplages articulaires avec l'apprentissage

Vereijken et al., 1992



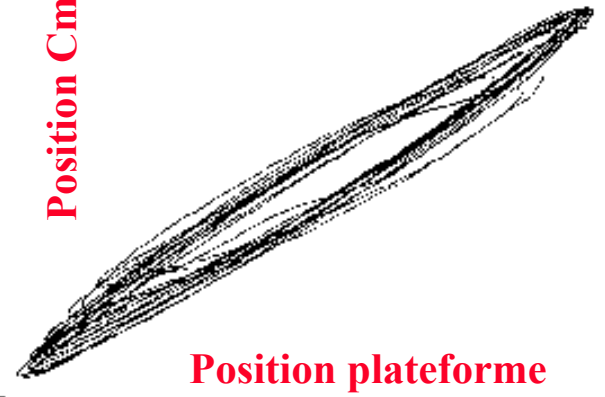
Simulateur de ski

Débutant



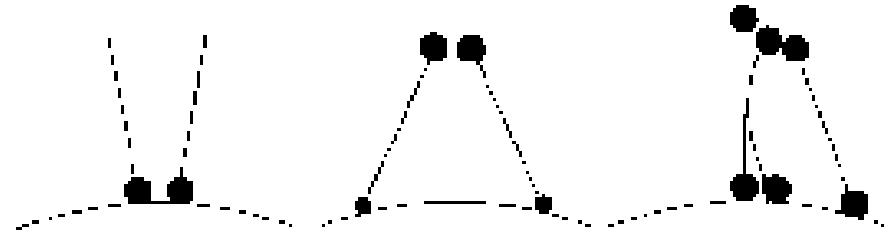
Expert

Position Cm



Position plateforme

Etapes de l'apprentissage (simulateur de ski)



1

- gel (réduction) des couplages articulaires
 - rigidification du corps (simplifie le problème du contrôle)
 - forte corrélations spatio-temporelles entre les articulations
 - pendule inversé (instable)

2

- libération des couplages articulaires
 - augmentation des mouvements angulaires
 - diminution des corrélations entre les mouvements / indépendance
 - pendule simple (stable)

3

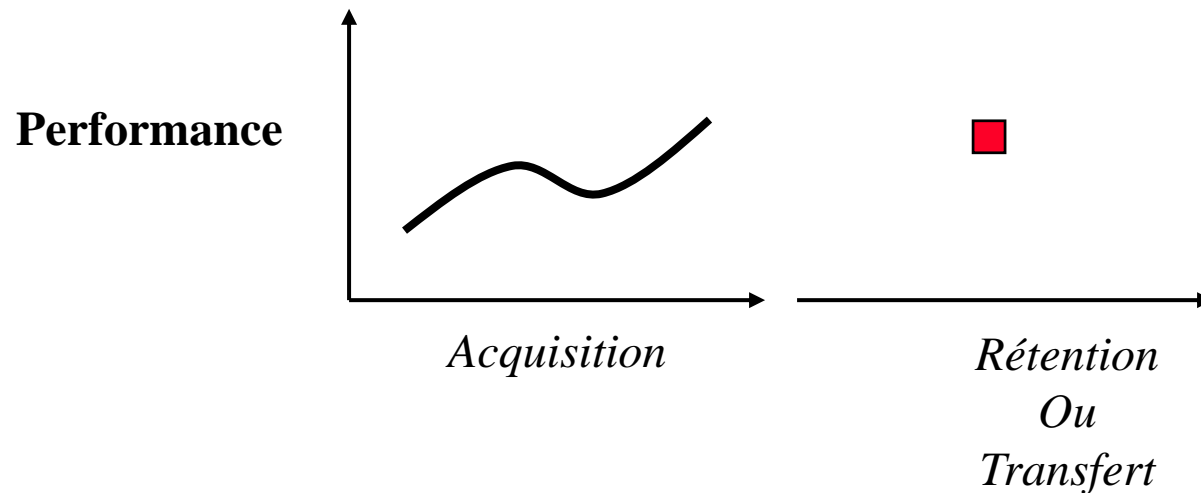
- utilisation des phénomènes réactifs - efficacité
 - Exploitation des forces passives (restauration d'énergie)
 - stabilisation des couplages efficaces
 - pendule amorti

III.3. Mesures de l'apprentissage

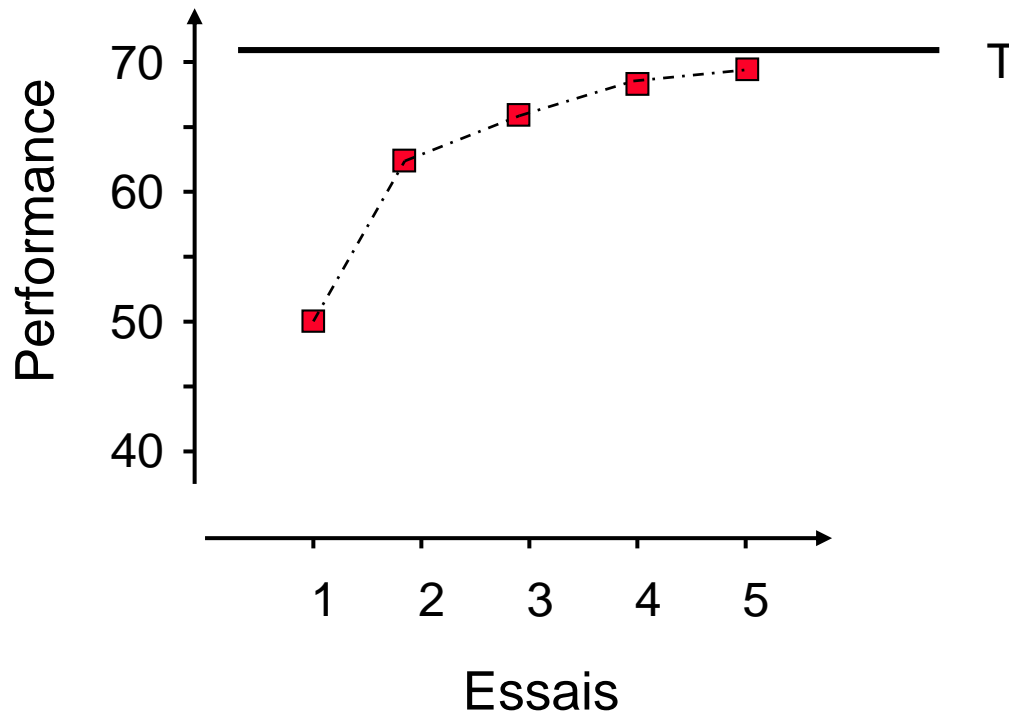
Performance \neq Apprentissage

6 mesures classiques de performance

5 mesures classiques de l'apprentissage



6 mesures classiques de performance



Moyenne

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n}$$

Erreur constante

$$EC = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - T)}{n}$$

Erreur absolue

$$EA = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - T|}{n}$$

Erreur variable

$$EV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$E^2 = EC^2 + EV^2$$

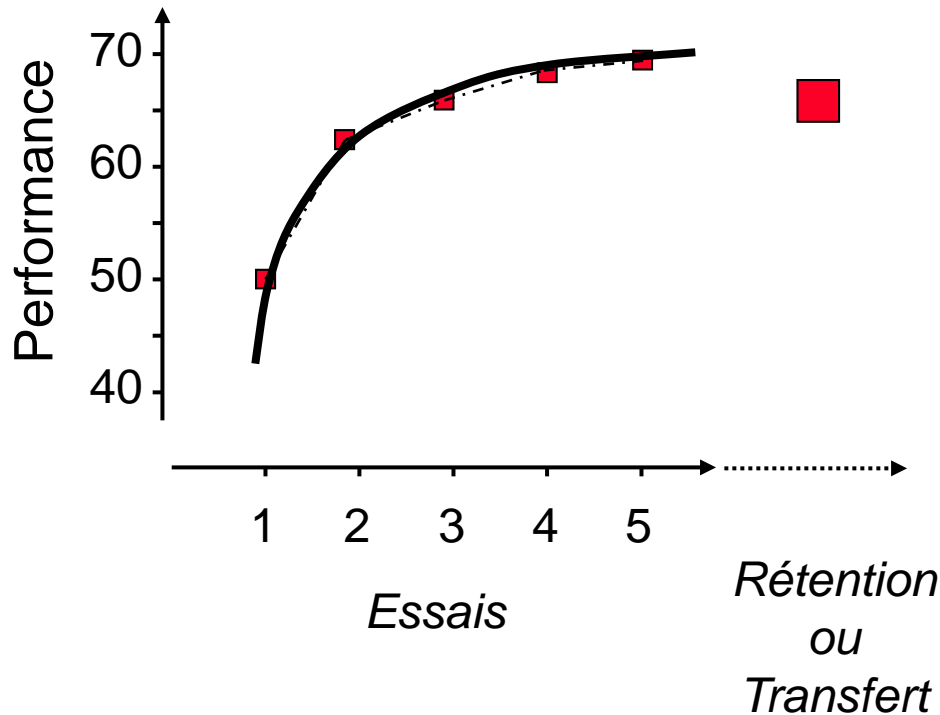
Variabilité totale (root mean square)

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - T)^2}{n}}$$

Erreur constante absolue

$$ECA = |CE|$$

5 mesures classiques de l'apprentissage



Loi de puissance

Rétention absolue (RA)

Rétention relative (RA-Pf)

Pourcentage de rétention relative
(RR/n)

Score final (transfert)

IV. Les conditions d'apprentissage

Conditions d'apprentissage - Introduction



2 problématiques lorsqu'on étudie l'apprentissage

- **Interne (Habilités et leur processus d'acquisition)**
- **Externe (Tâche et conditions dans lesquelles l'Ap se manifeste)**

Problématiques complémentaires mais distinctes

- **Interne: Etude des processus cognitifs et sensori-moteurs**
- **Externe: Organisation des conditions d'apprentissage**

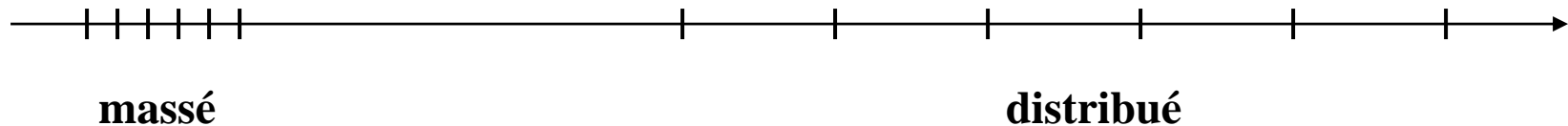
La performance et son évolution au cours de l'Apprentissage est le résultat de ces deux contraintes

4.1. Apprentissage massé vs. distribué



Se réfère à la planification dans le temps des apprentissages

- **Pratique massée: Groupement des essais**
- **Pratiques distribuée: Espacement des essais**



Pratique massée: période de repos courtes (par ex 5 s)

Pratique distribuée: période de repos longue (par ex 30 s)

Question: l'efficacité de la période de repos entre les répétitions

Pb crucial pour l'enseignant / entraîneur

- **Comment distribuer le repos pour maximiser l'apprentissage?**
- **Contraintes extérieures (planning, emploi du temps, etc...)**

M vs. D

Bloquer / distribuer la pratique a de nombreuses conséquences

- **Temps d'apprentissage (court, long)**
- **Fatigue (repos = récupération)**
- **Motivation**

Efficacité de bloquer / distribuer la pratique fonction de:

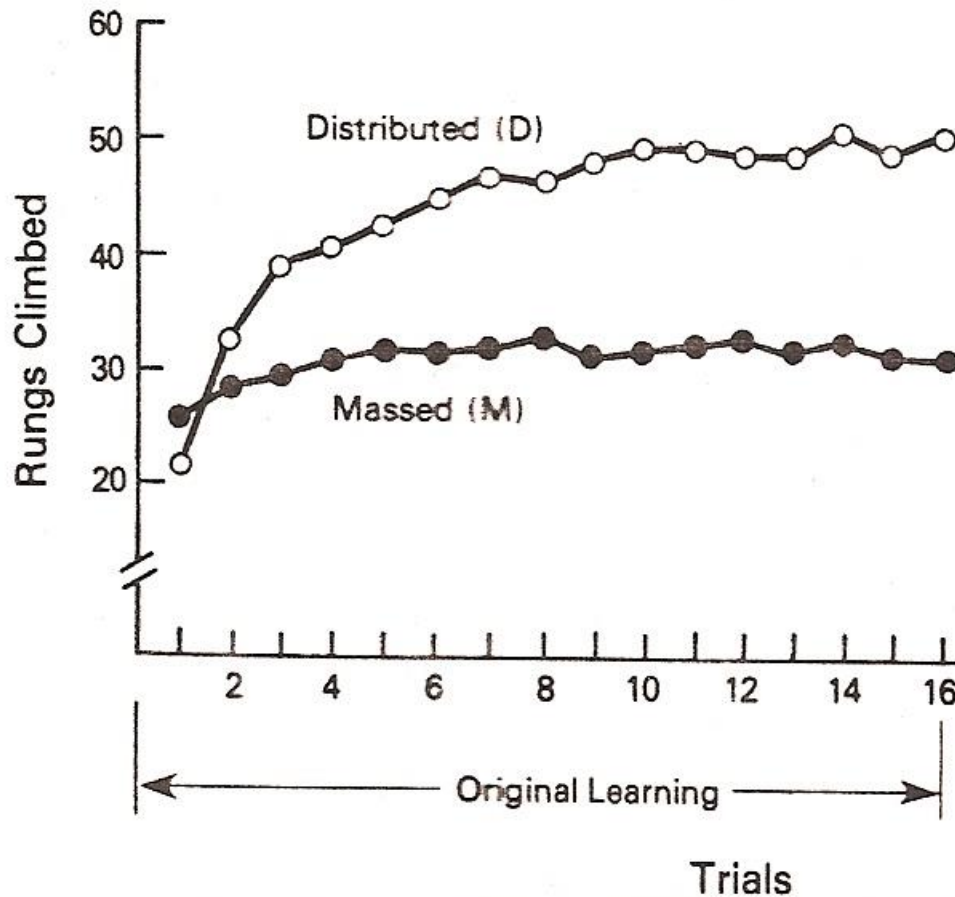
- **Niveau d'expertise initial**
- **Type d'habileté**

M vs. D - illustration 1

Stelmach, 1969



Echelle de Bachman / Maximiser le nombre de barreaux montés

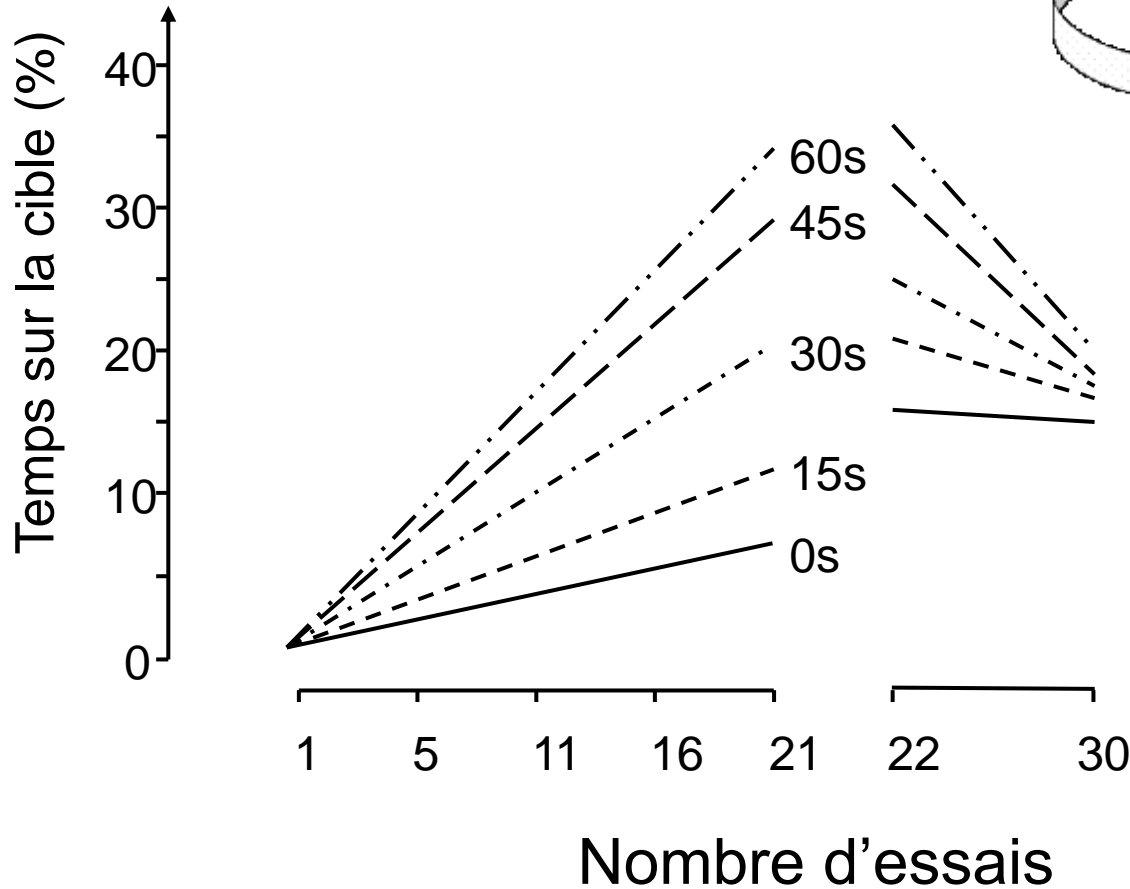
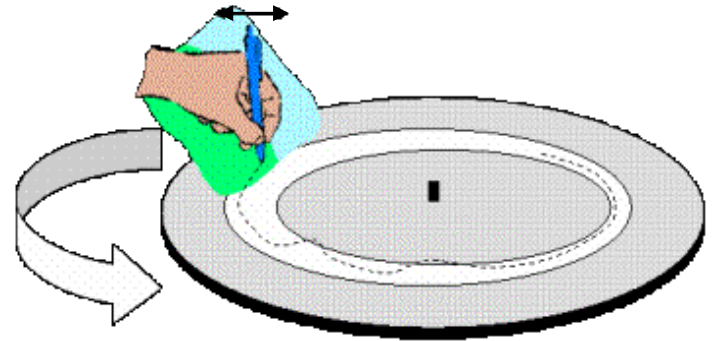


M vs. D - illustration 2

Bourne & Archer, 1956

Détails dans Marin & Danion (2005)

Poursuite visuo-manuelle / Minimiser l'erreur



M vs. D - Synthèse

L'efficacité de la distribution dépend de la nature de l'habilité

Répétitive (D) / pluralité de stratégie (M)

Coût énergétique (central / périphérique)

Temps de pause optimal

Court terme (M) / Long terme (D) - Durée de la pratique

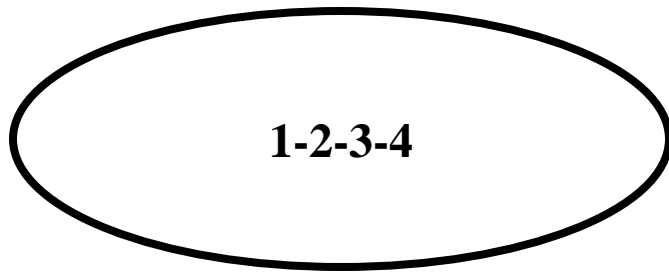
Tâches continues (D) / discrètes (M)

Tâches simples / complexes (M)

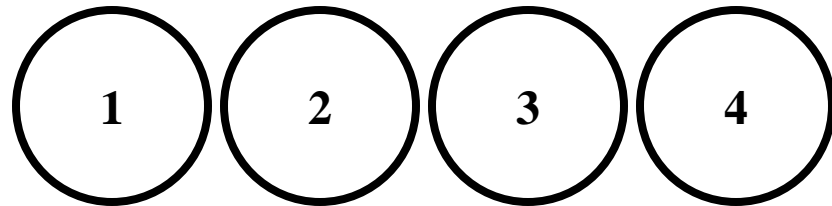
4.2. Apprentissage global vs. fractionné



Se réfère au découpage de l'habileté en unités plus ou moins longues et plus ou moins emboîtées.



Méthode globale

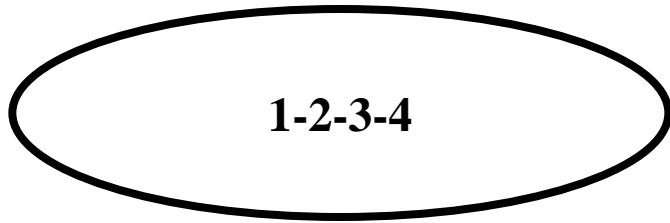


Méthode fractionnée

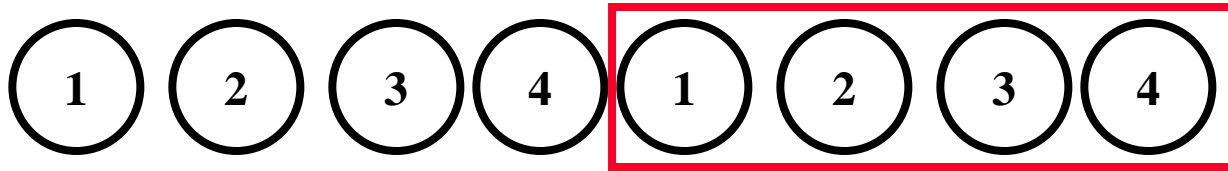
Pas de résultats généralisables

- Plusieurs types de méthodes fractionnées
- plusieurs modes de fractionnement pour une même tâche
- compétition entre certaines variables

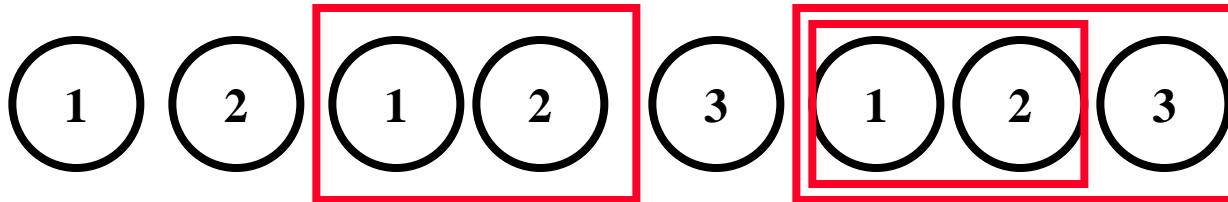
G vs F - Plusieurs méthodes fractionnées



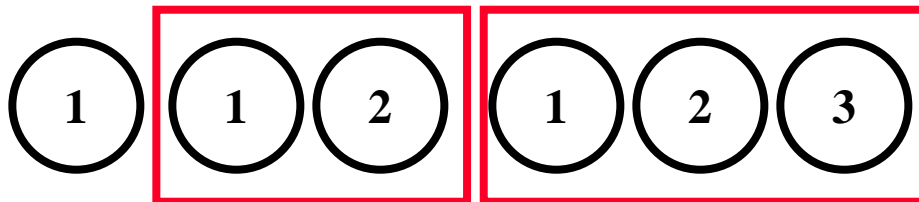
Globale



Fractionnée



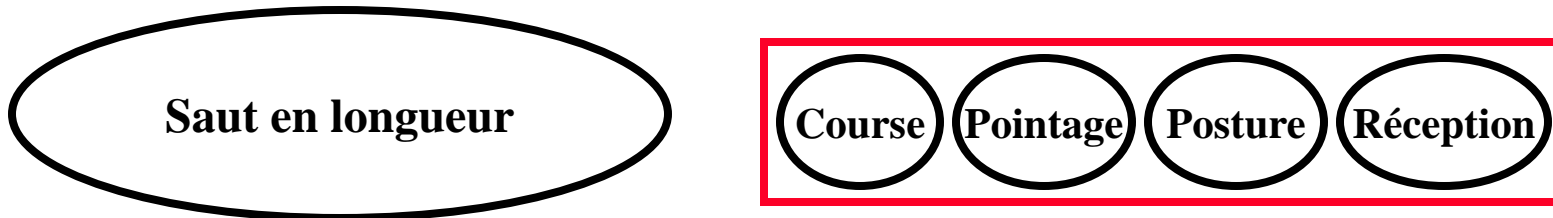
**Fractionnée
Progressive (FP)**



**Fractionnée
Répétitive (FR)**

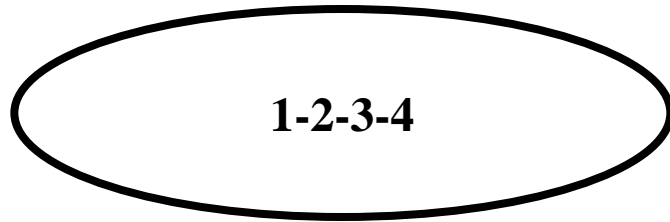
G vs F - Plusieurs modes de fractionnement

Morcellement de l'habileté en unités plus petites

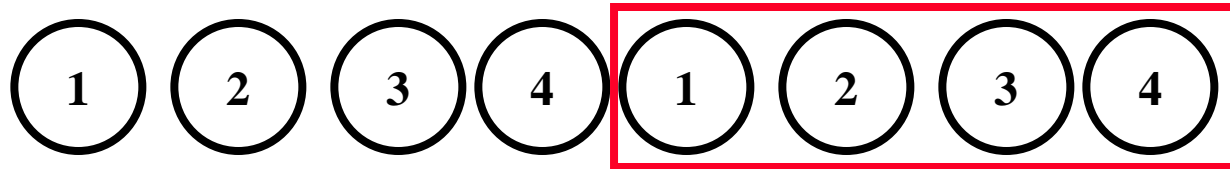


- > **Eclatement de la structure spatiale (tâche décomposée en sous tâches)**
- > **Eclatement de la structure temporelle (ralenti, synchronie)**

G vs F - Mesure de la meilleure méthode



T_g



T_f

$$T_f = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + \dots + T_a \text{ (temps d'association)}$$

$$\text{Soit } D = T_g - (T_1 + T_2 + \dots + T_n)$$

$$\text{si } T_a = 0$$

$$T_g > T_f$$

$$\text{si } T_a > D$$

$$T_f > T_g$$

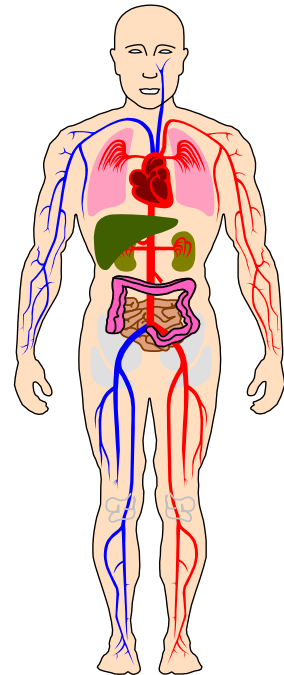
$$\text{Si } T_a < D$$

$$T_g > T_f$$

G vs F - Variables affectant leur efficacité

Variables liées au sujet

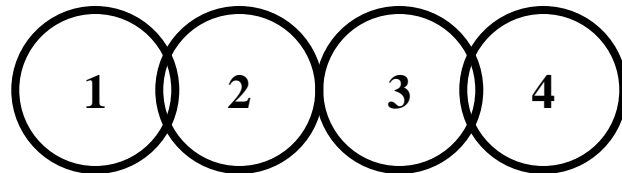
- Motivation
- Différences individuelles (âge, familiarité avec la méthode)



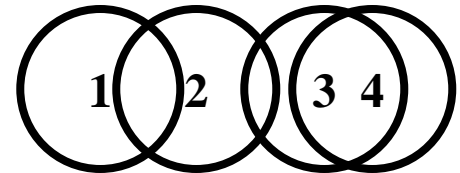
G vs F - Variables affectant leur efficacité

Variables liées à l'habileté

- **Habilité cognitive / mémoire: Plutôt avantage à G**
- **Habilité sensori-motrice: résultats contradictoires (car dépend du paramètre suivant)**
- **Organisation de l'habileté (degré d'interaction entre les unités)**



H faiblement organisée



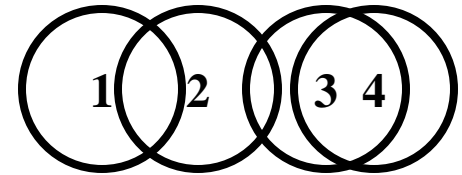
H fortement organisée

G d'autant plus efficace que l'organisation est forte

ex salto: Courir POUR sauter POUR tourner POUR se réceptionner

Anticipation: Planification / Programmation / Feedback

G vs F - Conclusion / Résumé



L'efficacité de la méthode globale ou fractionné dépend principalement des variables SUJET et TÂCHE

- **G plus efficace pour des sujets développés (âge et QI) et familiarisés**
- **G d'autant plus efficace que l'habileté est organisée, et ce quelque que soit le type d'habileté**
- **F plus efficace pour des habiletés faiblement organisées**

G vs F - Méthodes pédagogiques

Historiquement dans le domaine de l'éducation motrice, trois méthodes d'enseignement

Pédagogie par élément / Apprentissage analytique

- **Acquisition séparée des éléments composant l'habileté**
- **Problème majeur: Assemblage a posteriori des éléments préalablement appris séparément**
 - **Absence d'interaction**
 - **Juxtaposition de séquences statiques**
 - **Difficulté d'anticipation**
 - **Synergies neuromusculaires**
 - **Guidage perceptif anticipé des actions à venir**

Modèle structuraliste / Pédagogie globale

- **Acquisition par exécution immédiate de l'ensemble du geste (rôle de la démonstration)**
- **Le tout (l'habileté) n'est pas réductible à la somme des parties (composants)**
- **Le sujet recrée par l'action la structure du mouvement**
- **Comprendre le mouvement, c'est organiser une « mélodie kinétique » (Guillaume, 1947), c'est-à-dire recréer sa structure en dépassant l'agencement des parties**

Modèle auto-adaptatif / Aménagement du milieu

- **Pas d'instruction détaillée sur le but et surtout sur les moyens**
- **Placer l'élève dans les conditions environnementales qui contraignent l'émergence du nouveau comportement - « Jouer » avec ces contraintes pour construire, enrichir et stabiliser les moyens mis en oeuvre**
- **Essai-erreur - statut positif de l'erreur**
- **Feedbacks et connaissances du résultat**

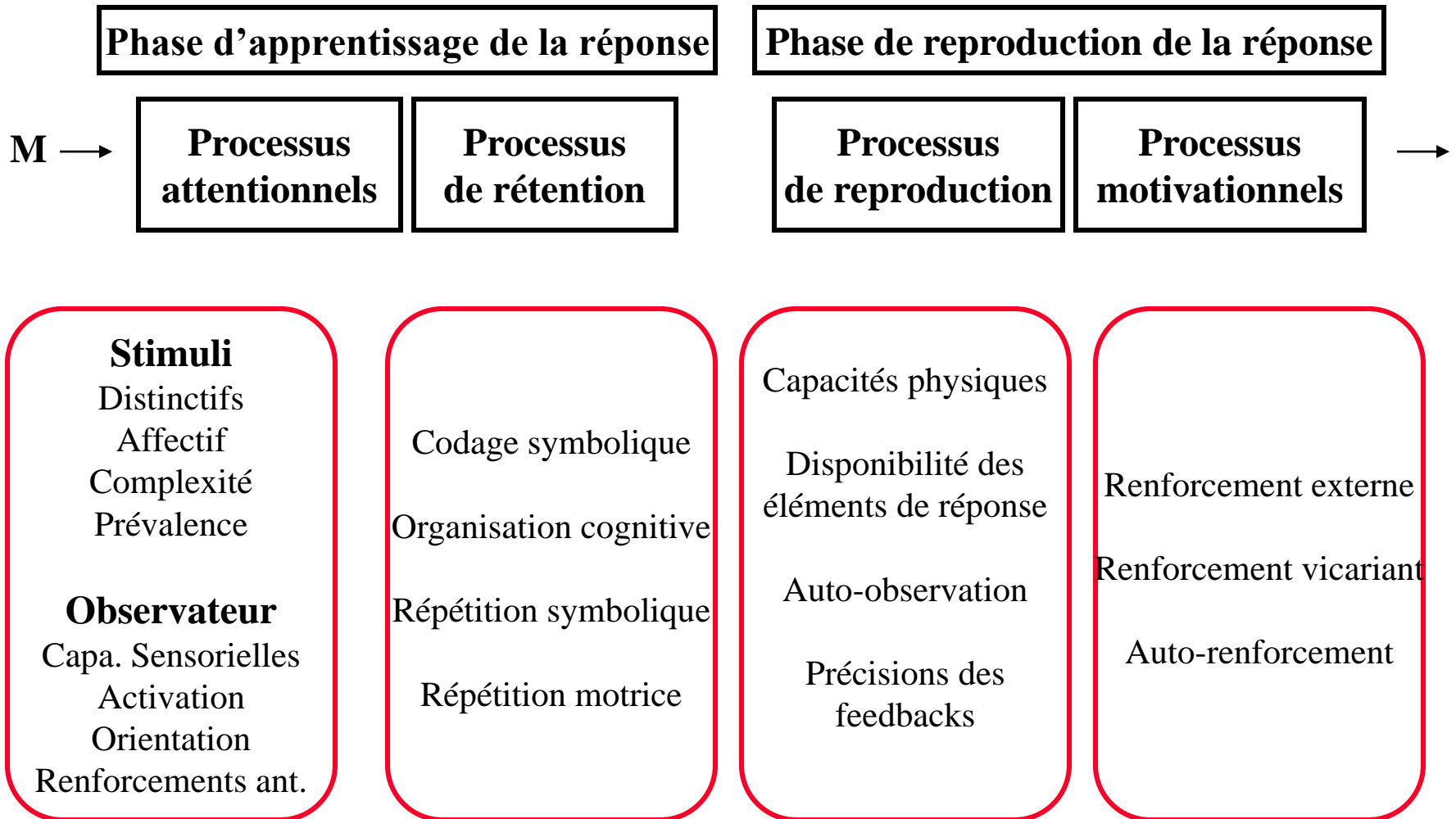


4.3. Rôle du modèle - App. Par observation

- **Problématique: Apprentissage d'une habileté par observation de cette habileté réalisée par un tiers**
- **Imitation - Démonstration - Observation**
- **Questions:**
 - **Effet réel du modèle ?**
 - **Inconvénients de la démonstration ?**
 - **Observation pertinente à quelle(s) étape(s) de l'apprentissage?**
 - **Quels mécanismes internes sont impliqués ?**
- **Comportement imitatif des jeunes enfants**
- **Double postulat**
 - **Efficacité du modèle**
 - **Difficulté d'exprimer verbalement l'organisation spatio-temporelle de l'action**

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

- **Expliquer la manière dont un humain s'intègre à la culture, s'approprie ses valeurs, acquière des comportements nouveaux**
- **Possibilités d'apprendre par simple observation**
- **Passage de l'observation à la reproduction indirect, médié par une **représentation symbolique** du modèle/ Rôle prépondérant des médiateurs représentationnels (images verbales, motrices) qui se construisent par association**
- **Constitution donc d'une représentation interne du comportement à (re-)produire**

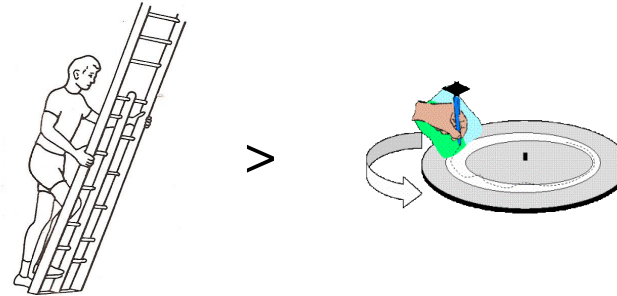


Apprentissage par observation - Illustration 1

Burwitz, 1975

1. Rôle positif du modèle

2.

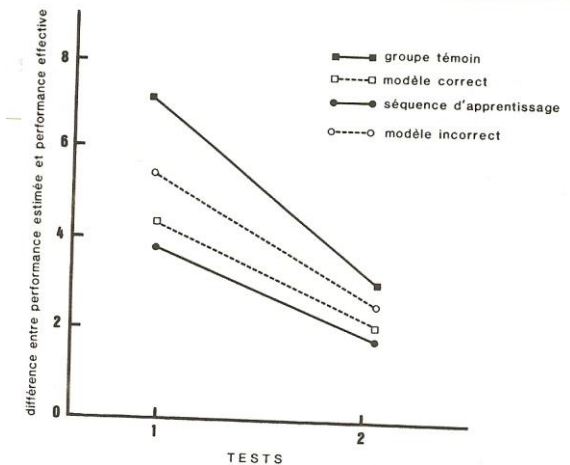


3. « Shoot the moon » / « Roll up »

- stratégie incorrecte
- stratégie correcte
- Témoin
- Séquence d'apprentissage
- 10 essais entre test-1 et test-2



$P_{\text{théorique}} - P_{\text{effective}}$



Apprentissage par observation - Illustration 2

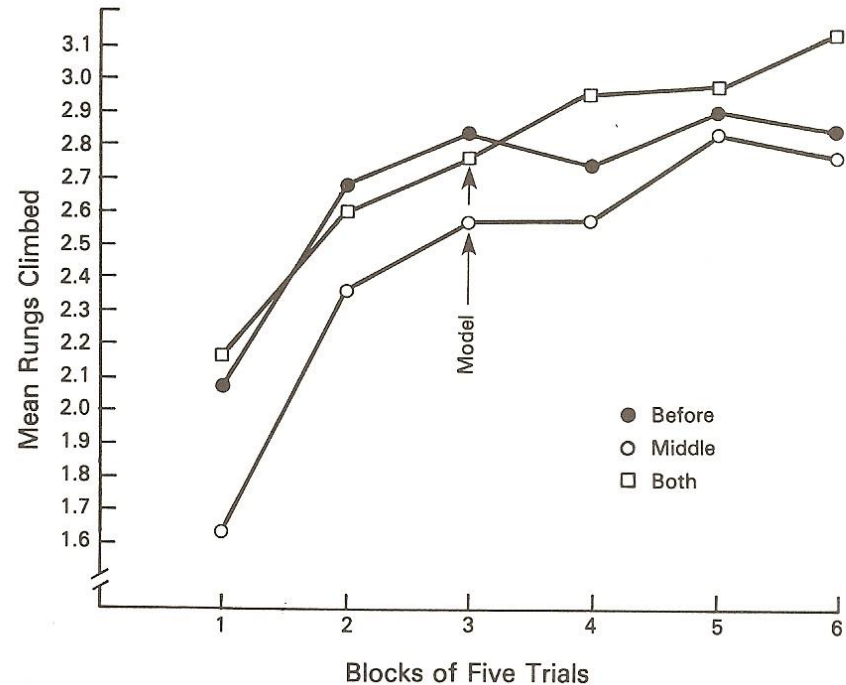
Landers, 1975

Echelle de Bachman

3 distributions de la démonstration



- **BEFORE** et **BOTH** plus efficace (intérêt du modèle en début d'Ap)
- Amélioration de tous les groupes (modèle pas indispensable)
- **BOTH** meilleur que **MIDDLE** (consolidation et stabilisation)



Apprentissage par observation - Conclusion

La démonstration est efficace en général

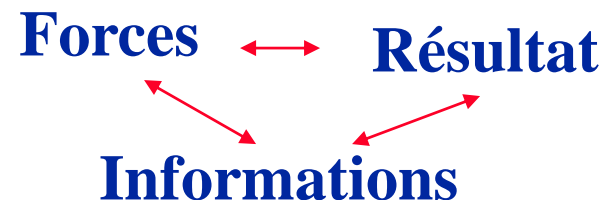
Son efficacité dépend de l'habileté

- **H. Complexes: Efficace en début et en cours de pratique**
- **Si beaucoup d'information -> découper la démonstration**

Niveau d'expertise influence l'efficacité: modèles compétents

Pb posés par la démonstration:

- **Passage de la référence externe -> référence interne (d'autant plus important que l'élève est jeune et débutant)**
- **Problème des moyens à mettre en œuvre**



Neurones miroirs (*Rizzolati*)

- Reconnaissance
- Empathie
- Imitation
- Coopération



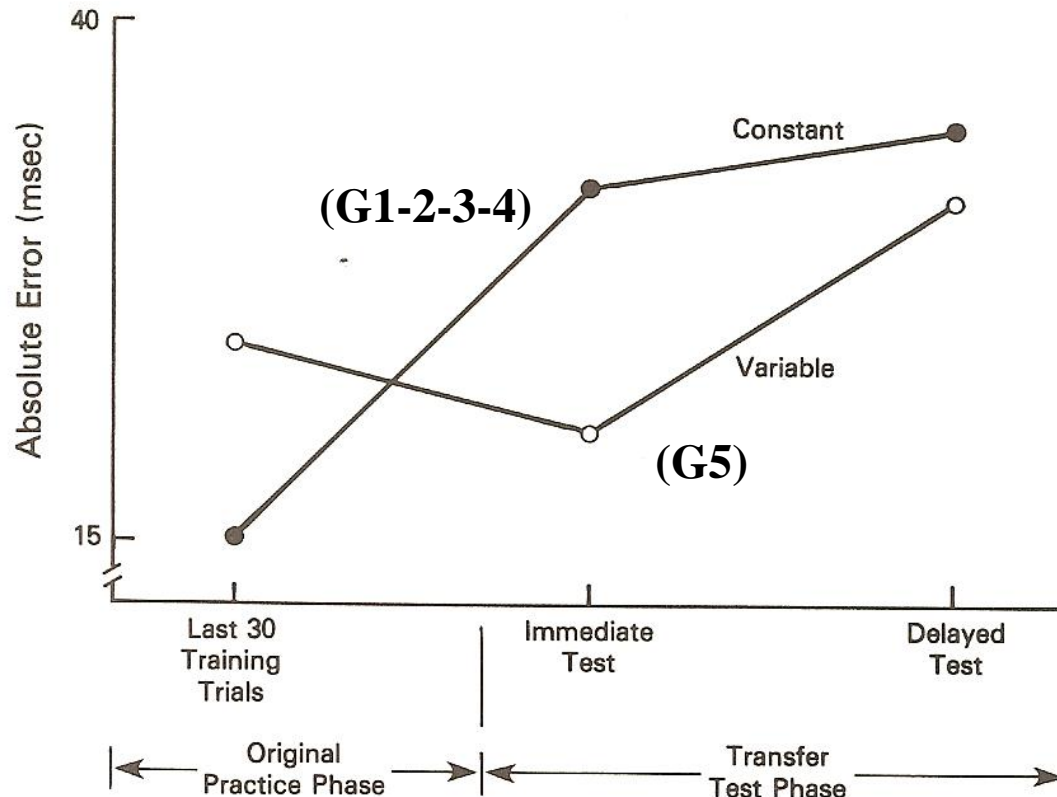
4.4. Variabilité des apprentissages

- **L'introduction de la variabilité au cours de l'apprentissage améliore-t-elle la performance ?**
- **La plupart des habiletés présentent une certaine variabilité intrinsèque (incertitude spatiale, temporelle, événementielle)**
- **La variabilité est inhérente à la performance humaine**
- **Robot \neq être humain**
 - **variabilité cognitive**
 - **variabilité dans les commandes motrices**
 - **variabilité neuro-musculo-squelettique**
- **Cette variabilité naturelle doit-elle être encouragée/neutralisée?**

Variabilité App: Illustration-1

McCracken & Stelmach, 1977

Tâche de Fitts (atteinte d'une cible en 200 ms)



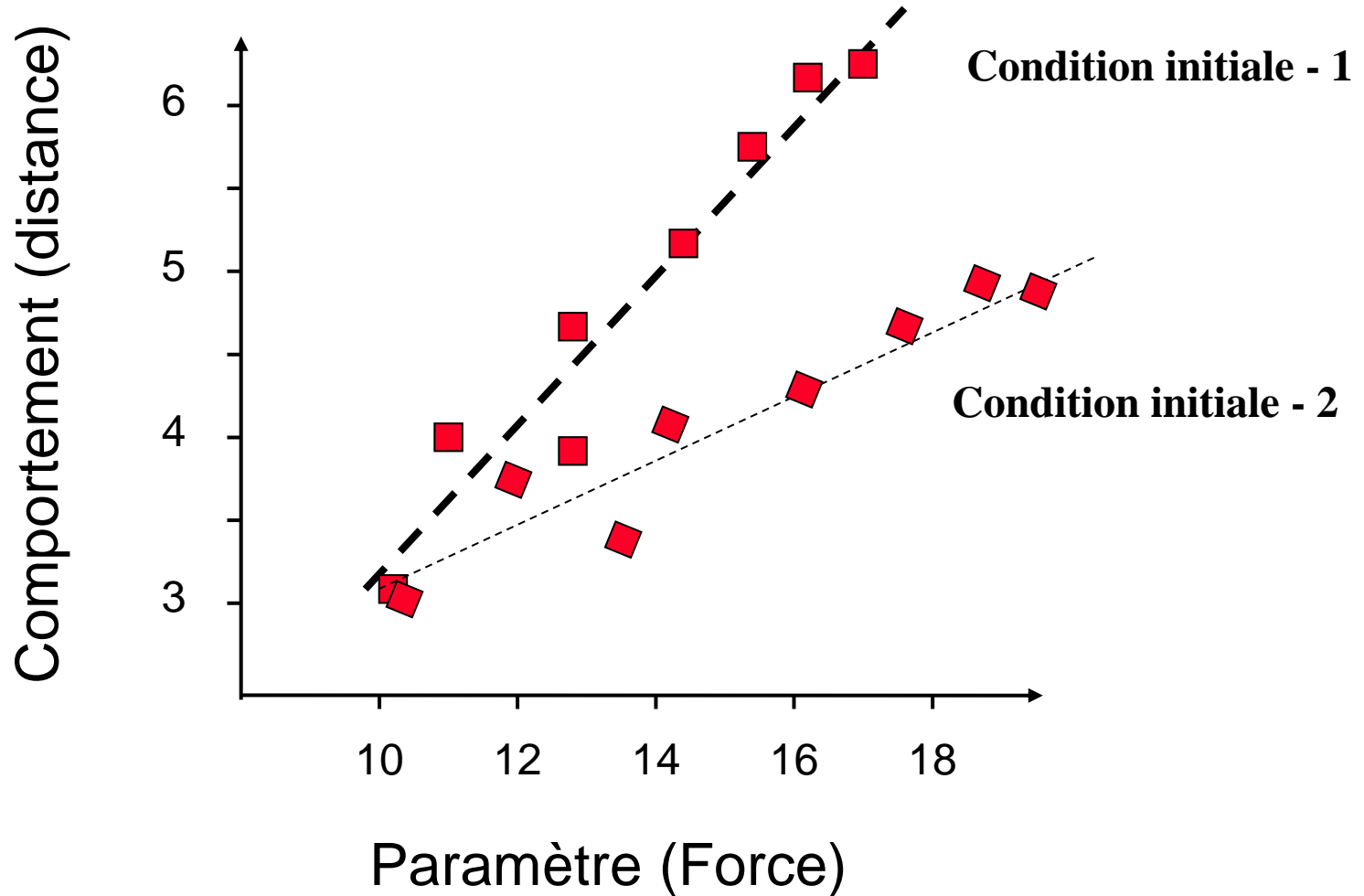
Constant: - 15 cm (G1)
- 35 cm (G2)
- 60 cm (G3)
- 65 cm (G4)

Total: 300 essais

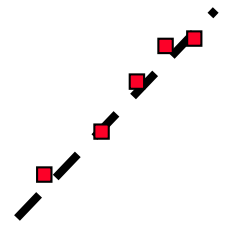
Variable: (G5)
au sort parmi 15-30-60-65 cm
Total: 300 essais

Transfert 1: 50 cm
Transfert 2: 50 cm

Construction d'une règle générale



Conclusion - 1

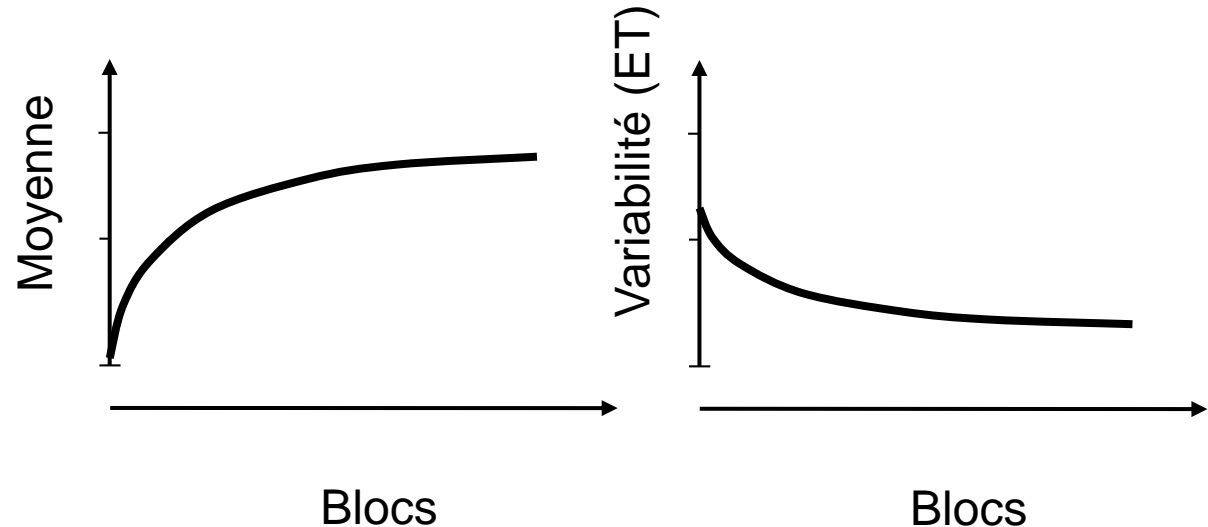


- **Mise en relation au cours de l'apprentissage des paramètres A (Force) et B (Distance)**
- **Construction d'une règle générale et pas simplement d'une relation particulière A-B**
- **Règle générale qui permet de paramétrer correctement chaque paramètre A en fonction de chaque paramètre B**
- **Stockage progressif en mémoire de la règle générale**
- **Gestion de la nouveauté - Efficacité dans les situations inédites**
- **La diversification des conditions de pratique contribue à augmenter le nombre et la précision des règles générales**
- **Elle favorise le transfert d'apprentissage**

- **Apprentissages variés: constructions de règles génériques et non de réponses spécifiques**

Attention !

En général, moyenne de la performance et stabilité de la performance augmentent de concert

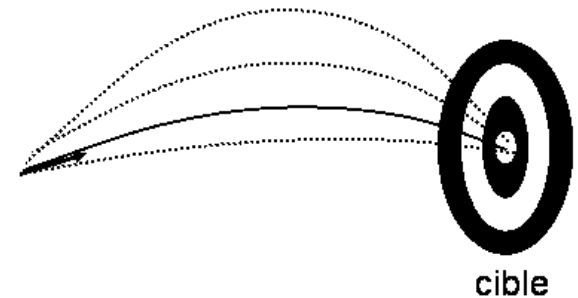
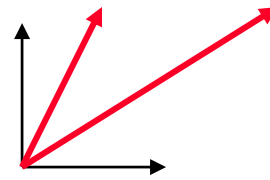


Performance stable # Geste stable !

Redondance au lancer de fléchettes: Illustration-2

Müller & Loosch, 1999

- 2 paramètres: Vitesse et Angle d'envol
- Infinité de combinaison angle / vitesse
- **REDONDANCE**
- Compensation Angle / Vitesse
- Augmentation de la variabilité du geste
- Performance finale stable
- Apprentissage: Exploitation de la redondance
- Apprentissage de la compensation
- Apprentissage d'un ensemble de solutions





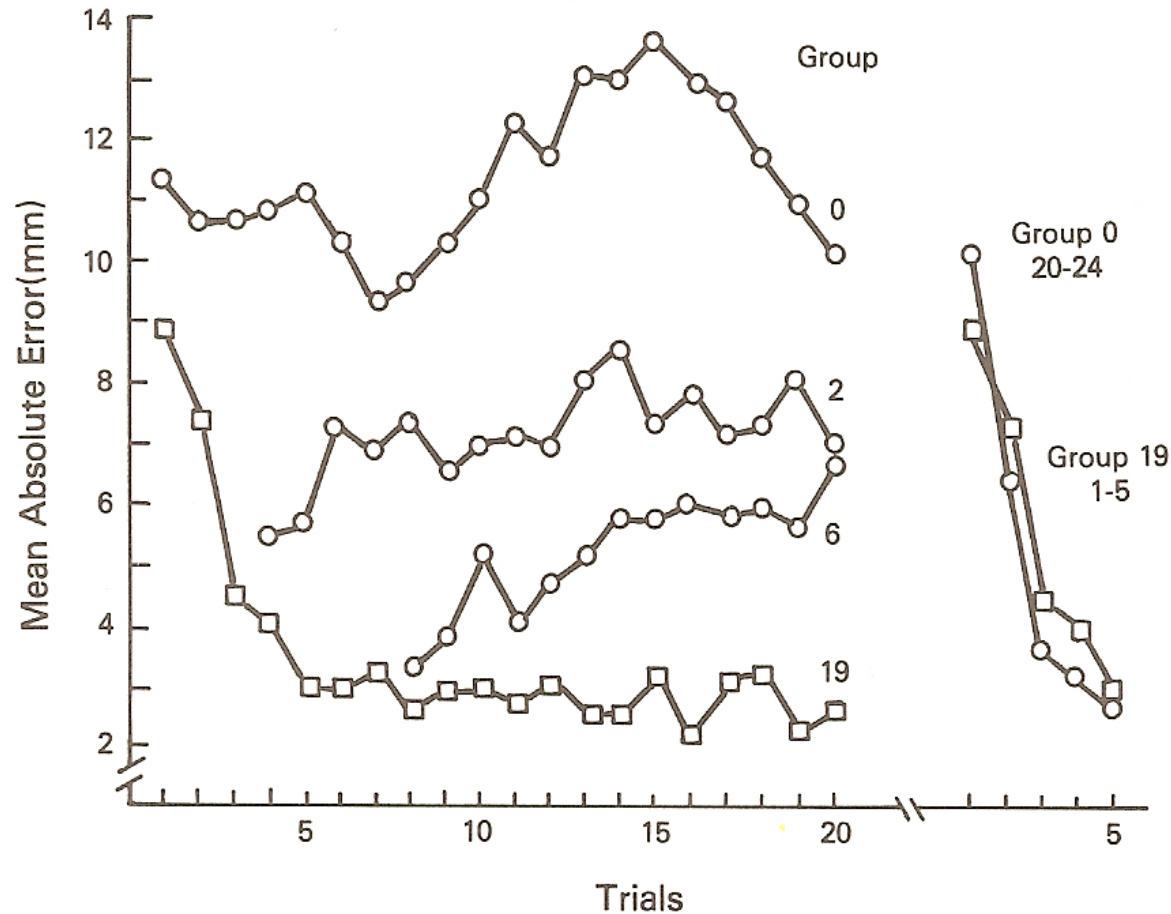
4.5. Connaissance du résultat et apprentissage

- **La connaissance du résultat (CR) est un feedback externe, généralement verbal ou visuel, sur l'atteinte du but.**
- **Elle peut être très spécifique / détaillée ou très globale.**
- **Elle peut être complète ou incomplète**
- **Elle peut être immédiate / différée**
- **La CR améliore-t-elle l'apprentissage ?**

Illustration: Tâche de pointage

Bilodeau et al., 1959

- G0: pas de CR**
- G2: CR après 2 essais**
- G6: CR après 6 essais**
- G19: CR à chaque essai**



- R1 - CR améliore Ap**
- R2 - CR indispensable**

V. Les théories de l'apprentissage

V. Trois théories majeures

- **Théorie cognitive de l'apprentissage**
- **Théorie dynamique de l'apprentissage**
- **Théorie écologique de l'apprentissage**

V.1. Théorie cognitive de l'apprentissage

- **Théorie de la programmation motrice**
- **Changements neuro-musculaires: conséquence des changements cognitifs**
- **Rôle essentiel des feedbacks, mais aussi du modèle interne du mouvement**
- **Evolution progressive du contrôle en boucle fermée vers un contrôle en boucle ouverte**

DEBUTANT

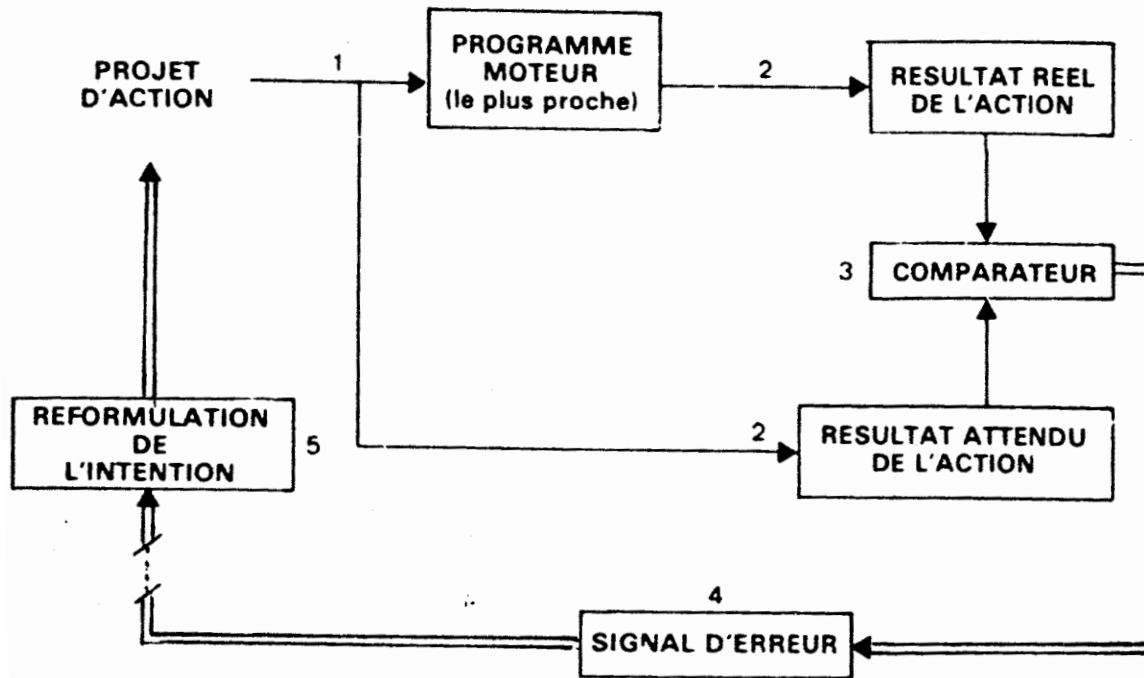


Fig. 1. *Modèle d'exécution en boucle fermée chez le débutant.* La prise en compte du signal d'erreur est utilisée a posteriori pour reformuler l'intention puis le projet d'action.

- **Recherche en mémoire motrice du programme moteur le plus proche**
- **Comparaison entre le résultat réel et l'intention d'action**
- **Finalité difficilement objectivable dans le cas des morphocinèses**
- **Conservation progressives au cours de l'AP des effets sensoriels du geste**

EXPERT

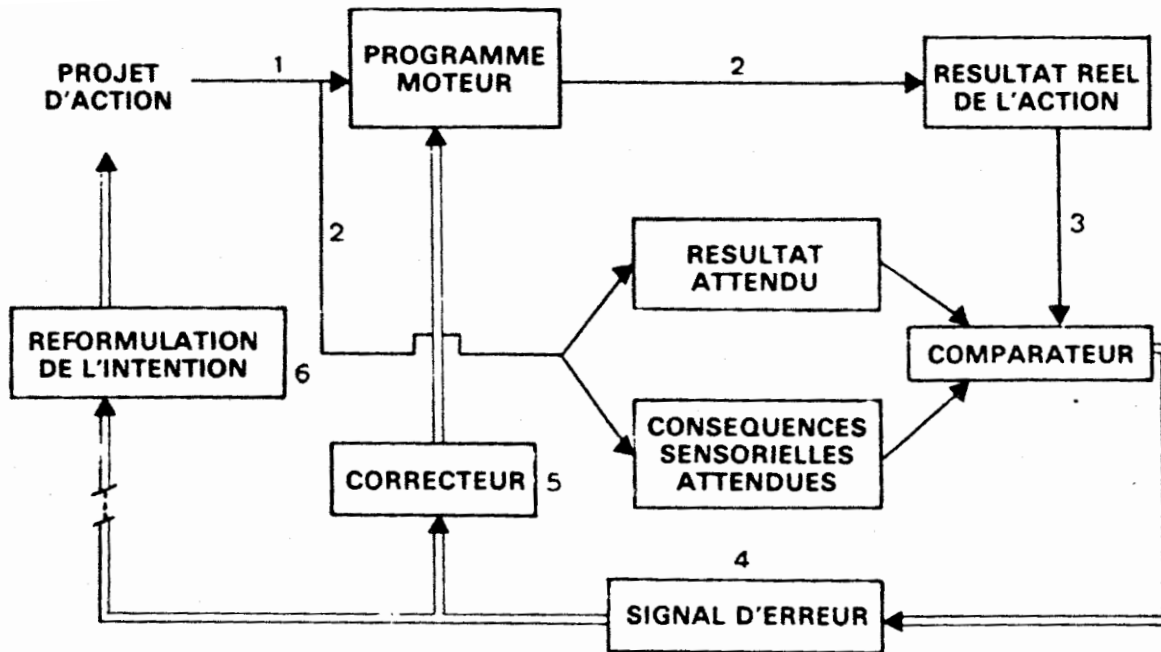


Fig. 2. *Modèle d'exécution en boucle fermée chez l'expert.* La prise en compte du signal d'erreur s'effectue : en continu pendant l'exécution du mouvement en vue d'un ajustement en précision (5) ; a posteriori en vue d'une reformulation de l'intention puis du projet d'action (6).

Prédiction des effets attendus sous une double forme :

- résultat attendus
- conséquences sensorielles attendues

- Le mouvement est piloté par le sujet
- Le contrôle est assuré par un mécanisme en boucle
- rétroactions pertinentes quand prévues par le sujet
- Elaboration progressive du geste nourries par ces rétroactions
- Rôle positif de l'erreur au cours de l'apprentissage
- Anticipation et correction pendant le mouvement
- Anticipation du résultat avant le résultat (ex javelot)

V.2. Théorie dynamique de l'apprentissage

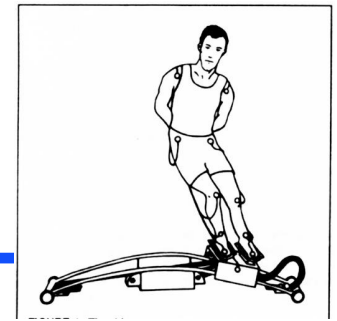
- **Théorie de la coordination motrice**
- **S'intéresse à la sensori-motricité plus qu'aux mécanismes cognitifs**
- **Théorie non hiérarchique de l'apprentissage - Système nerveux joue un rôle mais pas le seul composant**
- **Théorie des attracteurs - Emergence - Stabilisation**

Synchronisation spontanée par couplage

Steven Strogatz: How things in nature tend to sync up

<http://www.youtube.com/watch?v=aSNrKS-sCE0&feature=related>

Etapes de l'apprentissage ex simulateur de ski - Bernstein, 1967



1

- gel (réduction) des couplages articulaires
 - rigidification du corps (simplifie le problème du contrôle)
 - forte corrélations spatio-temporelles entre les articulations
 - pendule inversé (instable)



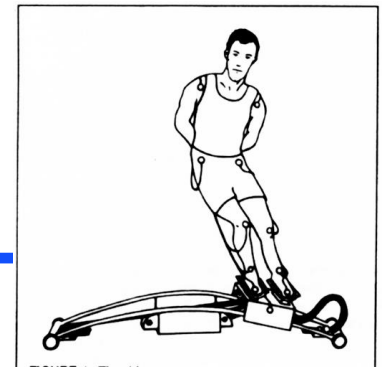
2

- libération des couplages articulaires
 - augmentation des mouvements angulaires
 - diminution des corrélations entre les mouvements / indépendance
 - pendule simple (stable)

3

- utilisation des phénomènes réactifs - efficacité
 - exploitation des forces passives (restauration d'énergie)
 - **stabilisation des couplages efficaces**
 - pendule amorti

Les coordinations motrices: Concept d'attracteur



1

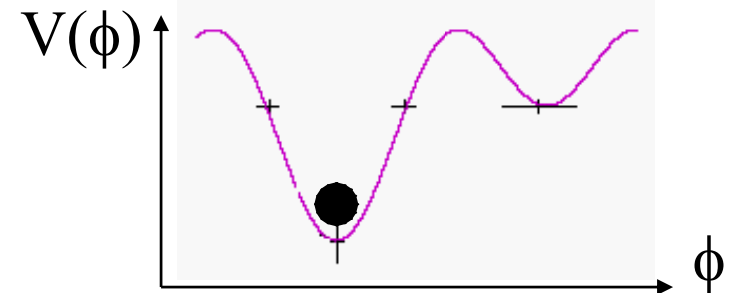
- Pas de coordination préférée, pas de couplage articulaire stable
- Désordre moteur - Forte variabilité

2

- Apparition des coordinations spontanées sous l'influence de contraintes (diapo suivante) - Ordre moteur - Attracteur spontané dans l'espace des coordinations-

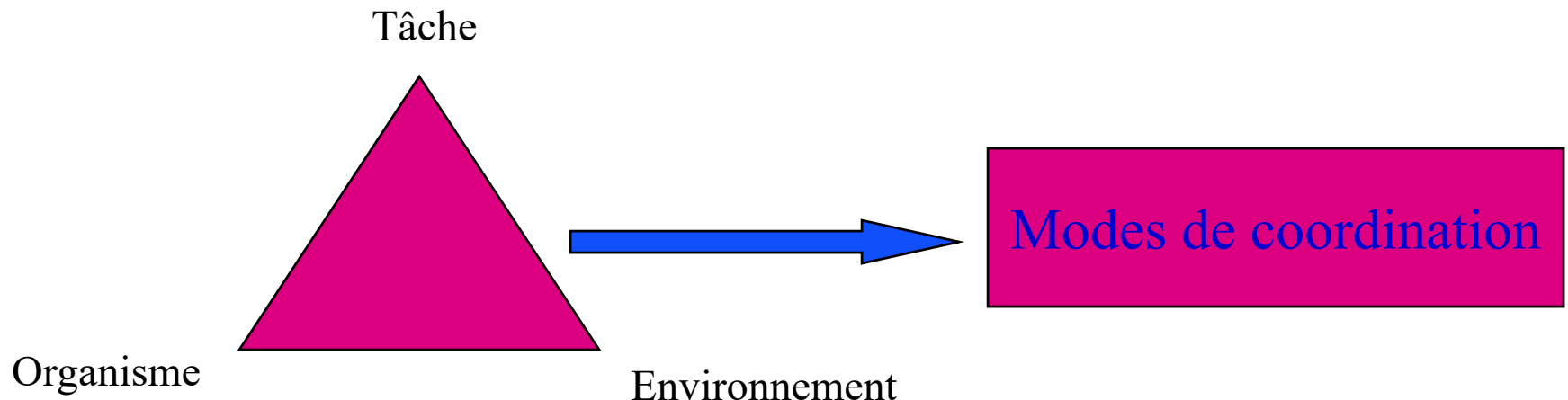
3

- Stabilisation / Renforcement des attracteurs - Résistances aux fluctuations extérieures



Contraintes sur la coordination

- L'apprentissage d'une nouvelle coordination se fait sous l'influence de contraintes
- Système de contraintes (Newell, 1985), incluant les propriétés de:
 - l'environnement (forces externes, température, surfaces de support, ...)
 - l'organisme (caractéristiques anthropométriques, motivation, ...)
 - la tâche (but)



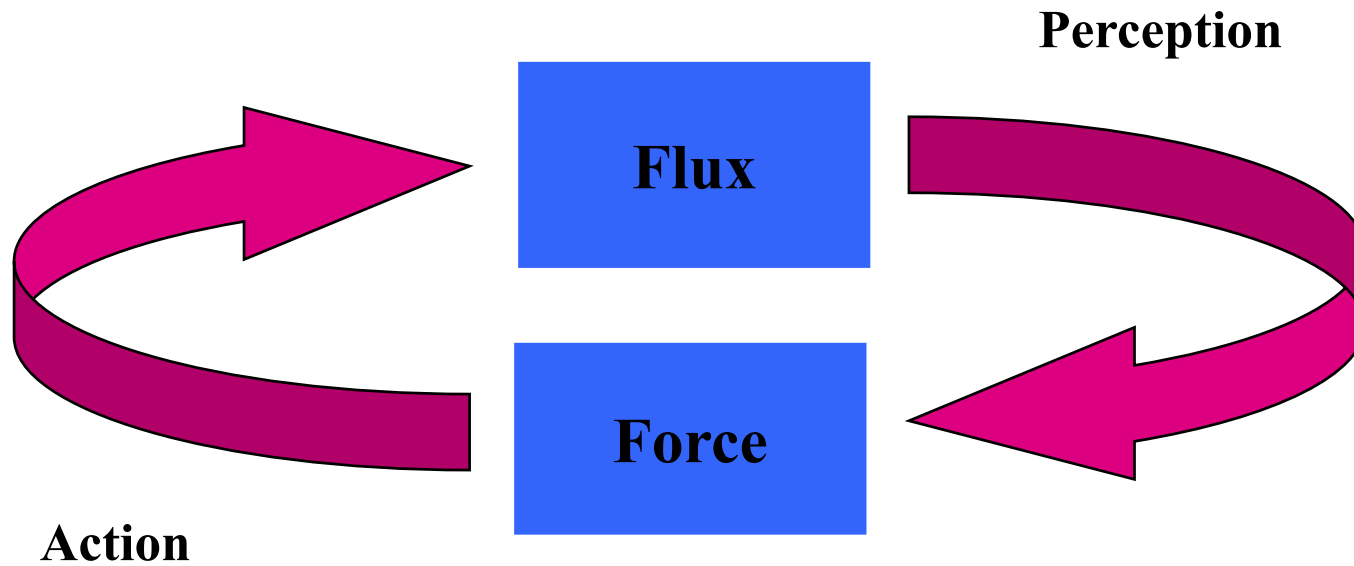
Dynamique de l'apprentissage

- Dynamique intrinsèque
- Nouvelle dynamique à apprendre
- Compétition / coopération entre la dynamique intrinsèque et la dynamique à apprendre
- Proximité des deux dynamiques -> Apprentissages plus ou moins difficiles

V.3. Théorie écologique de l'apprentissage

- **Théorie de Gibson (1979)**
- **Met l'accent sur le couplage naturel entre l'action et la perception**
- **L'apprentissage renforce le couplage action-perception**

Le couplage Action - Perception

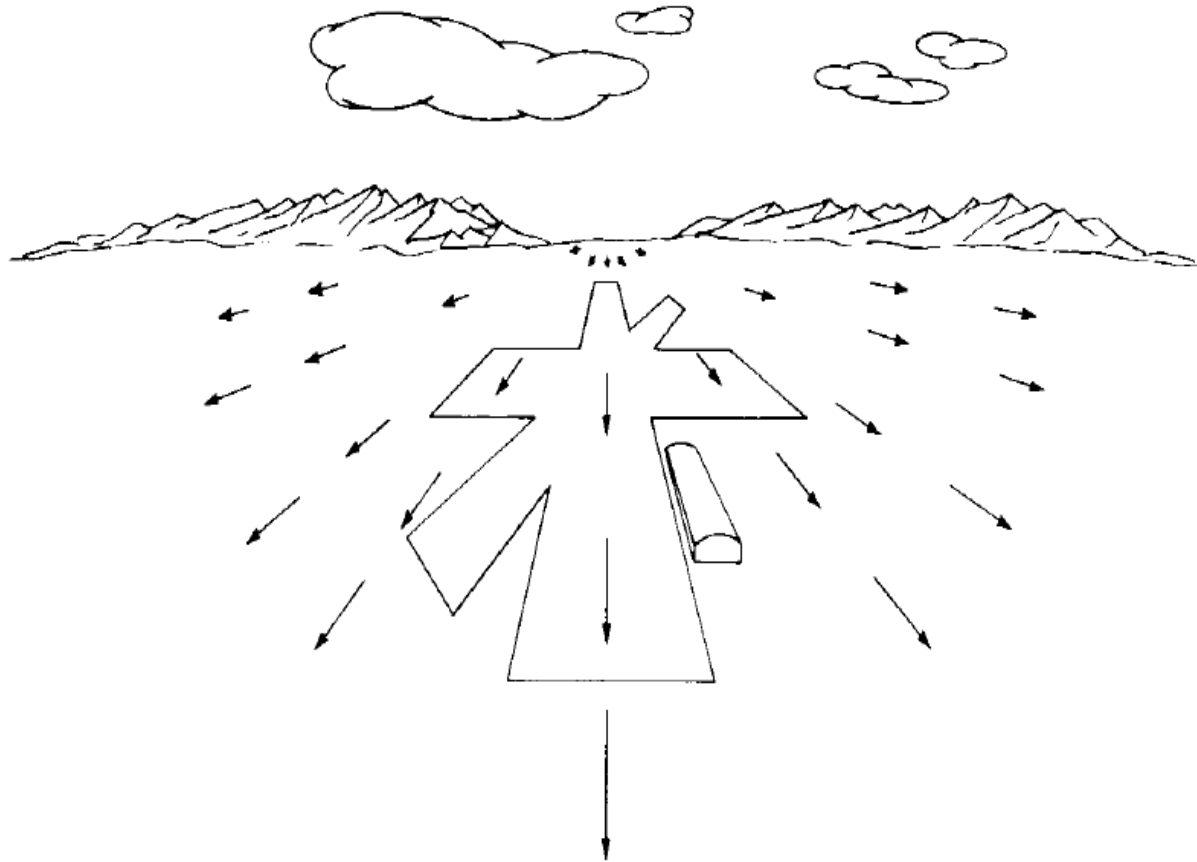


Les conséquences perceptives de l'action

Les conséquences motrices de la perception

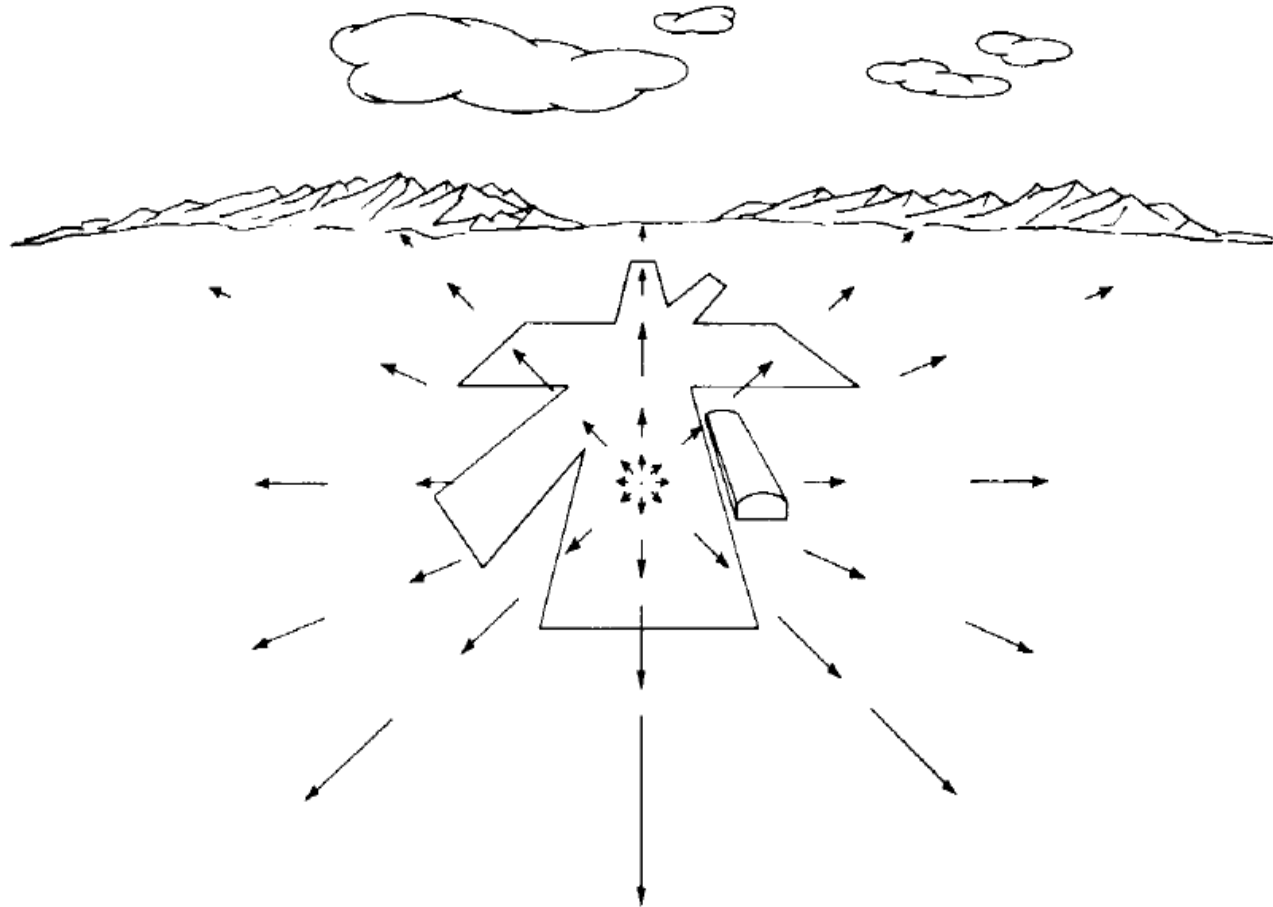
Le flux optique global - 1

Gibson (1979)

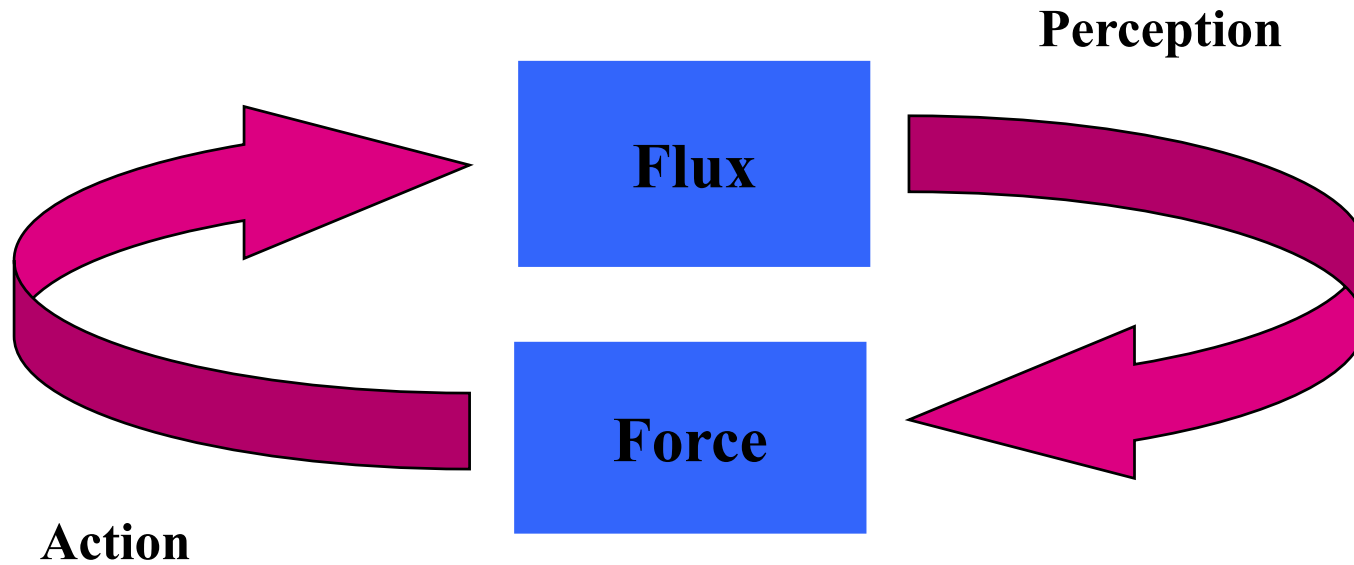


Le flux optique global - 2

Gibson (1979)

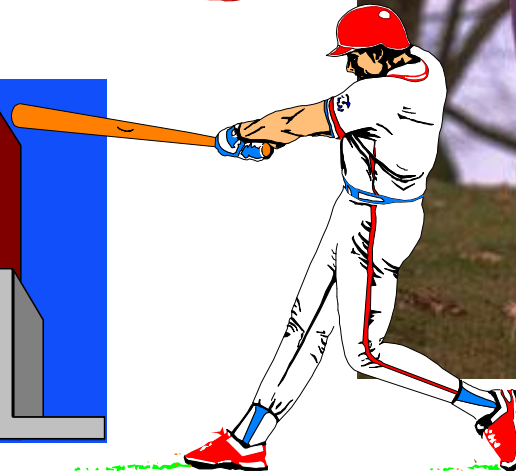
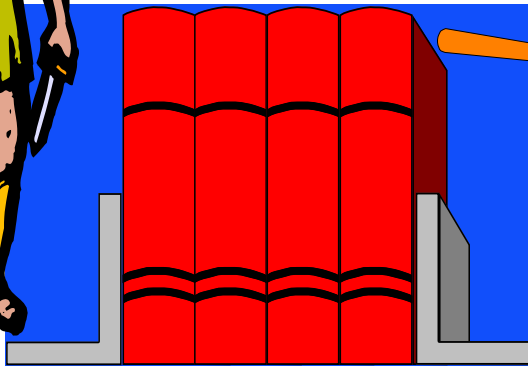
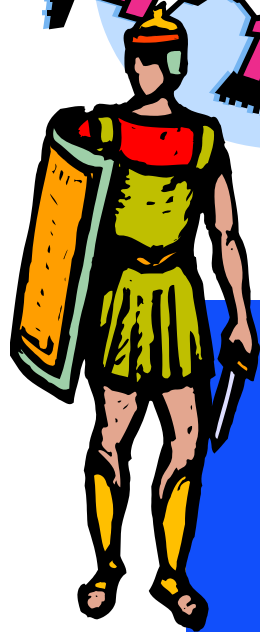


Apprentissage:

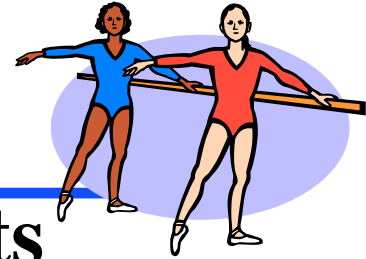


- 1 - Découverte du couplage Force - Flux
- 2 - Stabilisation du couplage Force - Flux

FIN



HUMANITIES



- ◆ **Help focus on the aesthetic aspects of movement, such as through art, literature, and music**
- ◆ **Art includes various forms of dance and sculptures and frescos of athletes and human movement.**
- ◆ **Literature can include sports biographies as well as analytical critiques about sport and physical activity.**
- ◆ **Music can accompany human movement to enrich the experience.**

