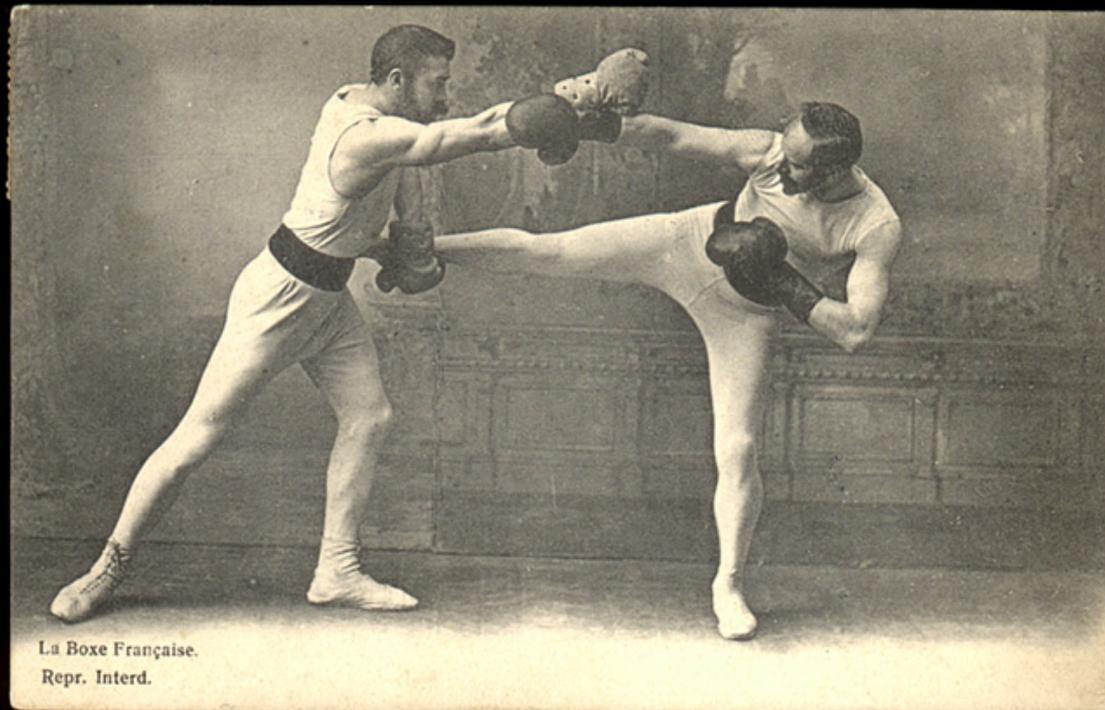


# Contrôle moteur

---



Yves Kerlirzin - Fabrice Mégrot

---

# Contrôle moteur

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur



Morphocinèse



Télécinèse

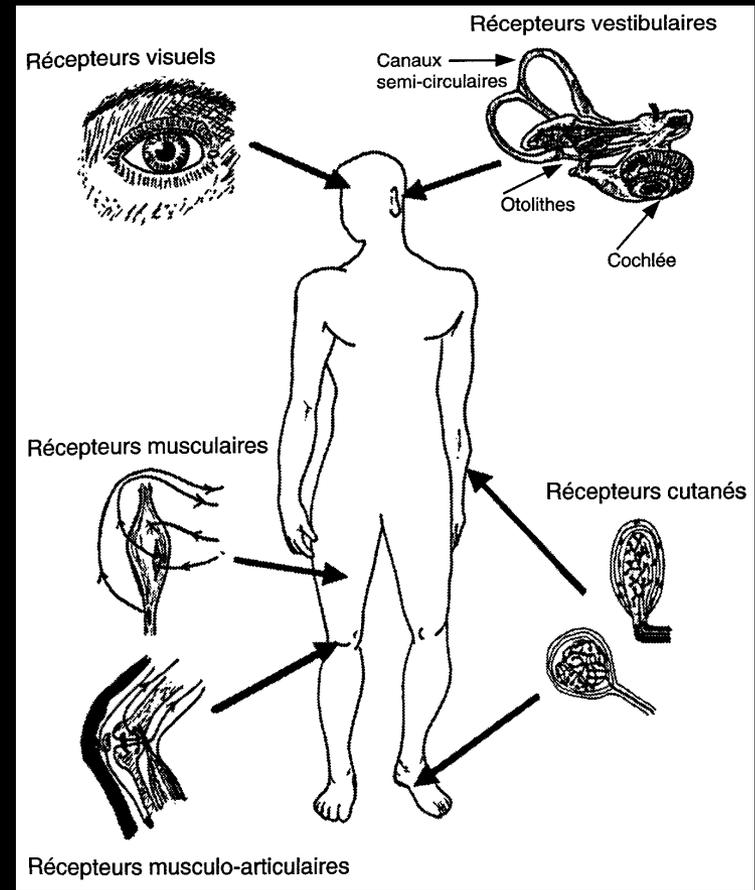
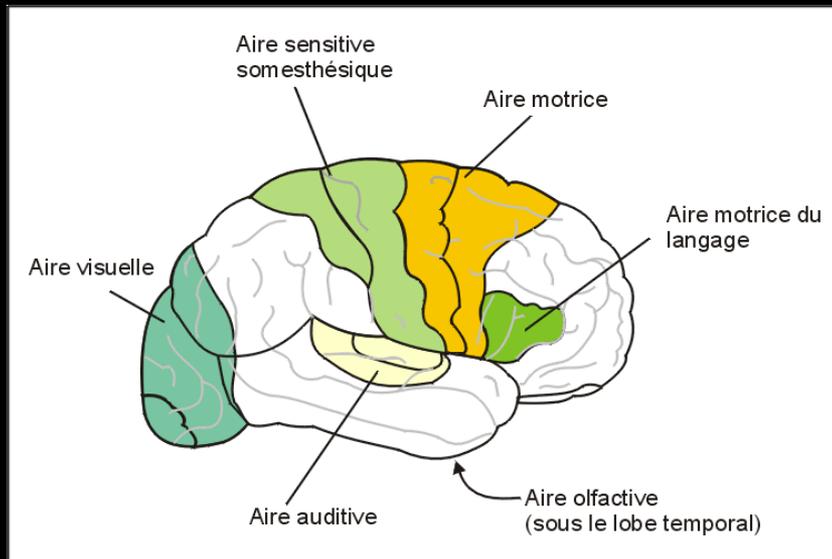
# Contrôle moteur

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

#### A) Une intermodalité sensorielle



Différentes aires du cerveau rendant compte d'une organisation fonctionnelle

D'après Berthoz, 1997

# Contrôle moteur

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

#### A) Une intermodalité sensorielle

#### B) Perception, action, prédiction



Anticipation, prédiction, correction chez le champion de ski (ici, François Simond. Avec l'aimable autorisation du Club des Sports de Flaine)

# Contrôle moteur

## Introduction

### I - Le mouvement

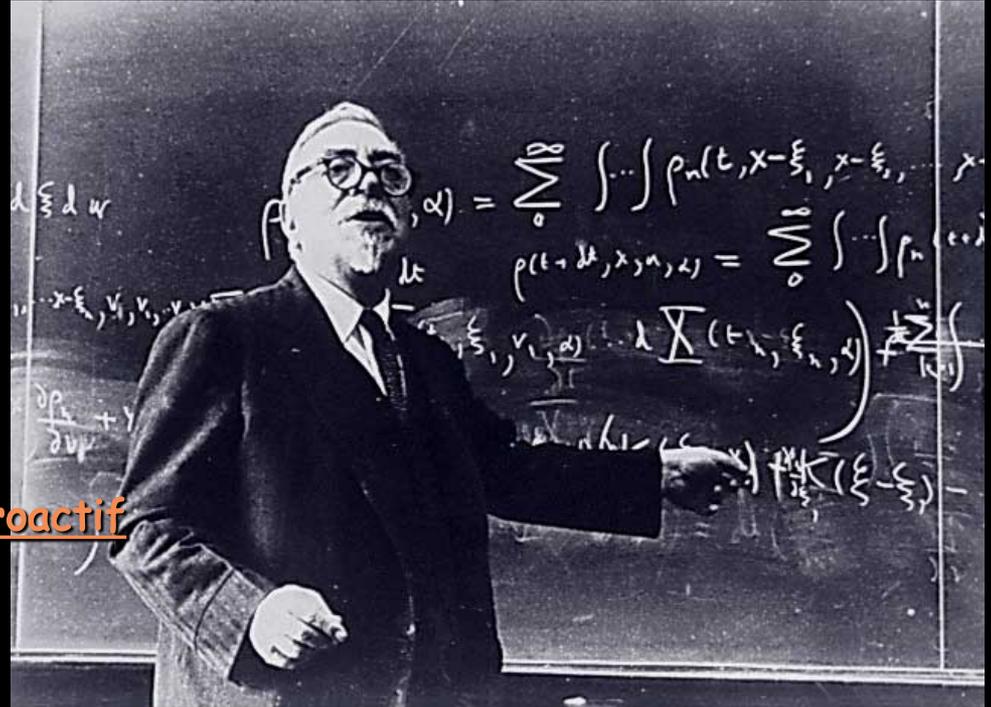
### II - Le contrôle moteur

A) Une intermodalité sensorielle

B) Perception, action, prédiction

C) La cybernétique

Systemes de contrôle proactif et rétroactif



Norbert Wiener (1894 - 1964)

# Contrôle moteur

## Mots clés

Contrôle  
proactif

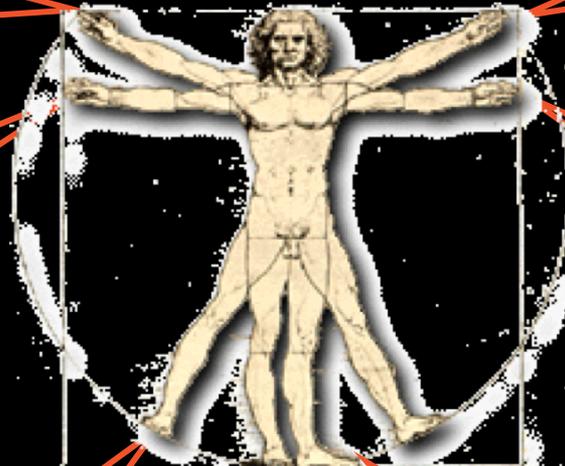
Valeur de  
référénc  
e

Boucle  
ouverte

Réduction  
d'écart

Contrôle  
rétroactif

Boucle  
fermée



# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

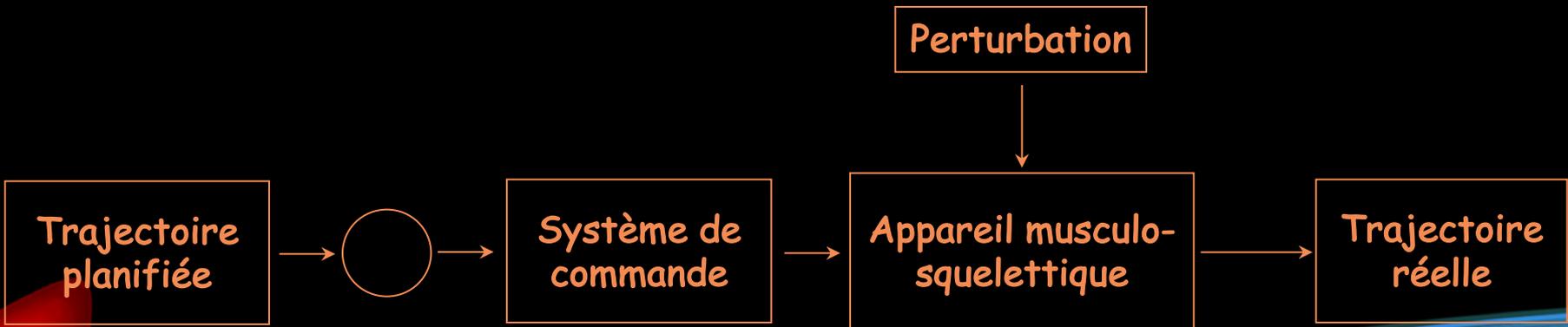
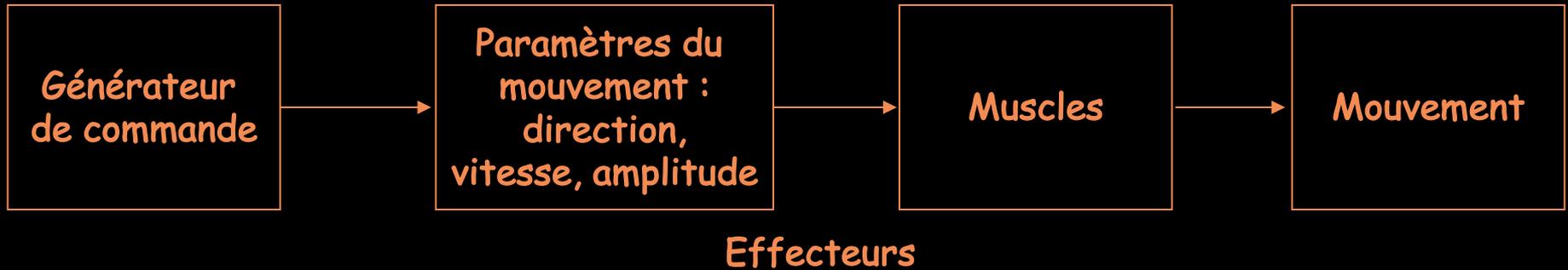
A) Une intermodalité sensorielle

B) Perception, action, prédiction

C) La cybernétique

D) Systèmes de contrôle proactif et rétroactif

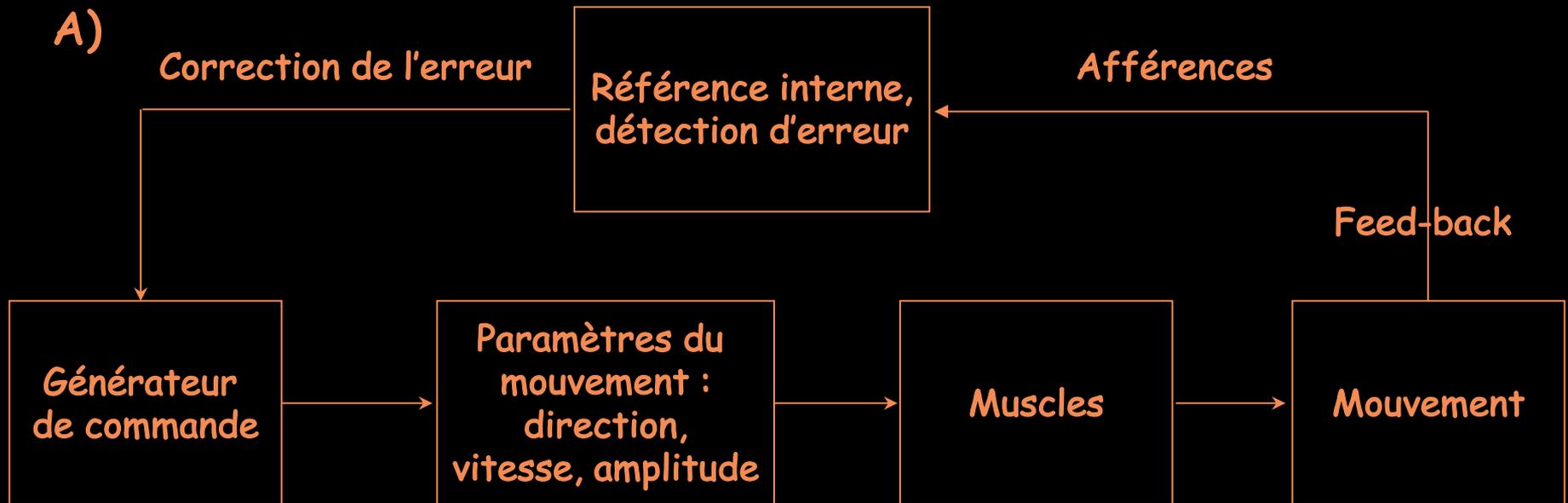
# Contrôle moteur



Système de contrôle en mode pro-actif (d'après Massion, 1997)

# Contrôle moteur

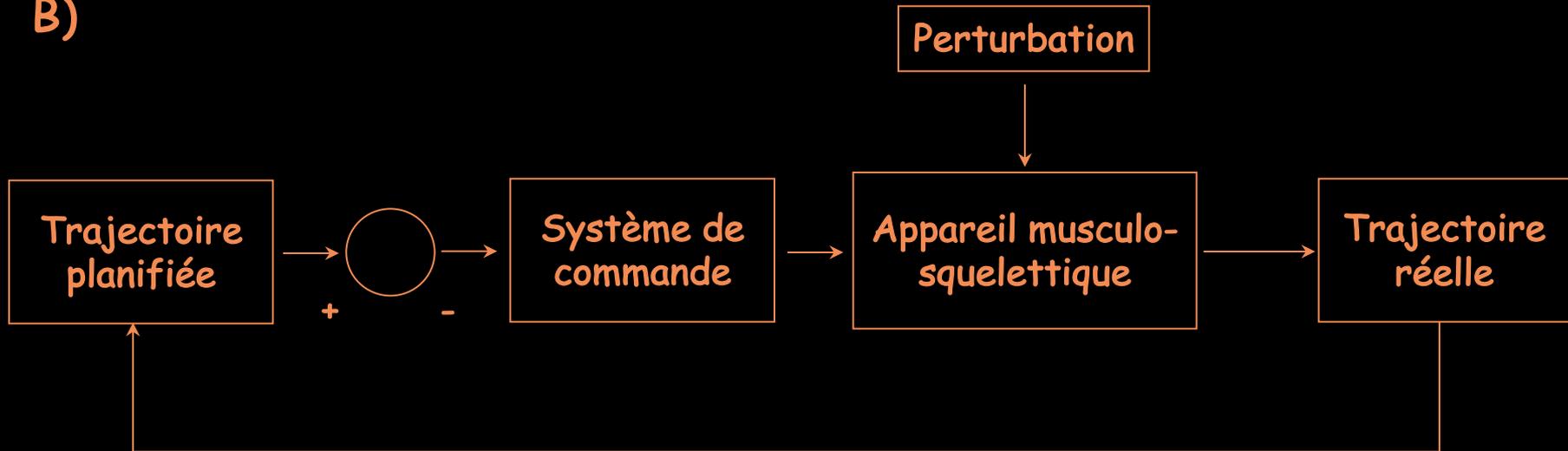
Le modèle en boucle fermée (2 modélisations possibles)



# Contrôle moteur

Le modèle en boucle fermée (2 modélisations possibles)

B)



Systeme de contrôle en mode rétroactif (d'après Massion, 1997)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

A) Une intermodalité sensorielle

B) Perception, action, prédiction

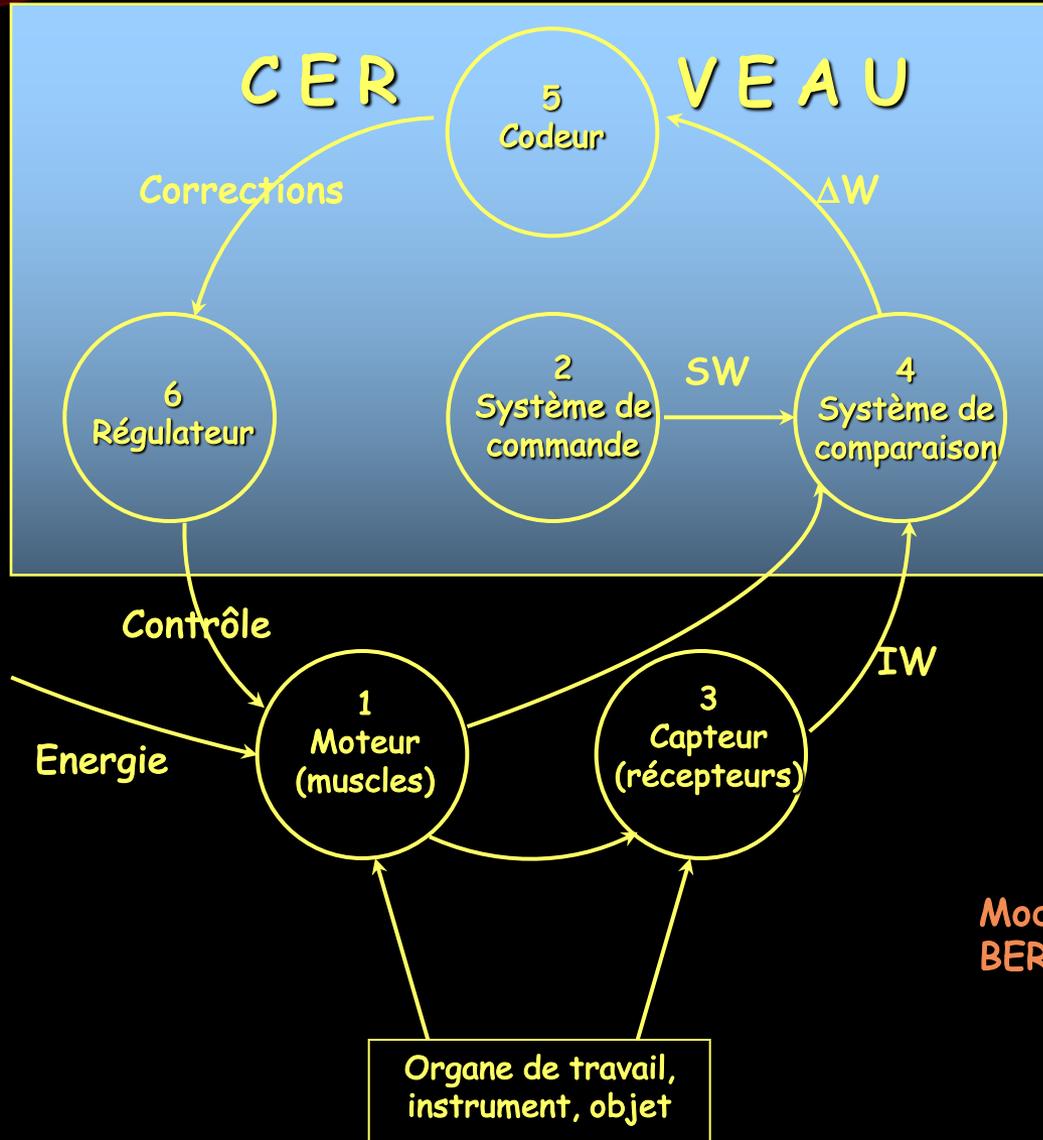
C) La cybernétique

D) Systèmes de contrôle proactif et rétroactif

E) Les différents modèles de contrôle rétroactifs

e1) Le modèle de Bernstein

# Contrôle moteur



Modèle en boucle fermée de BERNSTEIN (1967)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

A) Une intermodalité sensorielle

B) Perception, action, prédiction

C) La cybernétique

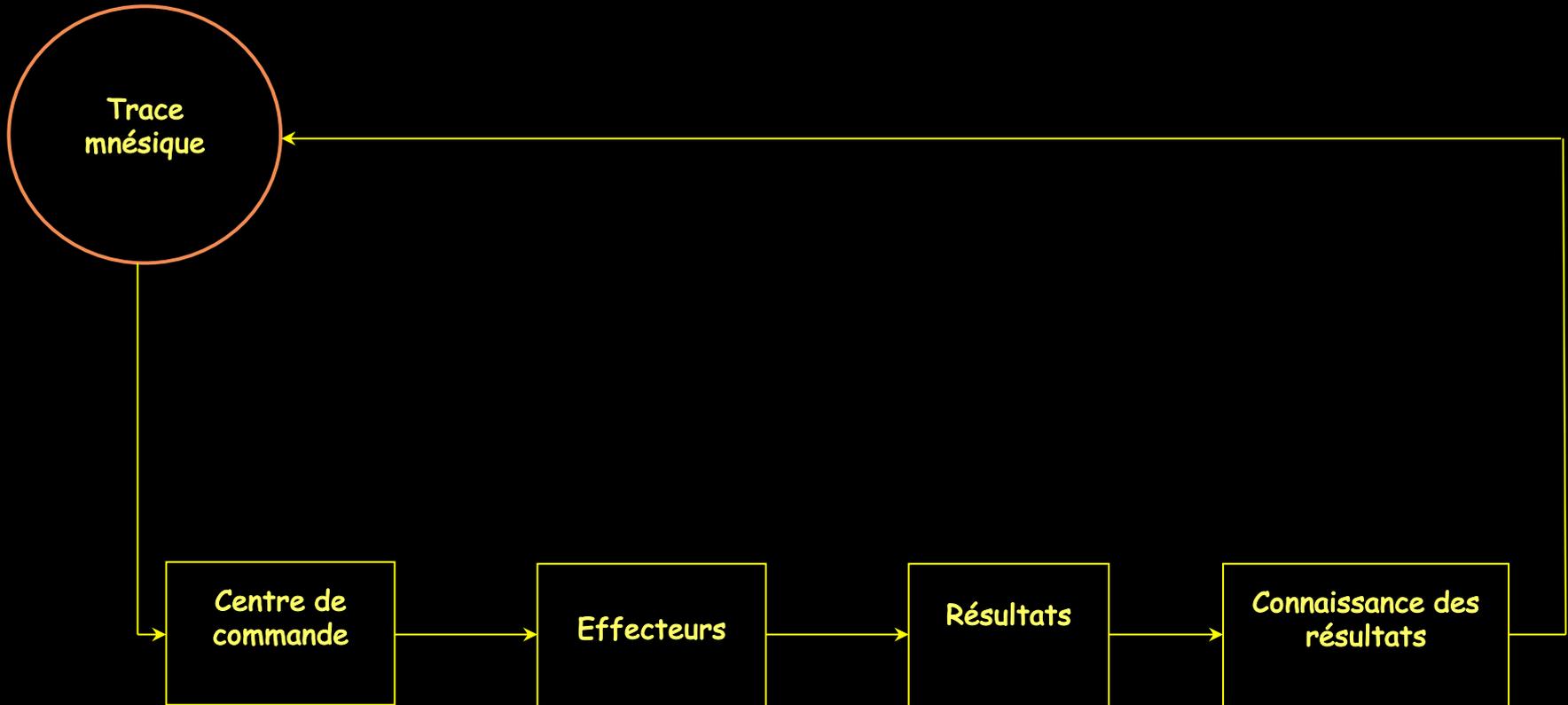
D) Systèmes de contrôle proactif et rétroactif

E) Les différents modèles de contrôle rétroactifs

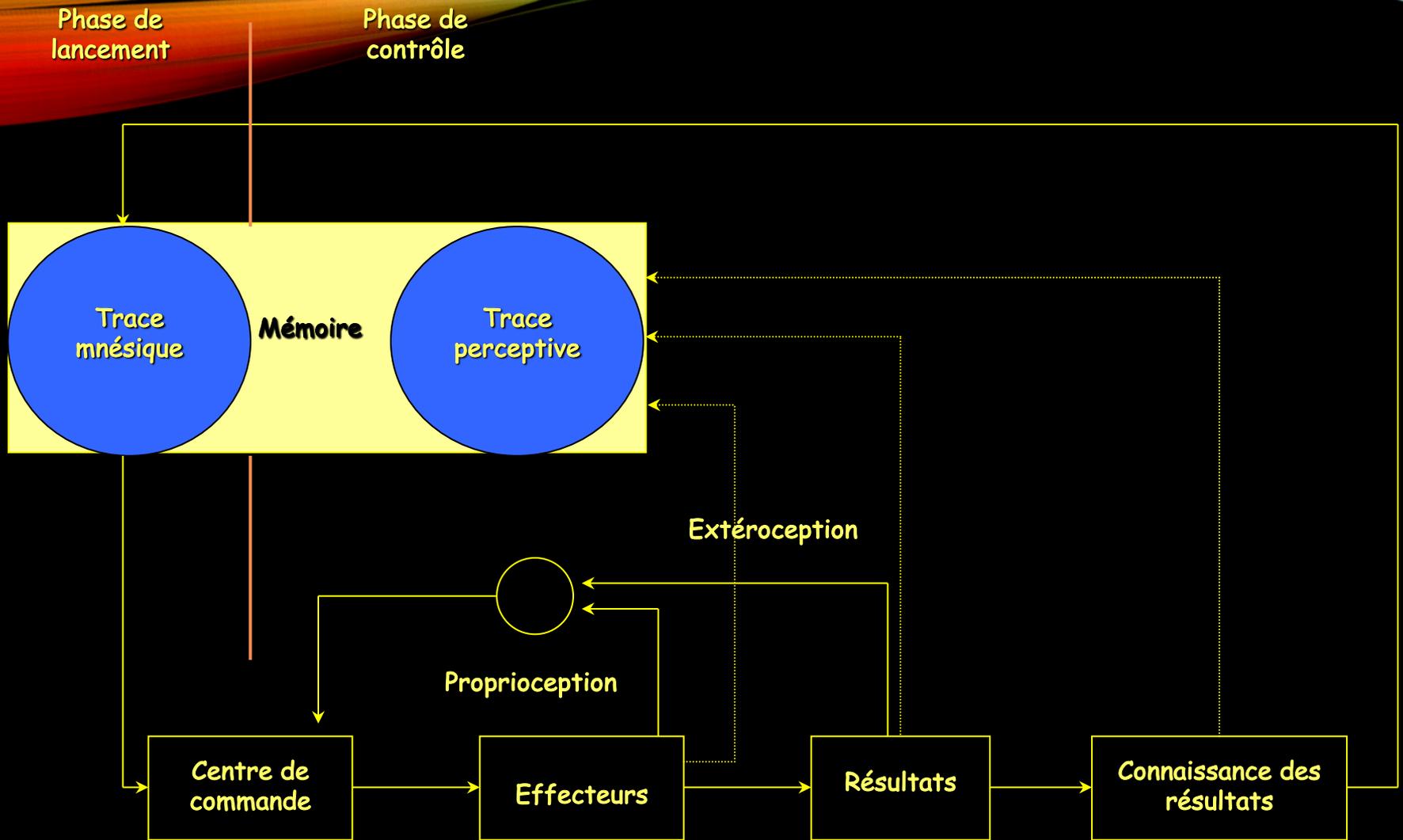
e1) Le modèle de Bernstein

e2) Le modèle d'Adams

# Contrôle moteur



Théorie en boucle fermée (closed-loop) d'Adams (1971)



Théorie en boucle fermée (closed-loop) d'Adams (1971)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

A) Une intermodalité sensorielle

B) Perception, action, prédiction

C) La cybernétique

D) Systèmes de contrôle proactif et rétroactif

E) Les différents modèles de contrôle rétroactifs

e1) Le modèle de Bernstein

e2) Le modèle d'Adams

e3) Le modèle de Schmidt

"Go"

Feed-back d'erreur

Exécutif

Identification  
du stimulus

Sélection de  
la réponse

Programmation de  
la réponse

Erreur

Référence

Muscles

Feed-back (sensations musculaires)

Mouvement

Feed-back (sensations de mouvement)

Environnement

Feed-back (sensations environnementales)

Une extension du  
modèle en boucle  
fermée pour le contrôle  
du mouvement (Schmidt,  
1999)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

A) Une intermodalité sensorielle

B) Perception, action, prédiction

C) La cybernétique

D) Systèmes de contrôle proactif et rétroactif

E) Les différents modèles de contrôle rétroactifs

e1) Le modèle de Bernstein

e2) Le modèle d'Adams

e3) Le modèle de Schmidt

e4) Le modèle de Paillard

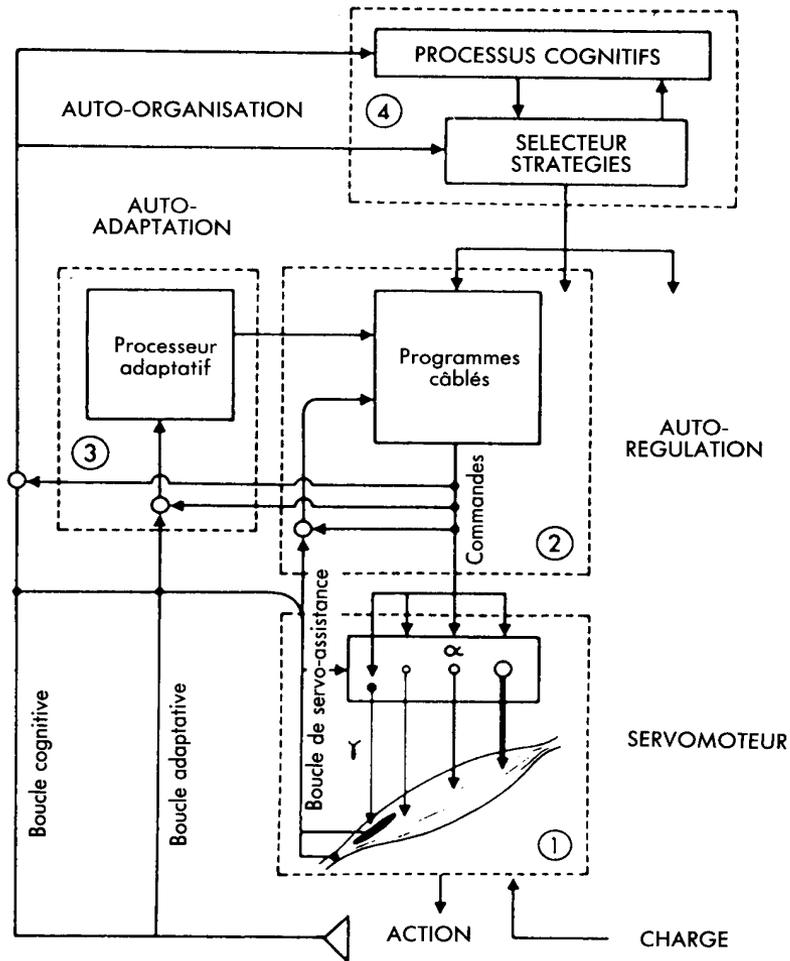


Fig. 7. — Représentation schématique des niveaux de contrôle de la performance motrice.  
 1 — Le servo-moteur avec son module de commande et ses boucles de régulation interne.  
 2 — L'auto-régulation des programmes câblés par les boucles de servo-assistance contrôlées par la sortie efférente.  
 3 — L'auto-adaptation qui met en jeu un processus adaptatif susceptible de modifier la structure interne du programme câblé.  
 4 — L'auto-organisation par les processus cognitifs intervenant dans les contrôles attentionnels de la performance et dans le choix des stratégies (Paillard, 1980).

Représentation schématique  
 des niveaux de contrôle de la  
 performance motrice. D'après  
 Paillard, 1980

# Contrôle moteur

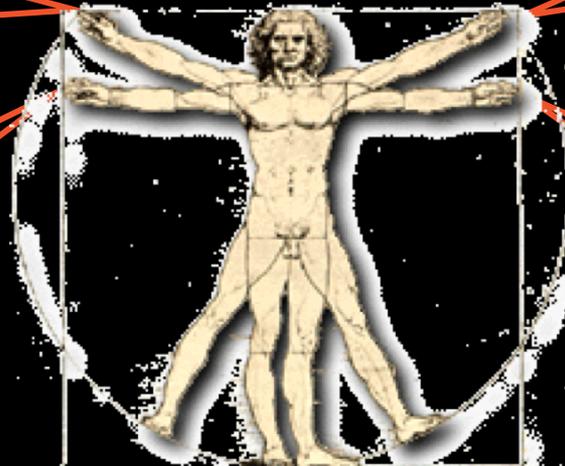
## Mots clés

Synergie

Degrés  
de  
liberté

Stratégie

Equivalence  
motrice



Flexibilité  
fonctionnelle

# Contrôle moteur

---

Introduction

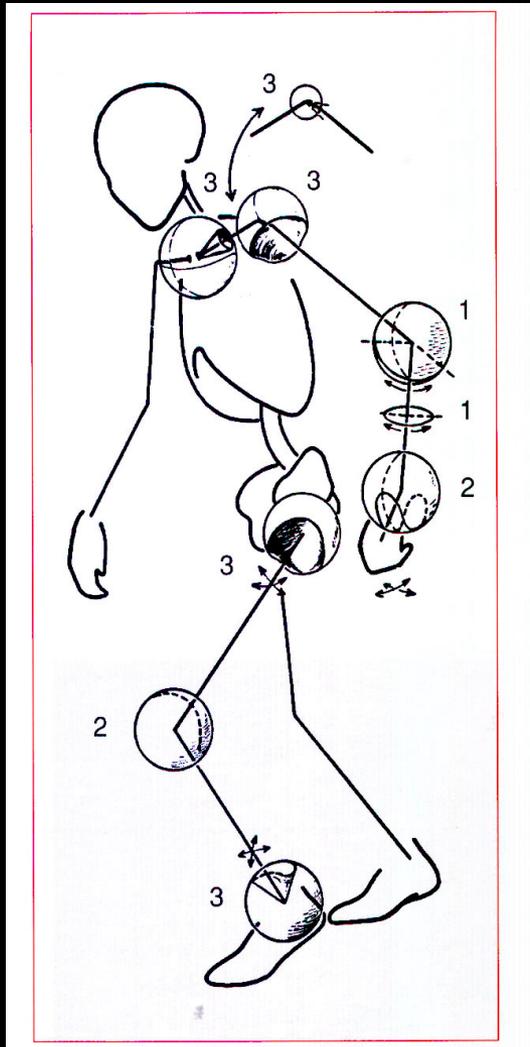
I - Le mouvement

II - Le contrôle moteur

III- Organisation et contrôle du mouvement

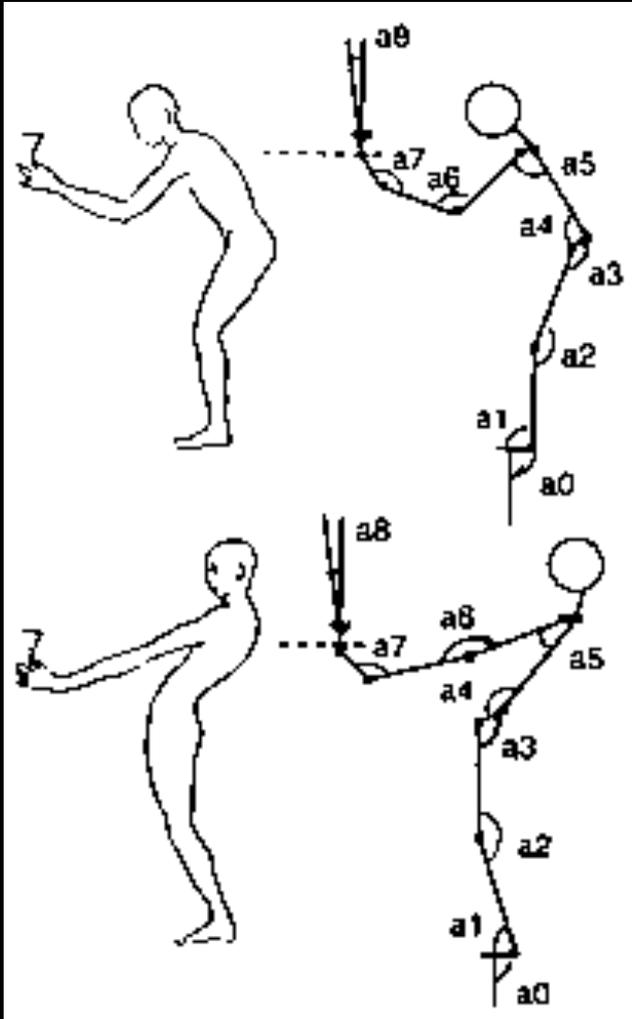
A) Notion de degrés de liberté

# Contrôle moteur



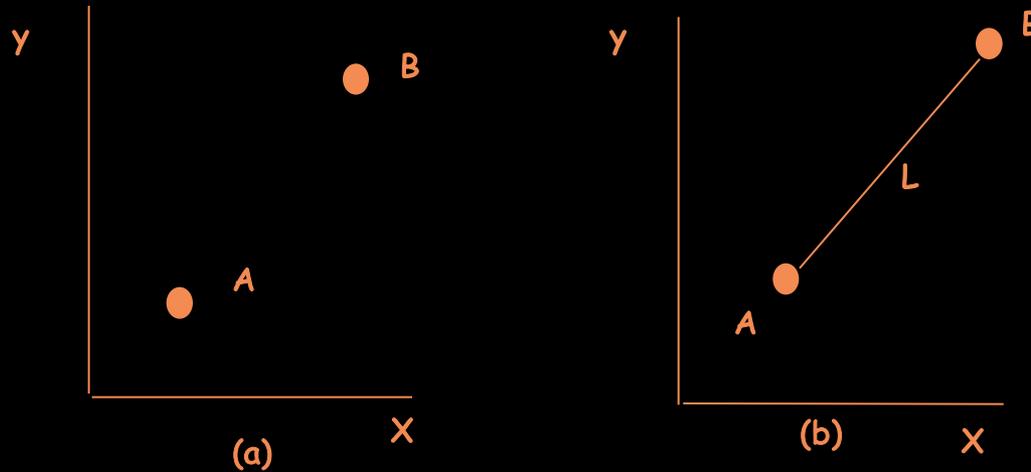
Degrés de liberté des articulations des membres. Les chiffres figurant en regard des articulations indiquent leur nombre respectif de degrés de liberté. L'amplitude des mouvements articulaires sur le cadavre est également représenté. L'extrémité de la pièce osseuse mobiles délimite un cône sur la sphère, ayant pour origine le centre articulaire. Bouisset et Maton, 1995 (d'après Dempster, 1955).

# Contrôle moteur



Cette figure peut représenter de façon plaisante une illustration de la notion d'équivalence motrice. Il existe en effet de nombreuses solutions pour tenir un verre sans en renverser le contenu (d'après Droulez et Berthoz, 1986).

# Contrôle moteur



Passage d'un système présentant quatre degrés de liberté à un système présentant trois degrés de liberté. D'après Turvey et al., 1982.

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

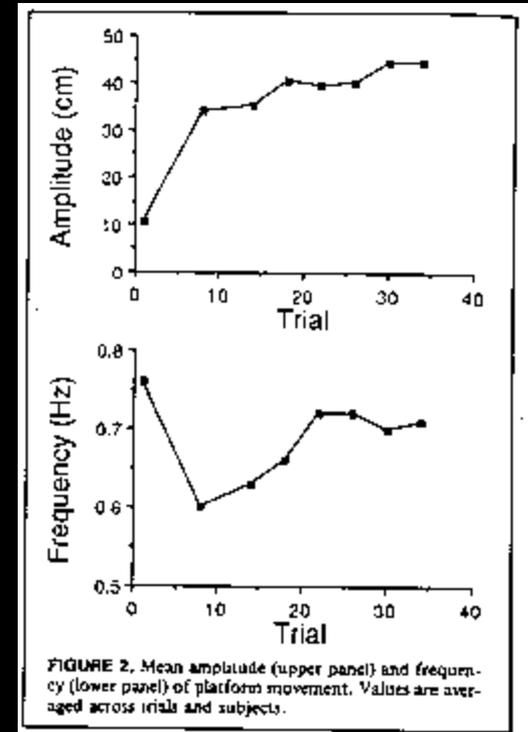
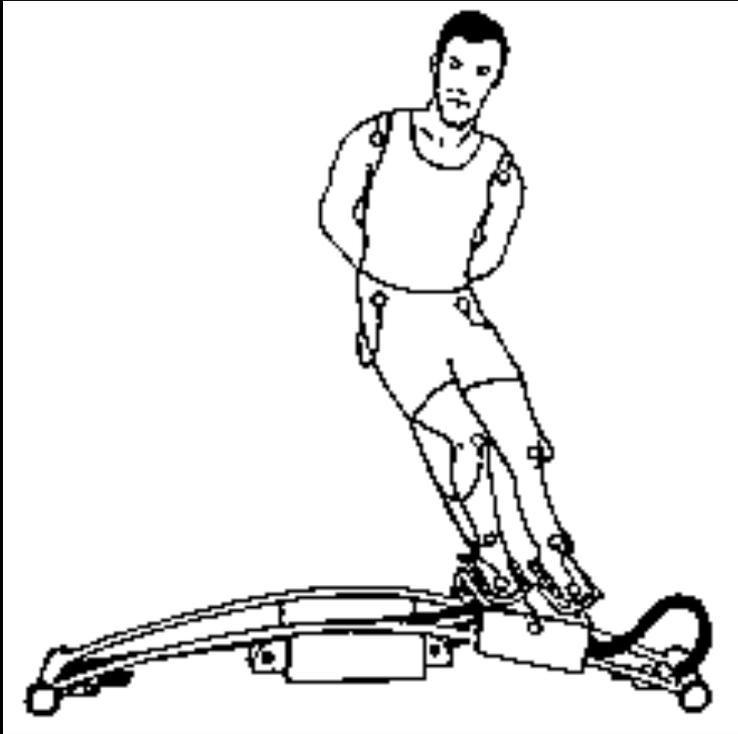
### III- Organisation et contrôle du mouvement

#### A) Notion de degrés de liberté

##### a1) Couplages

##### a2) Gel initial et libération progressive des degrés de liberté

# Contrôle moteur



Simulateur de ski. Une plate-forme sur roulettes placée sur deux rails métalliques permet au sujet de se déplacer dans un plan frontal. La plate-forme peut revenir à sa position initiale grâce à l'action de deux ressorts. L'exercice d'une force donnée par le sujet l'autorise à maintenir des oscillations latérales à différentes amplitudes et différentes fréquences (d'après Vereijken et al., 1991).

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

### III- Organisation et contrôle du mouvement

#### A) Notion de degrés de liberté

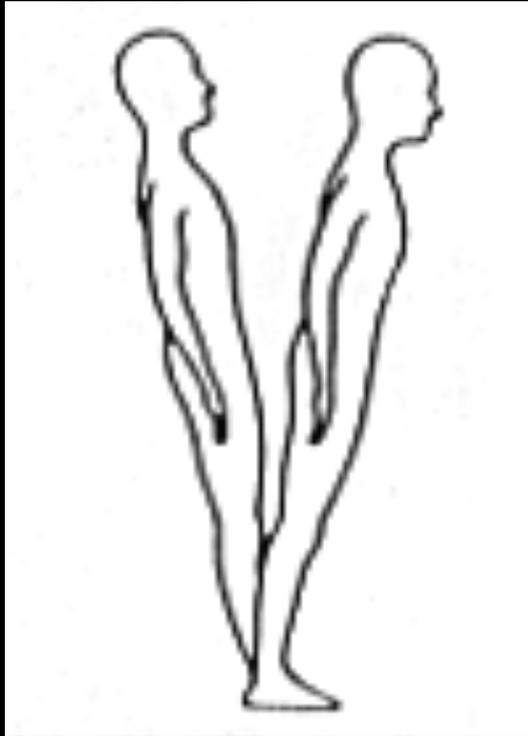
#### B) Notion de synergie

##### b1) Le problème qui se pose

##### b2) Un répertoire de synergies ?

#### C) Notion de stratégie

# Contrôle moteur



Stratégie de la cheville



Stratégie de la hanche

d'après Horak & Nashner, 1986

# Contrôle moteur

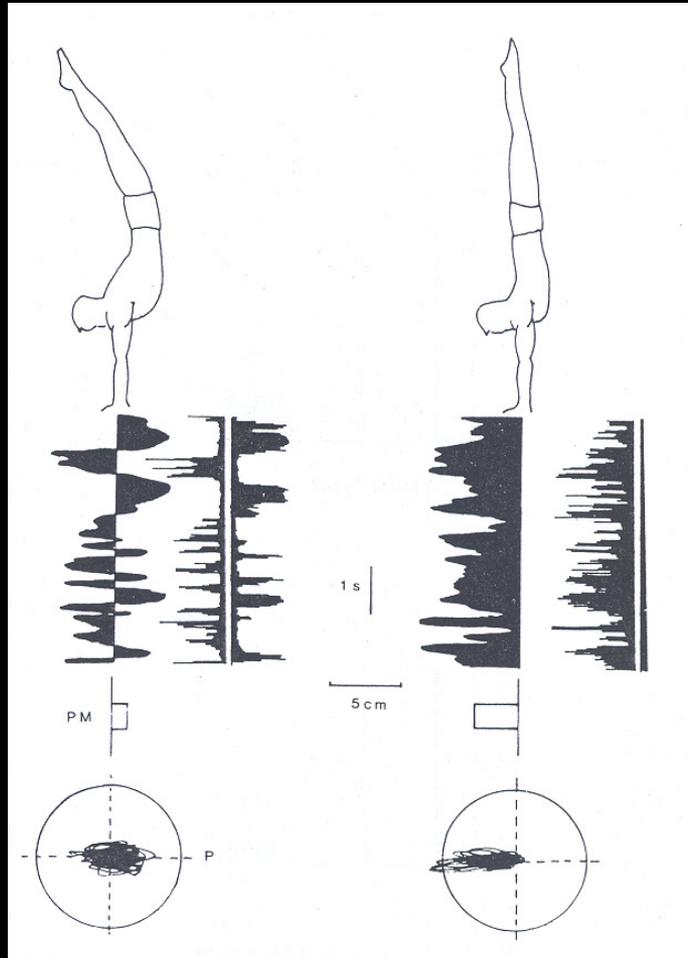


Illustration de la mise en jeu de 2 stratégies différentes de maintien de l'appui tendu renversé en fonction du niveau du pratiquant. A gauche, la forme cambrée est adoptée par les sujets de niveau régional, tandis que les sujets plus experts montrent à droite un alignement parfait. Ces différentes stratégies signent des synergies différentes, révélées par les tracés électromyographiques précisant les relations agonistes - antagonistes. Le tracé inférieur est celui du centre des pressions. D'après Pozzo & Clément, 1988.

# Contrôle moteur

---

Introduction

I - Le mouvement

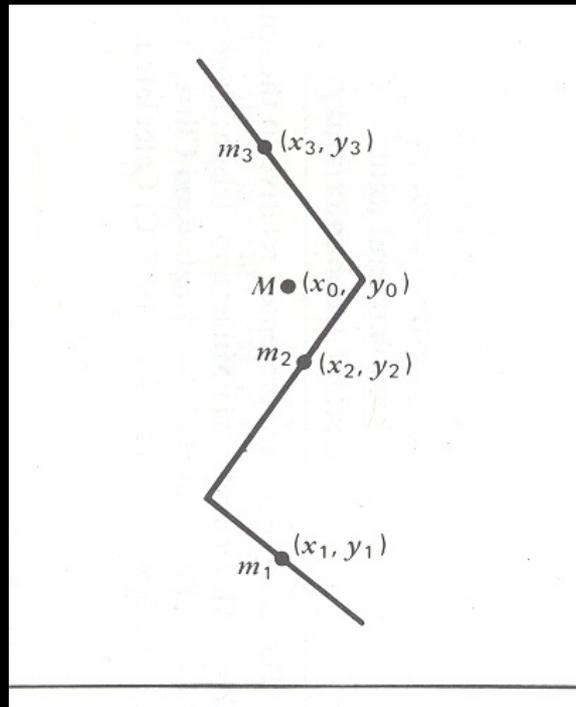
II - Le contrôle moteur

III- Organisation et contrôle du mouvement

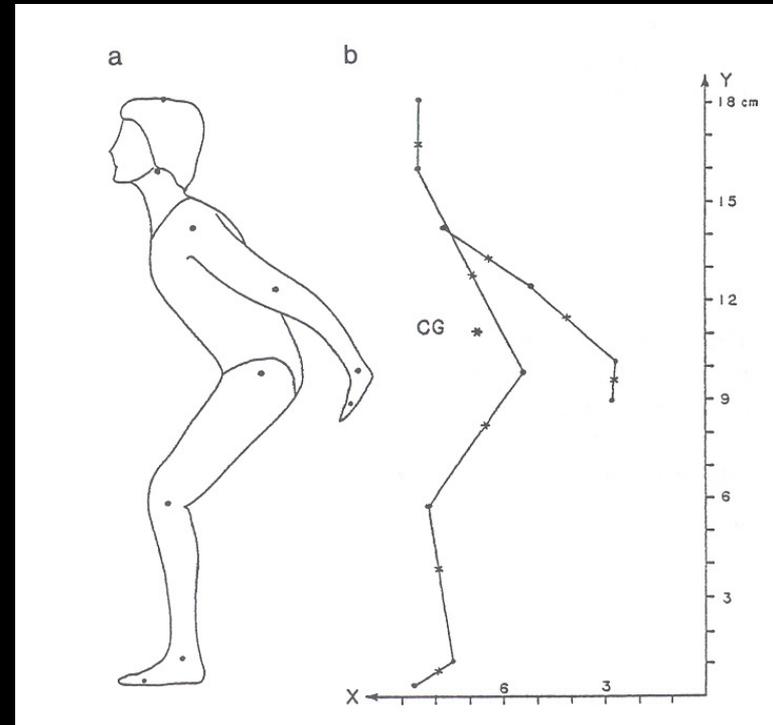
IV- Equilibre et équilibration

A) Centre de masse ou centre de gravité

# Contrôle moteur



Centre de masse d'un modèle à 3 segments par rapport aux centres de masse des différents segments. Winter 1990.



Emplacement du centre de gravité du corps (CG) comme une fonction de la position des segments corporels (a) limites des segments respectifs du corps (b) emplacement des CG segmentaires comme un pourcentage de la longueur du segment corporel.

D'après Enoka, 1988.

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

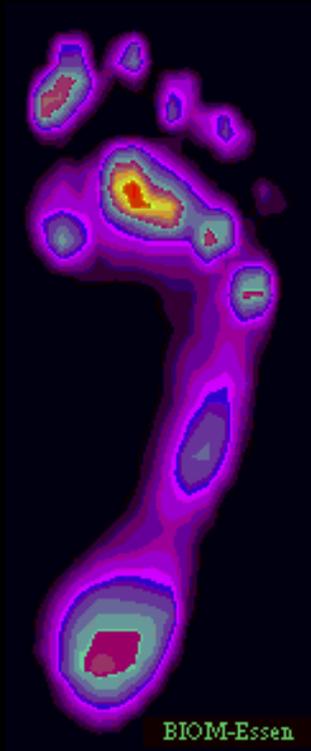
## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

A) Centre de masse ou centre de gravité

B) Centre des pressions

# Contrôle moteur



Pressions exercées au sol par le pied



Pressions exercées au sol par le pied  
du coureur

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

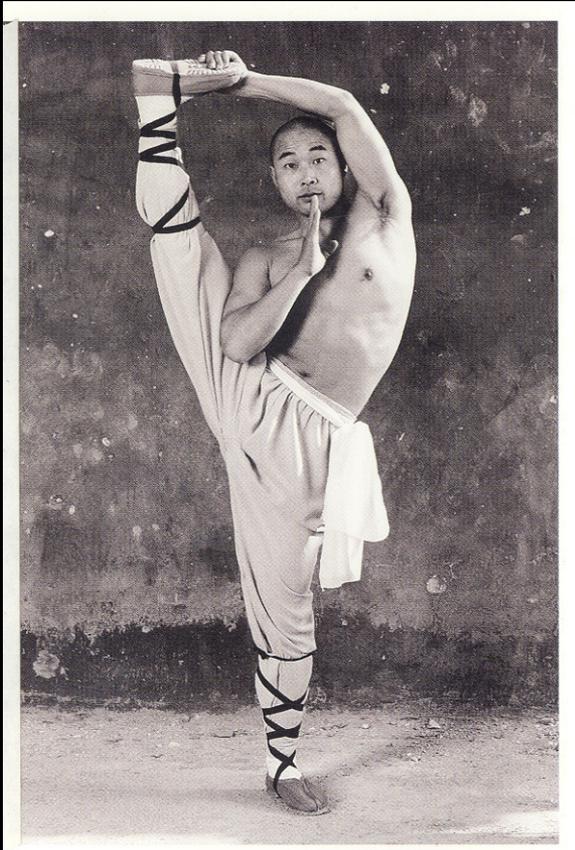
## IV- Equilibre et équilibration

A) Centre de masse ou centre de gravité

B) Centre des pressions

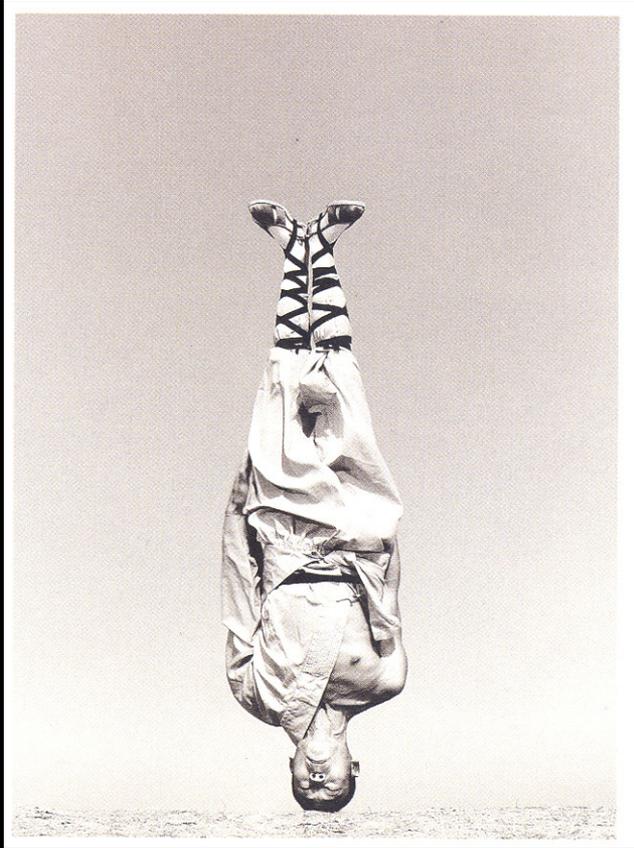
C) Définitions de l'équilibre

# Contrôle moteur



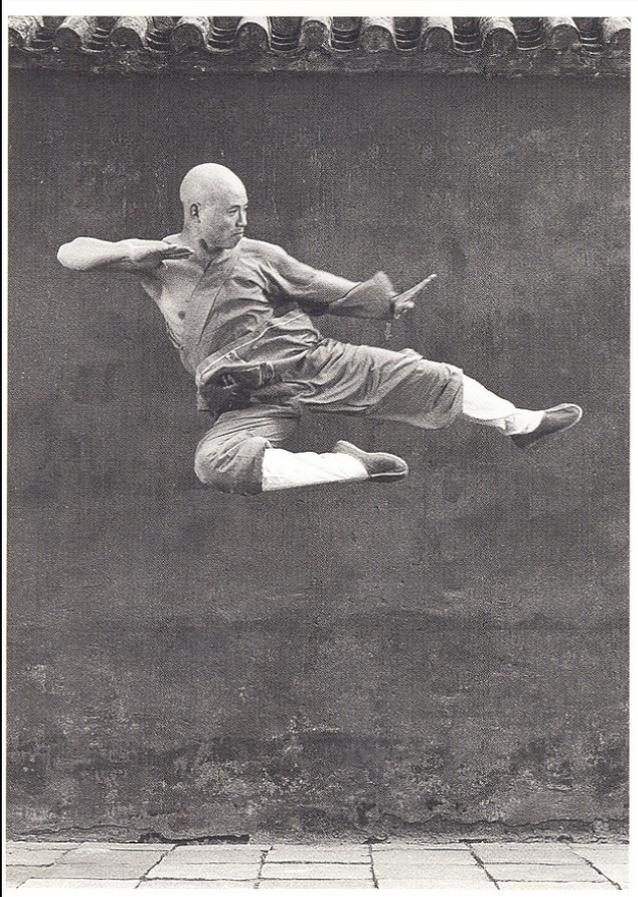
Traditionnellement, on estime que l'équilibre est réalisé lorsque la projection verticale du centre de masse (CM) tombe à l'intérieur du polygone de sustentation, l'équilibre étant d'autant plus instable que le point de projection du centre de masse et la résultante du centre des pressions s'écartent du centre du polygone de sustentation. Pour un solide rigide, le centre de masse et le centre des pressions (i.e. le barycentre des appuis) sont alignés sur la ligne de gravité.

# Contrôle moteur



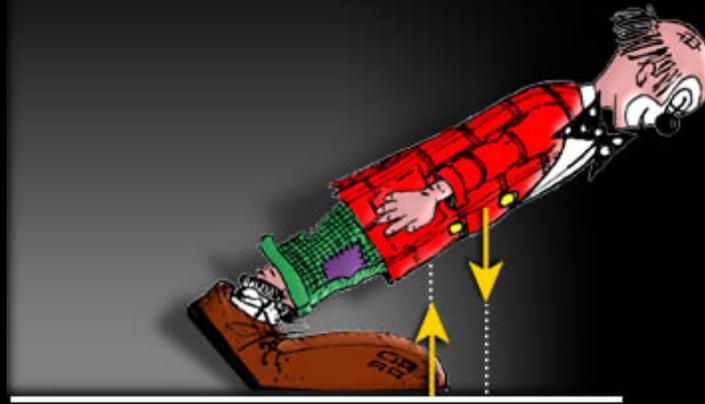
En condition statique, le corps est considéré comme étant en équilibre lorsque la somme des forces extérieures (force gravitaire, réaction au sol, résistance de l'air ou de l'eau), des forces intérieures (forces articulaires et musculaires qui agissent sous le contrôle du système nerveux central) et la somme des moments de ces forces sont nulles.

# Contrôle moteur



En condition dynamique, on considère le corps comme étant en équilibre stable lorsque soumis à des perturbations, il est capable de retrouver sa position initiale. Un équilibre est alors considéré comme étant plus ou moins instable en fonction de l'intensité des forces nécessaires pour revenir à la position initiale.

# Contrôle moteur



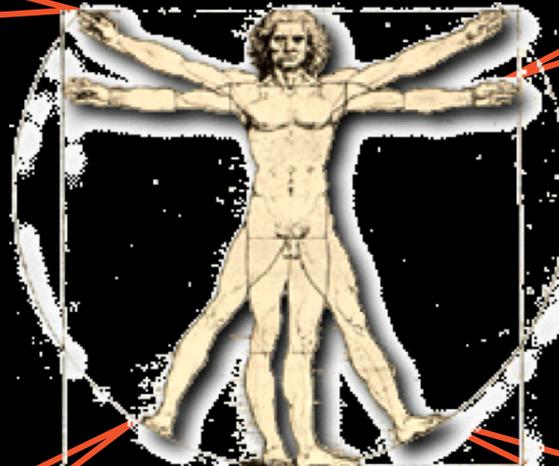
Les deux premières figures rassemblent les conditions dans lesquelles l'équilibre est conservé. Dans la troisième la somme des moments n'étant pas nulle, le sujet tombe.

# Contrôle moteur

## Mots clés

Otolithes

Canaux  
semi-  
circulaires



Vection

Réflexe  
vestibulo-  
oculaire

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

### III- Organisation et contrôle du mouvement

### IV- Equilibre et équilibration

A) Centre de masse ou centre de gravité

B) Centre des pressions

C) Définitions de l'équilibre

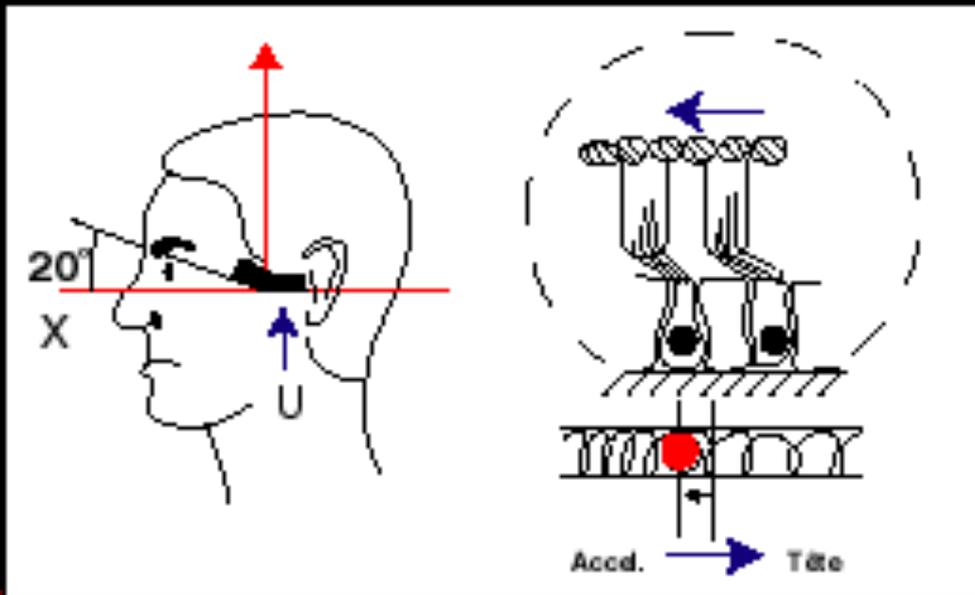
D) Structures mises en jeu

d1-Le système vestibulaire

d11) les organes otolithiques

# Contrôle moteur

## d11 - les organes otolithiques



Principe de fonctionnement des capteurs otolithiques (d'après Berthoz, 1991)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

A) Centre de masse ou centre de gravité

B) Centre des pressions

C) Définitions de l'équilibre

D) Structures mises en jeu

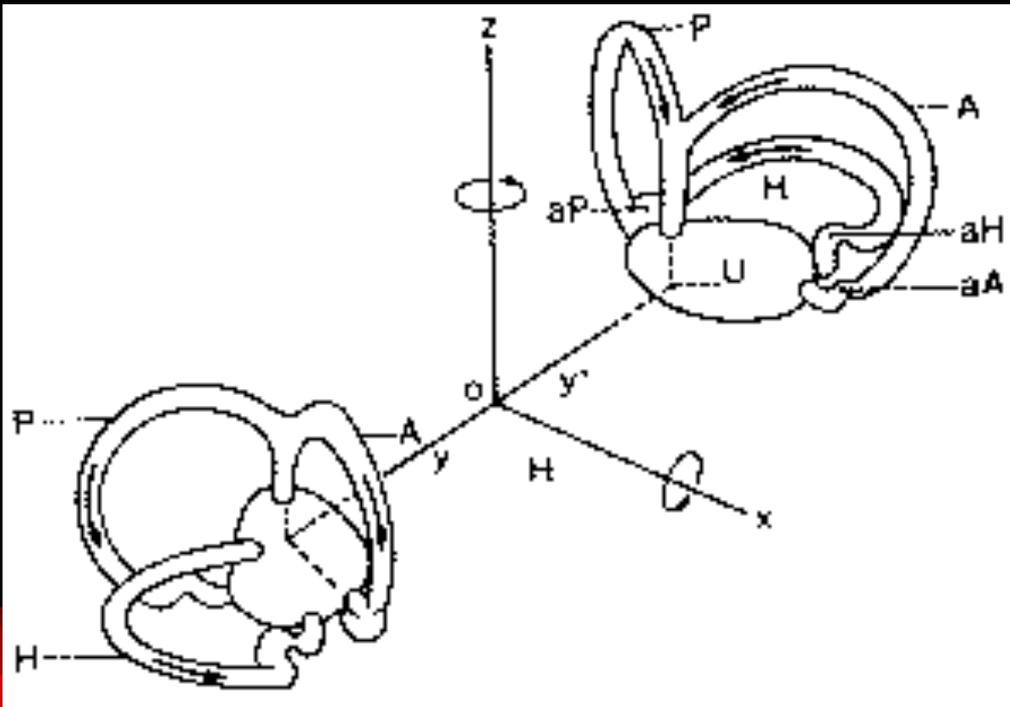
### d1-Le système vestibulaire

d11) les organes otolithiques

d12 - les canaux semi-circulaires

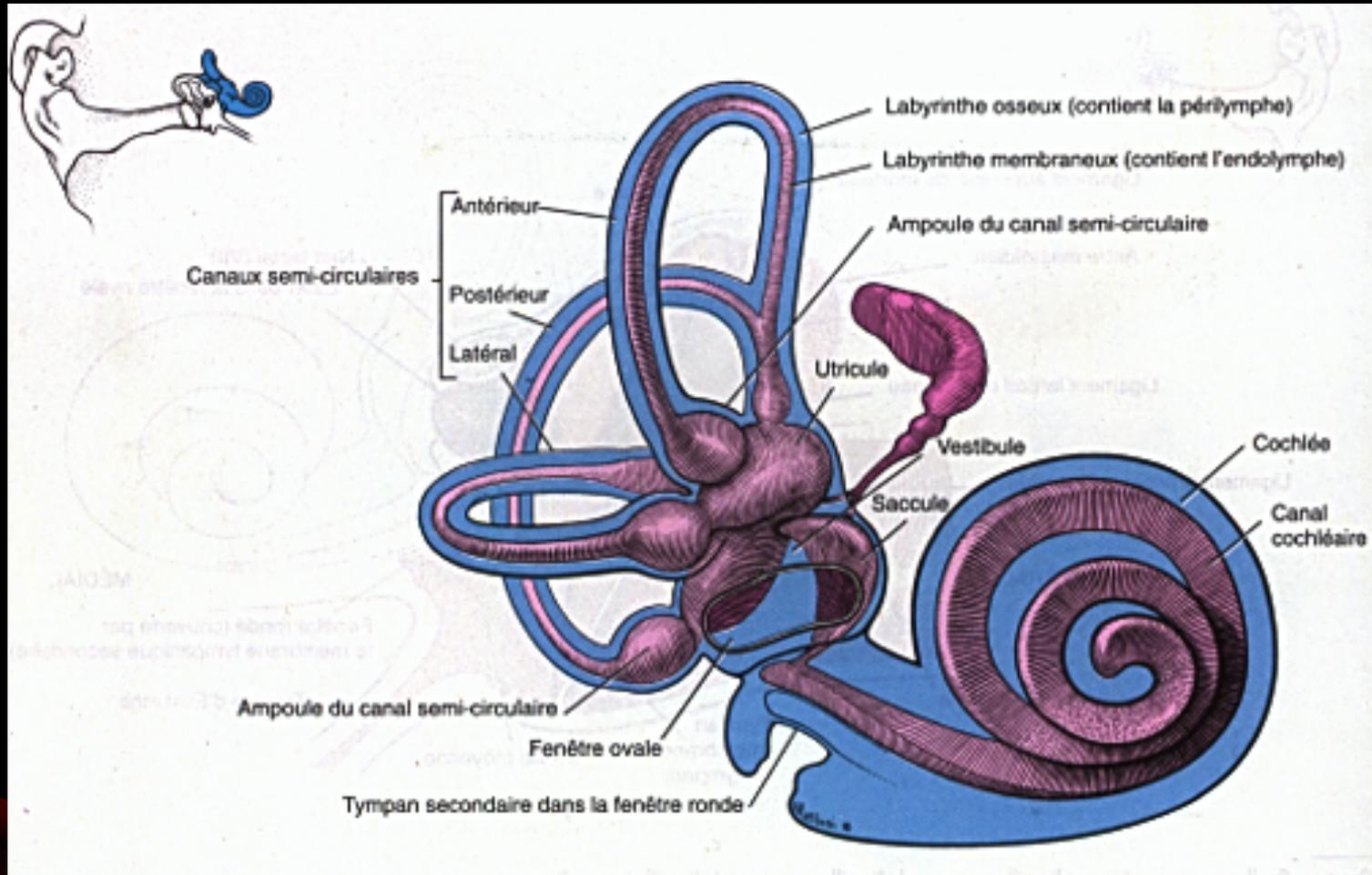
# Contrôle moteur

## d12 - les canaux semi-circulaires



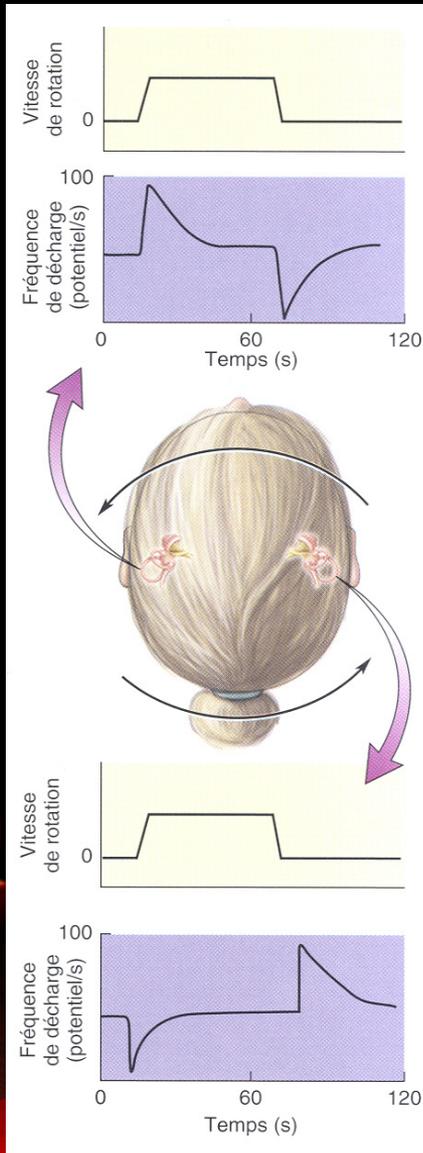
Disposition géométrique des canaux semi-circulaires selon les différents axes de l'espace (d'après Buser et Imbert, 1987)

# Contrôle moteur



Canaux semi circulaires (d'après Tortora & Grabowski, 1994)

# Contrôle moteur



Activation des canaux semi circulaires. La rotation de la tête excite les cellules ciliées dans l'un des canaux semi-circulaires horizontal et inhibe les cellules de l'autre. Les diagrammes illustrent l'adaptation qui intervient au niveau des réponses des cellules ciliées et donc des nerfs vestibulaires lorsque la rotation est maintenue. Quand la rotation est inversée et que la tête revient à sa position initiale, les cellules déchargent à nouveau, mais dans un sens opposé à celui qui avait présidé à l'amorçage de la rotation, c'est-à-dire avec des patrons opposés d'excitation et d'inhibition.

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

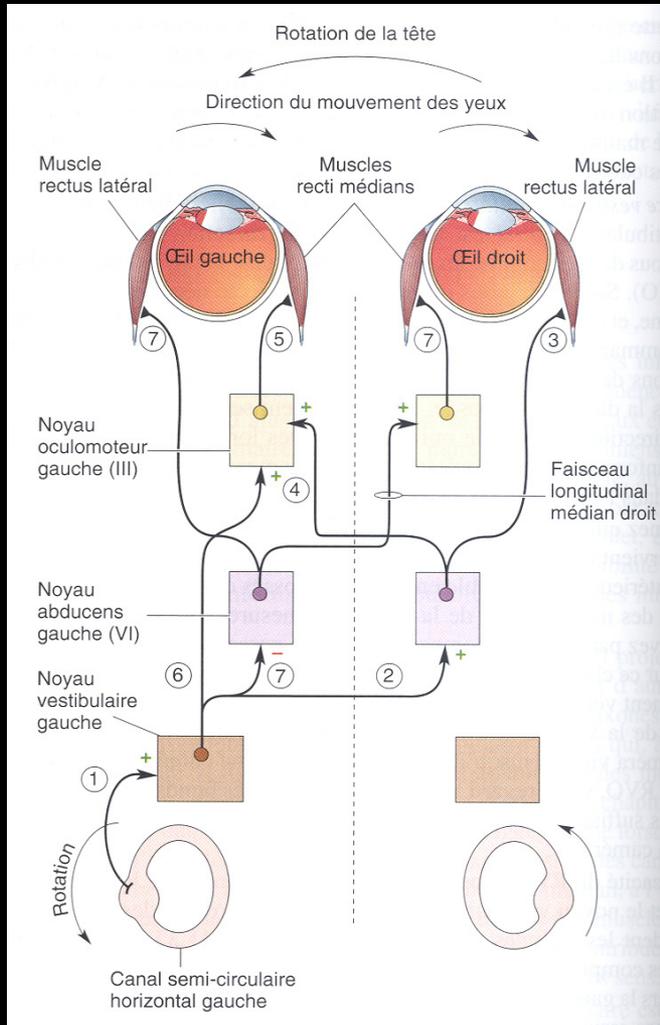
## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

- A) Centre de masse ou centre de gravité
- B) Centre des pressions
- C) Définitions de l'équilibre
- D) Structures mises en jeu
- E) Propriétés et limites du système vestibulaire
- F) Le réflexe vestibulo-oculaire (RVO)

# Contrôle moteur



Connexions vestibulaires contrôlant les mouvements horizontaux des yeux lors du réflexe vestibulo-oculaire. Ces voies neuronales sont activées lorsque la tête tourne brusquement vers un côté, entraînant un mouvement des yeux vers l'autre côté. Les connexions excitatrices sont en vert, les inhibitrices en rouge.

# Contrôle moteur

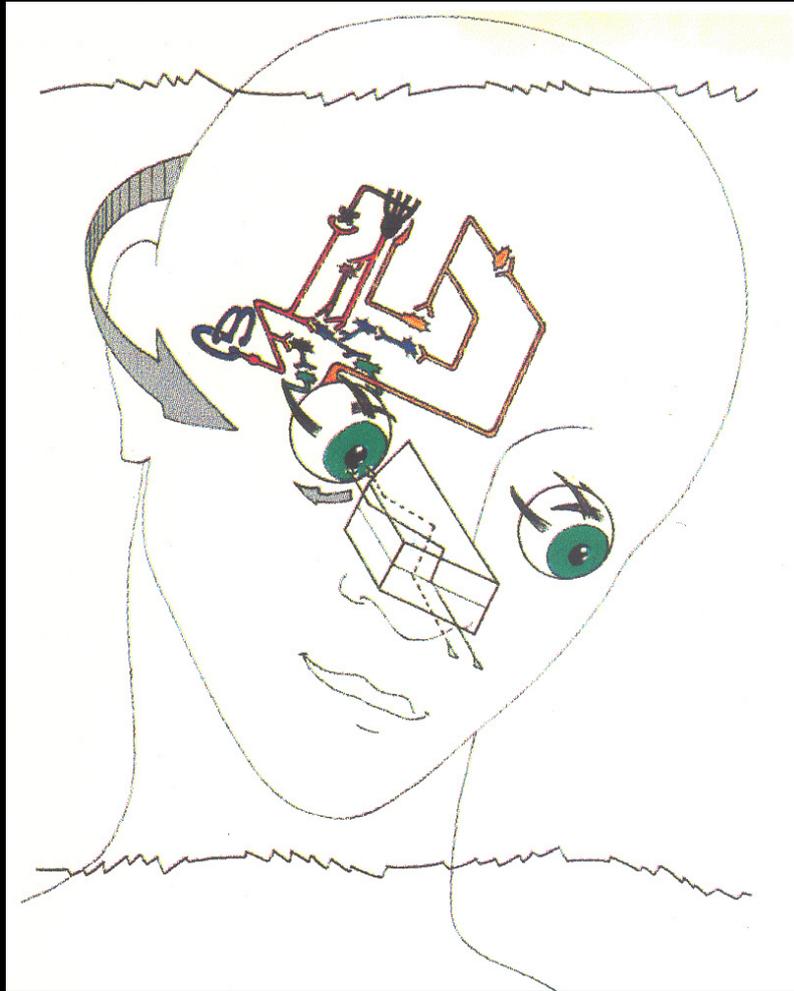


Diagramme représentant une partie des circuits neuronaux impliqués dans le traitement des informations vestibulaires et visuelles. Ces circuits contrôlent les mouvements oculaires qui permettent de stabiliser le regard pendant des rotations de la tête. De plus, on a figuré un prisme de Dove qui inverse le sens du mouvement apparent du monde visuel pendant la rotation de la tête. Ce dispositif permet d'étudier les propriétés adaptatives de ces mécanismes.

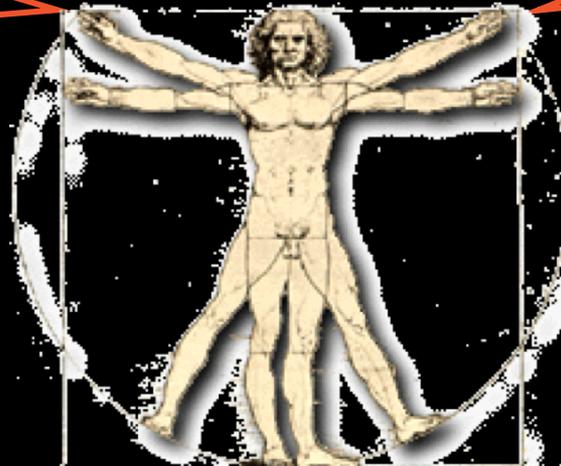
Source : LPPA Collège de France

# Contrôle moteur

## Mots clés

Valeur de référence

Référentiel



Verticale subjective

# Contrôle moteur

---

## IV- Equilibre et équilibration

F) Le réflexe vestibulo-oculaire (RVO)

G) Les problèmes de coordination œil-tête

H) Convergence des informations sensorielles

I) Compensation et suppléance vestibulaires

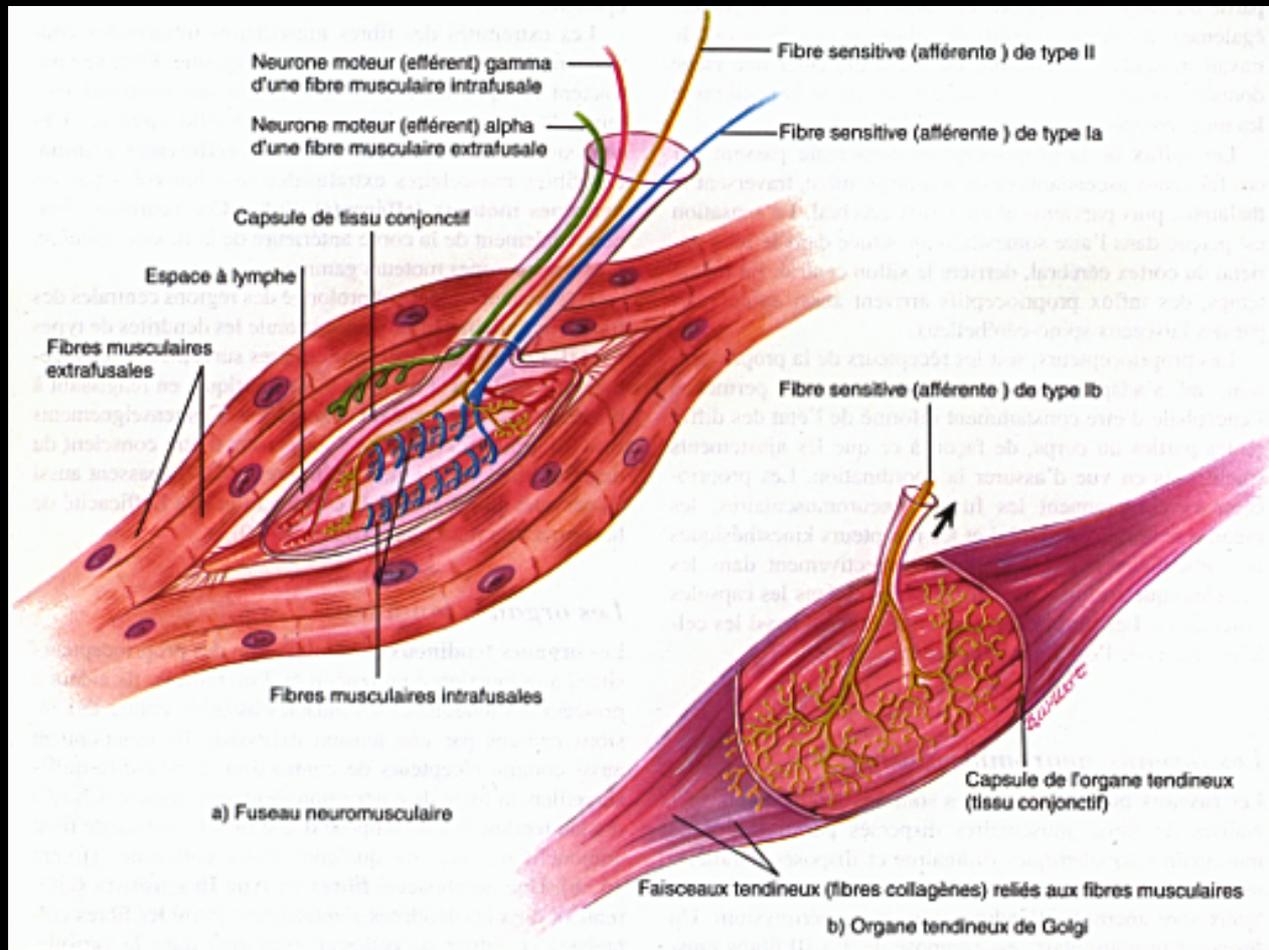
J) L'exemple du salto

K) Informations et illusions

L) Affections du système vestibulaire

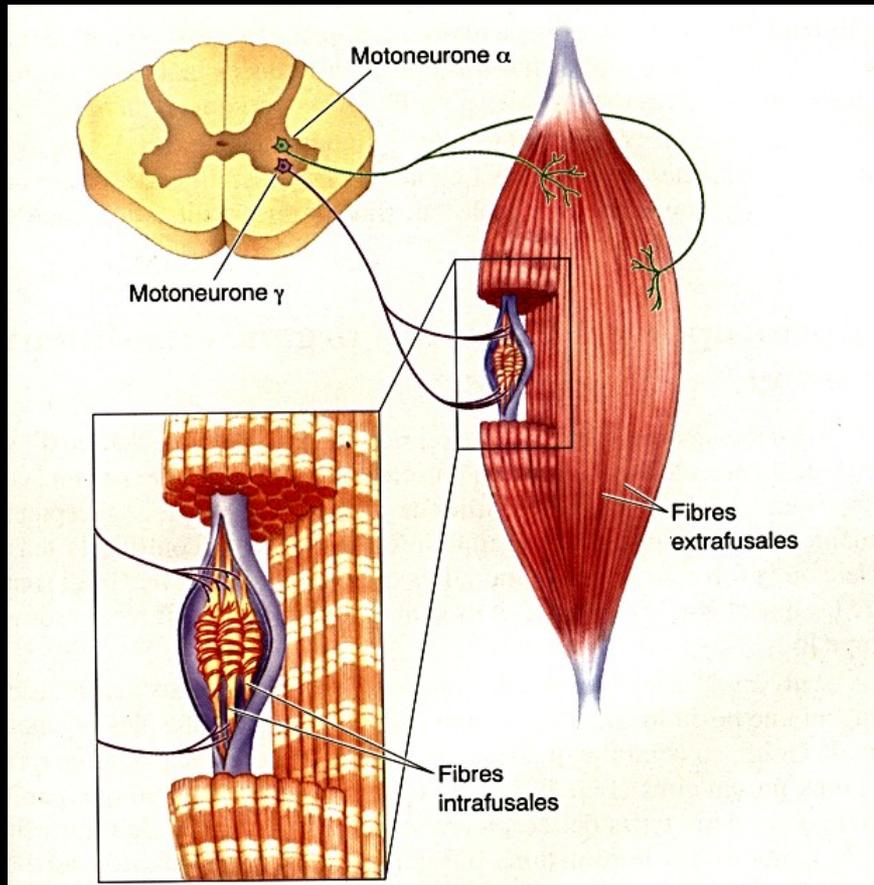
M) Capteurs musculaires et articulaires

# Contrôle moteur

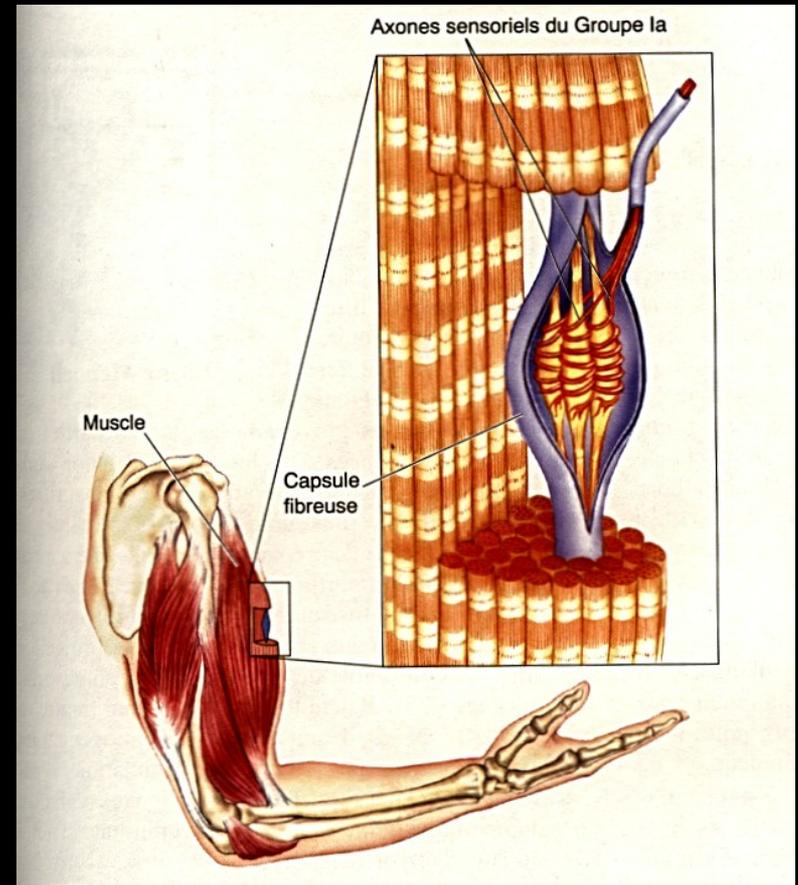


Fuseau neuro-musculaire et organe tendineux de Golgi (d'après Tortora & Grabowski, 1994).

# Contrôle moteur



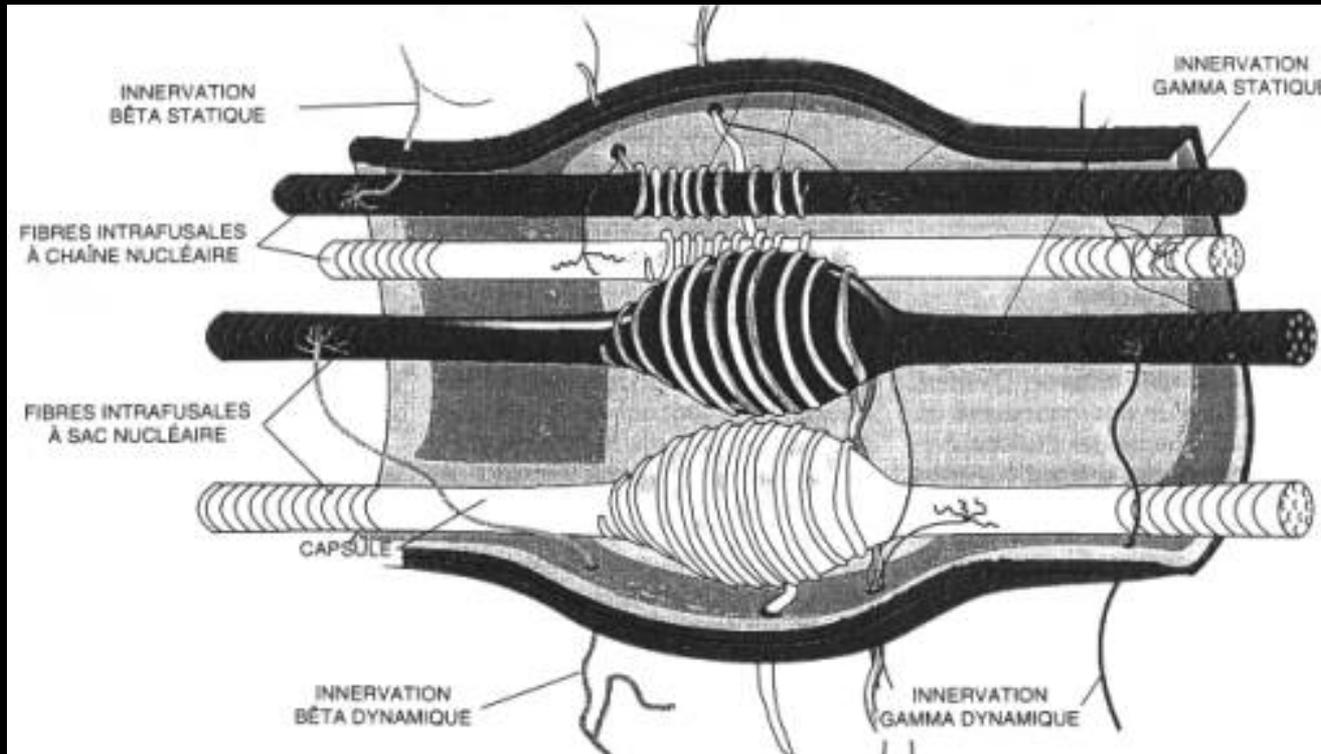
Fuseau neuro-musculaire



Source

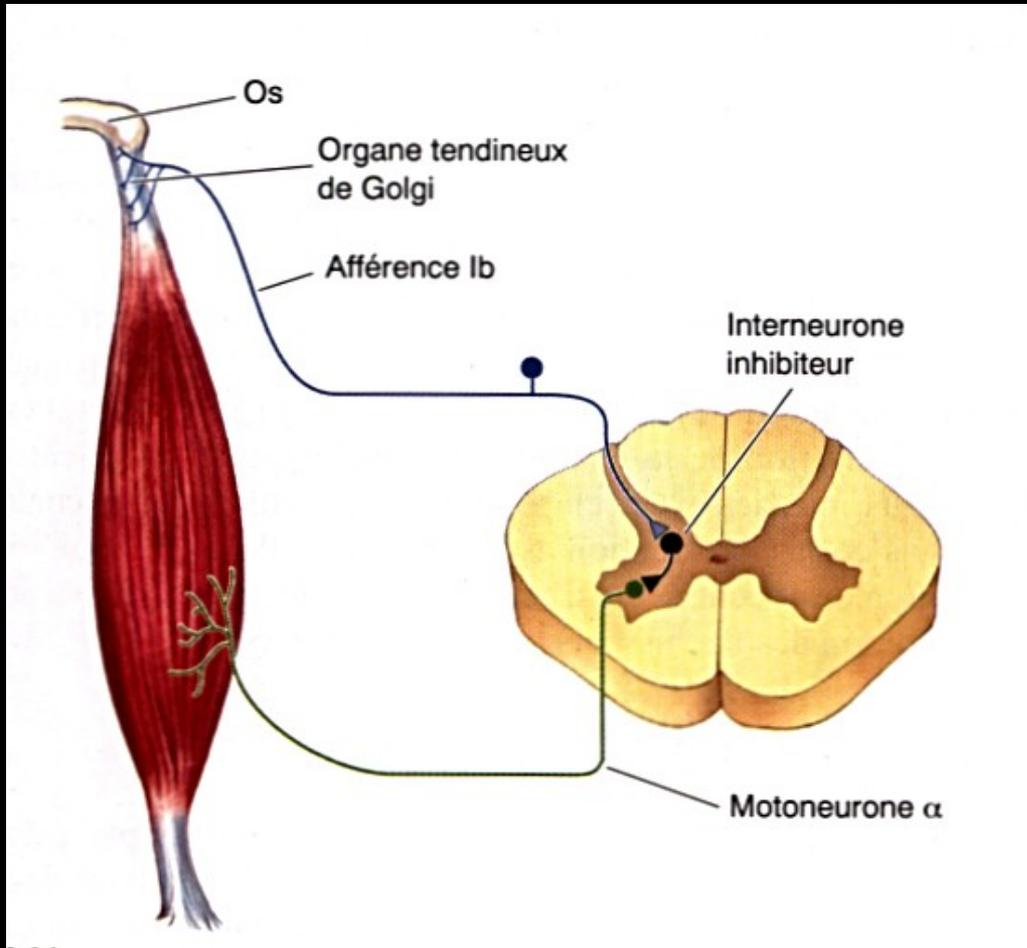
[www.medecine.unige.ch/~bertrand/cours1/muscle](http://www.medecine.unige.ch/~bertrand/cours1/muscle)

# Contrôle moteur



Fuseau neuro-musculaire. Autre représentation possible (Source : Roll, J-P., « Les muscles, organes de la perception, Pour La Science n°248.)

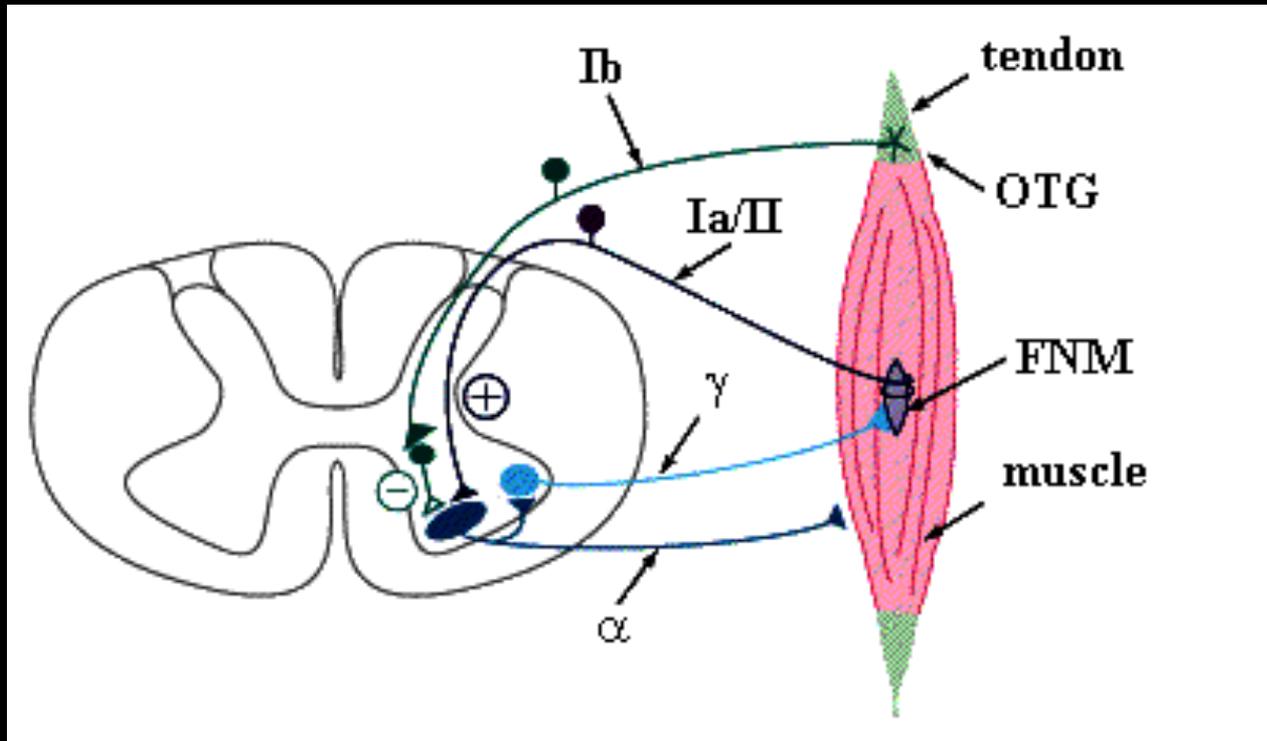
# Contrôle moteur



Source  
[www.medecine.unige.ch/~bertrand/cours1/muscle](http://www.medecine.unige.ch/~bertrand/cours1/muscle)

Organe tendineux de Golgi

# Contrôle moteur



Circuits nerveux des fuseaux neuromusculaires et des organes tendineux de Golgi

# Contrôle moteur

---

## IV- Equilibre et équilibration

F) Le réflexe vestibulo-oculaire (RVO)

G) Les problèmes de coordination œil-tête

H) Convergence des informations sensorielles

I) Compensation et suppléance vestibulaires

J) L'exemple du salto

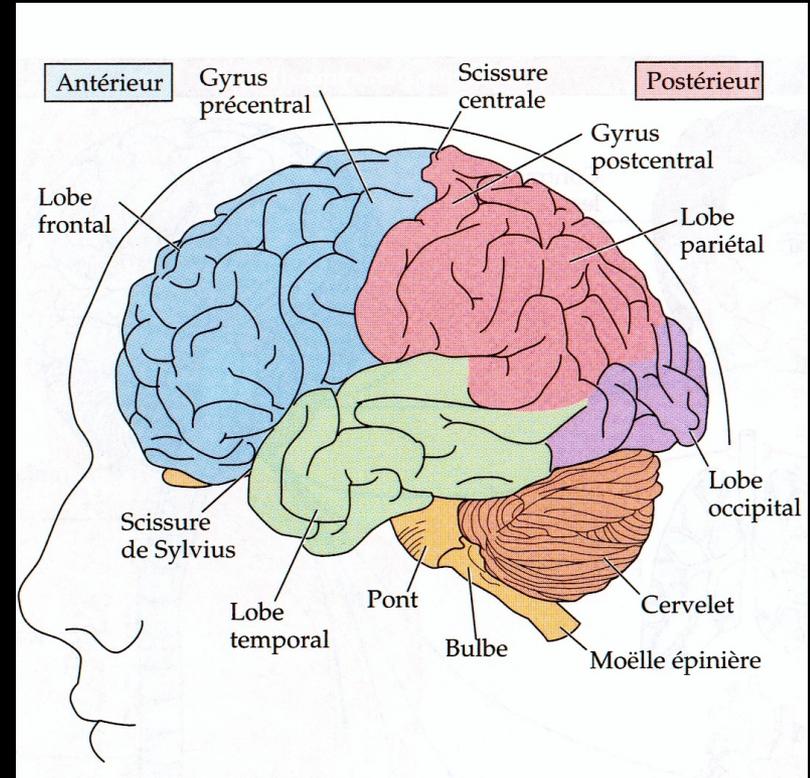
K) Informations et illusions

L) Affections du système vestibulaire

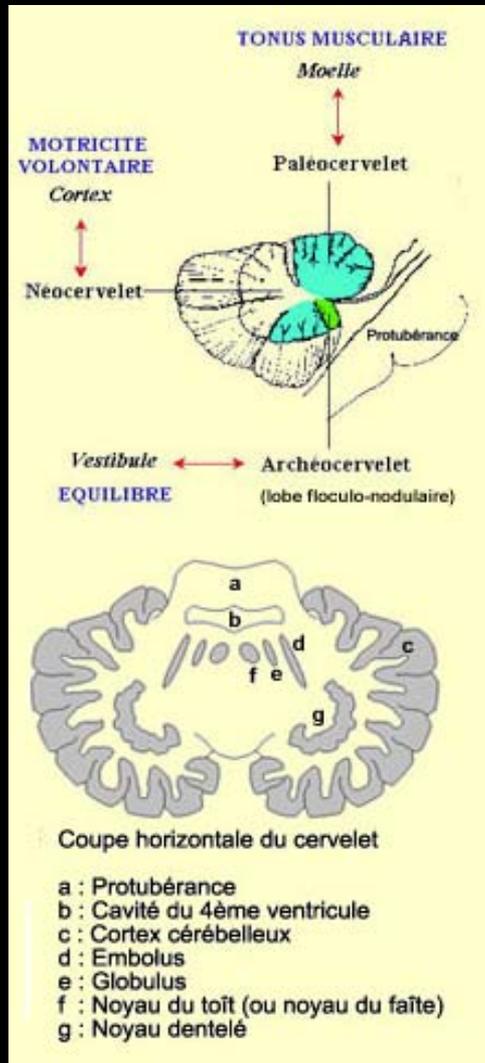
M) Capteurs musculaires et articulaires

N) Le cervelet

# Contrôle moteur



# Contrôle moteur



Division classique du cervelet en trois zones, l'archécervelet, le paléocervelet et le néocervelet, avec leurs fonctions.

# Contrôle moteur



Patient cérébelleux avec une asynergie entraînant une altération de la cinématique et de la cinétique normales du geste. Le sujet asynergique ne fléchit pas les genoux et tombe en arrière (d'après Babinski, 1899).

# Contrôle moteur

---

## IV- Equilibre et équilibration

F) Le réflexe vestibulo-oculaire (RVO)

G) Les problèmes de coordination œil-tête

H) Convergence des informations sensorielles

I) Compensation et suppléance vestibulaires

J) L'exemple du salto

K) Informations et illusions

L) Affections du système vestibulaire

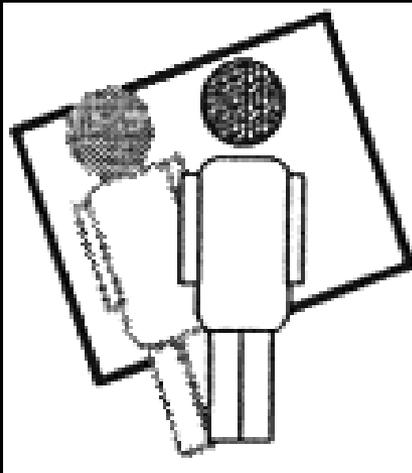
M) Capteurs musculaires et articulaires

N) Le cervelet

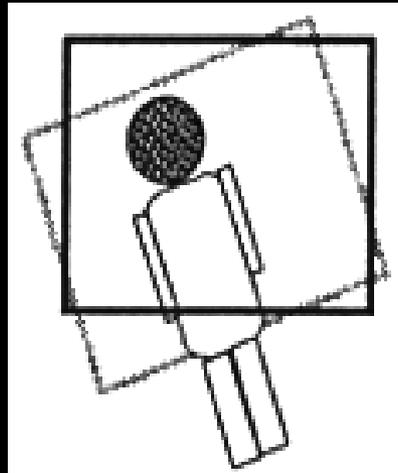
O) Perception de la verticale et de l'horizontale

# Contrôle moteur

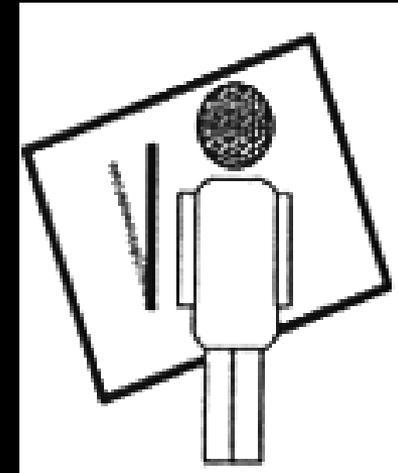
Verticale subjective, dépendance indépendance à l'égard du champ



Body Adjustment Test :  
il faut redresser le corps  
à la verticale face à une  
pièce inclinée



Room Adjustment Test : il  
faut remettre la pièce à la  
verticale



Rod Adjustment Test : il  
faut remettre la baguette  
à la verticale, le corps peut  
être droit ou incliné

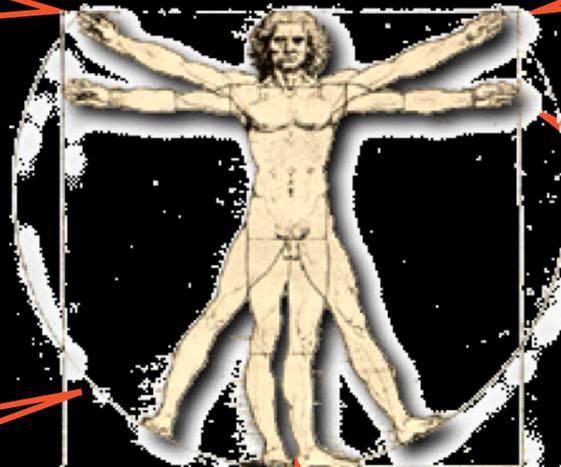
Ces trois tests font partie du TRTCT (Tilting Room Tilting Chair Test). Les éléments dont la position se modifie en cours d'épreuve sont en gris, ils sont en noir en position finale (d'après Ohlmann, 1988)

# Contrôle moteur

## Mots clés

Valeur de référence

Référentiel



Plan de Francfort

Conception top down

Ancrage du regard

# Contrôle moteur

---

Introduction

I - Le mouvement

II - Le contrôle moteur

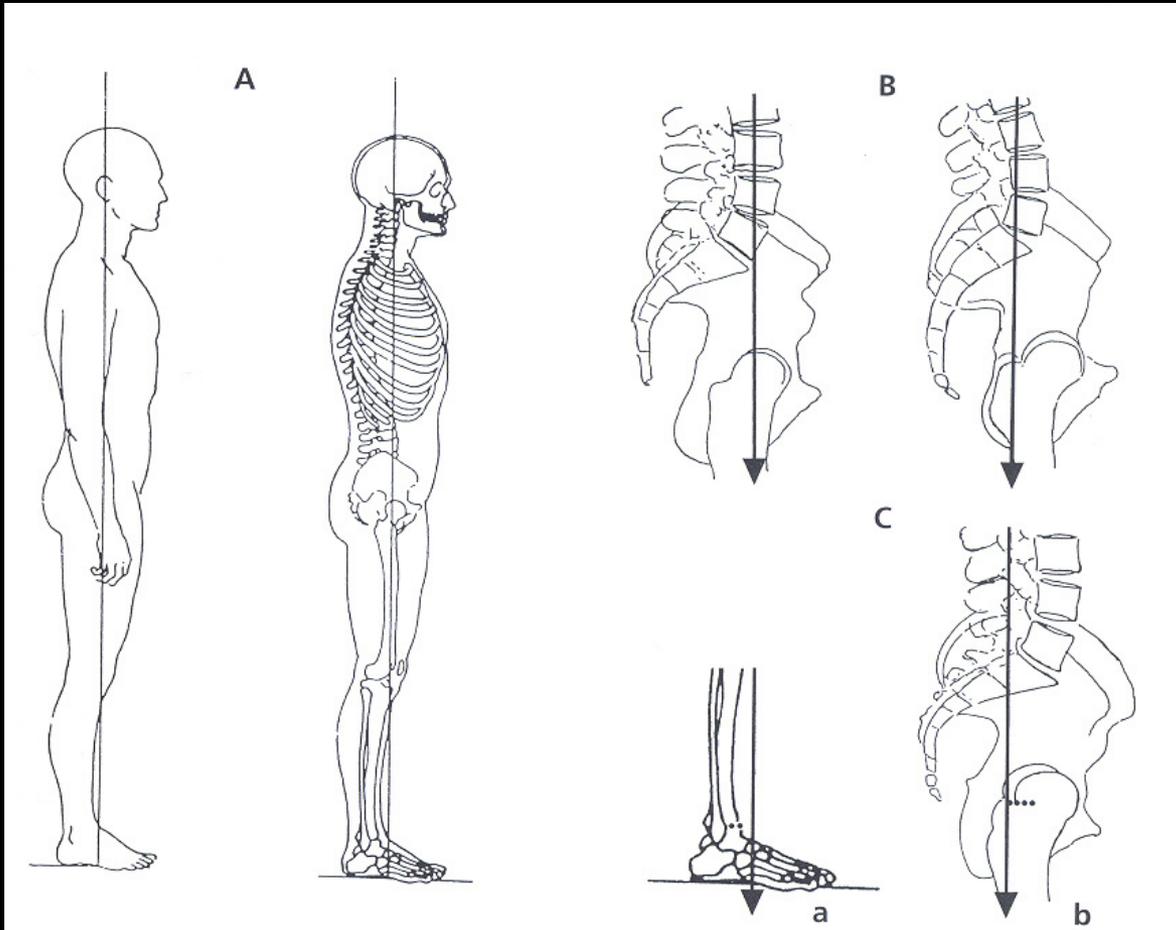
III- Organisation et contrôle du mouvement

IV- Equilibre et équilibration

V- La posture

# Contrôle moteur

## V- La posture



Ligne de gravité de la position debout commode.

Bouisset 2002

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

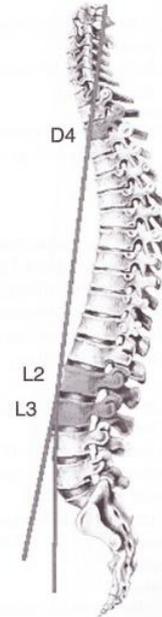
## V- La posture

### A- Les lignes de gravité

# Contrôle moteur



*Figure 6 : ligne antéro-postérieure.*



*Figure 7 : ligne postéro-antérieure.*

*Extraits du TOG (Hématy, 2009)*

**Ligne de gravité selon Littlejohn**

(Wernham, 1956, 1985 ; Hématy, 2009, Richter *et al.*, 2009).

# Contrôle moteur

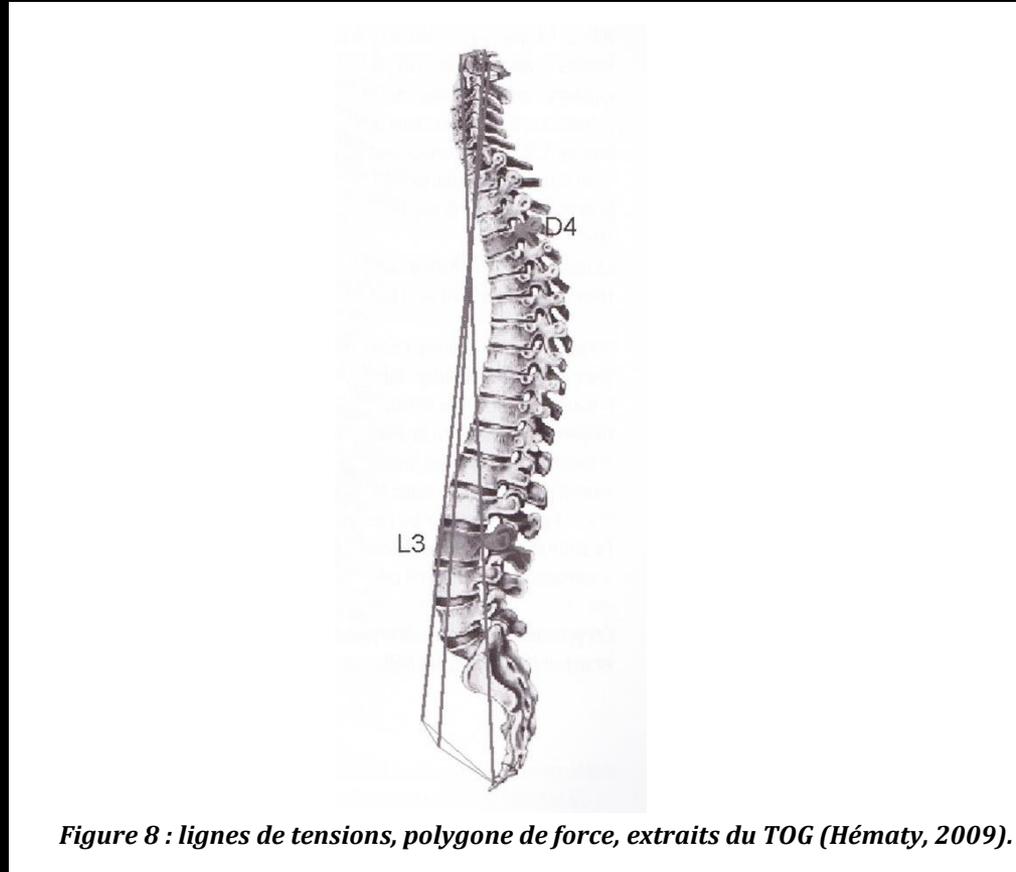


Figure 8 : lignes de tensions, polygone de force, extraits du TOG (Hématy, 2009).

Ligne de gravité selon Littlejohn

(Wernham, 1956, 1985 ; Hématy, 2009, Richter *et al.*, 2009).

# Contrôle moteur

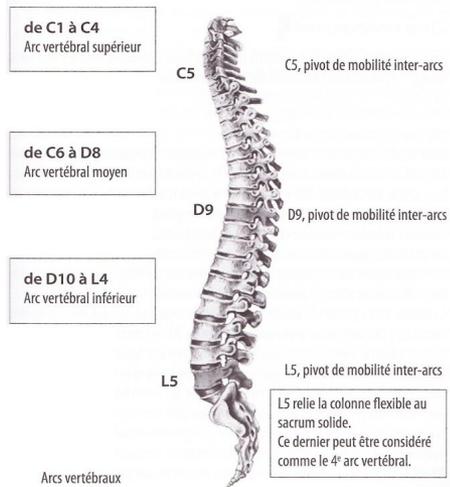


Figure 9 : arcs vertébraux et pivots de mobilité, extraits du TOG (Hématy, 2009).



Figure 10 : pivots de gravité, extraits du TOG (Hématy, 2009).

Ligne de gravité selon Littlejohn

(Wernham, 1956, 1985 ; Hématy, 2009, Richter *et al.*, 2009).

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

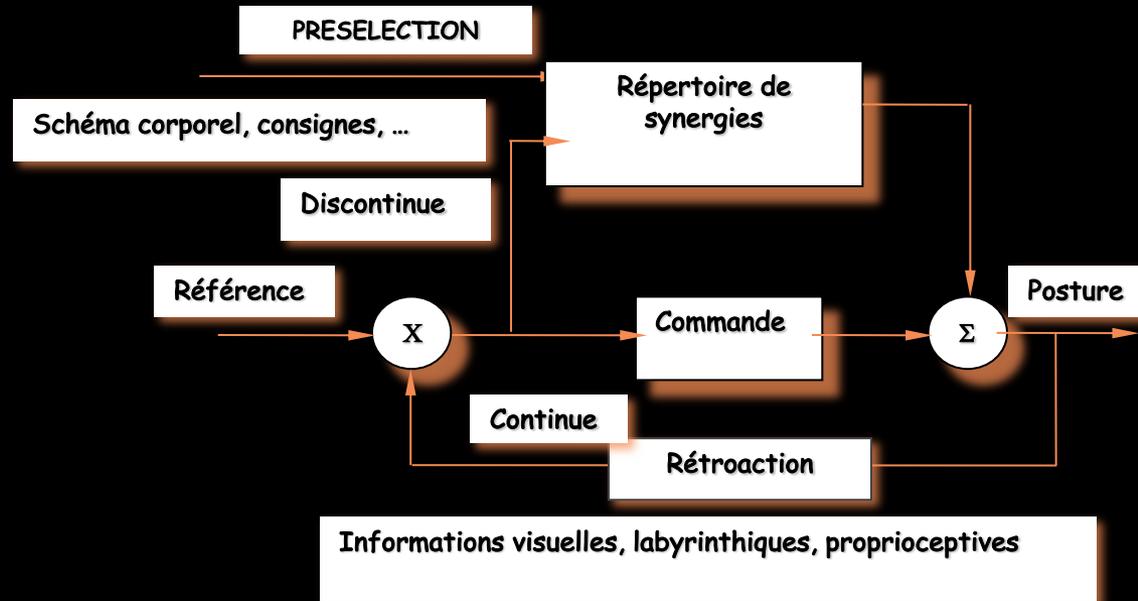
## IV- Equilibre et équilibration

## V- La posture

### A- Les lignes de gravité

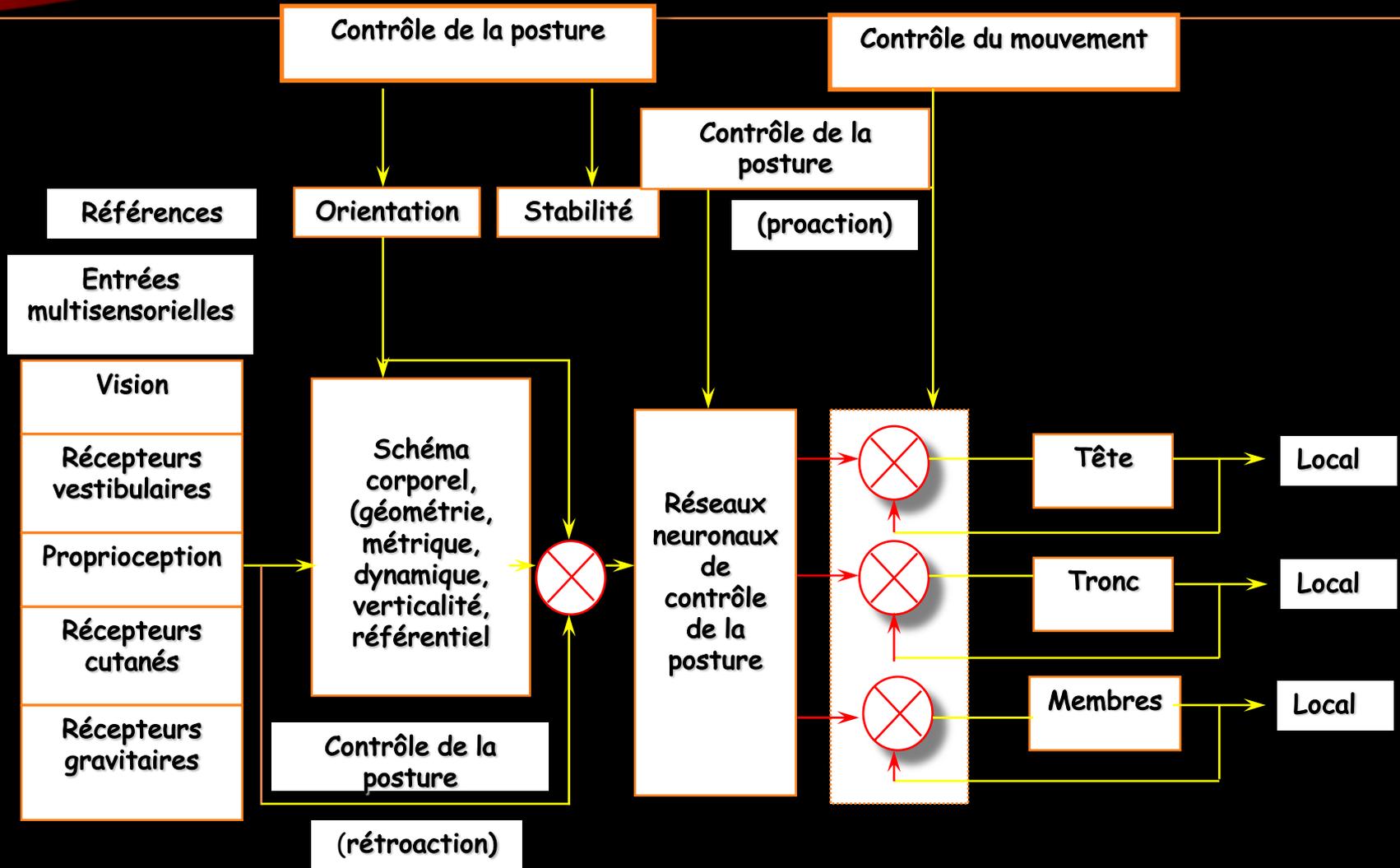
### B- Modèles de régulation de la posture

# Contrôle moteur



Contrôle de la posture par une boucle de rétroaction continue et discontinue (d'après Massion, 1992)

# Contrôle moteur



Coordination de la posture et du mouvement (d'après Massion, 1994)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

## V- La posture

### A) Notion de valeur de référence

### B) Les ajustements posturaux

### C) Notion de représentation

### D) Notion de référentiel

### E) Comprendre les moyens de contrôle mis en œuvre par le sujet

# Contrôle moteur

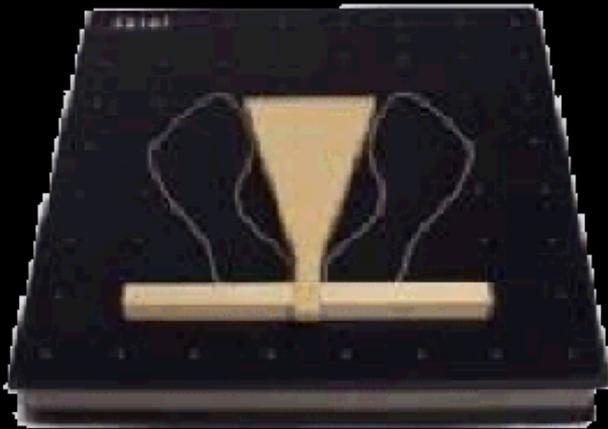
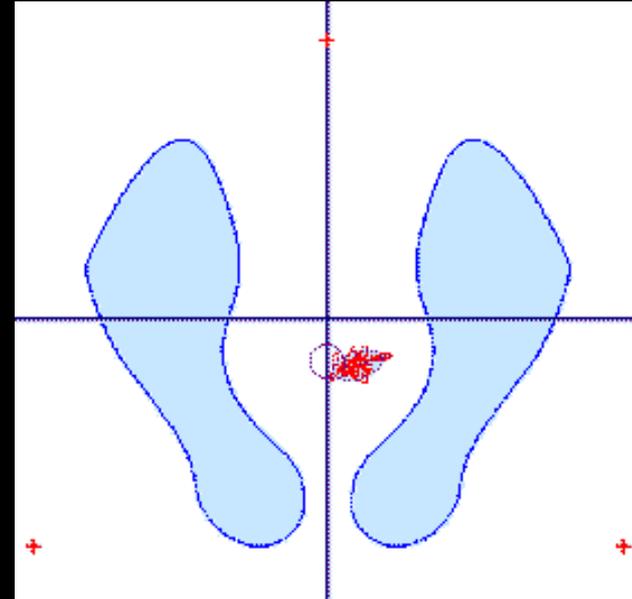


Plate-forme statique  
(Société Satel®)



Le statokinésigramme (Société Satel®) inscrit les positions successives échantillonnées du centre des pressions par rapport à un référentiel dont l'origine est située au barycentre du polygone de sustentation. Seules ces positions du centre de pression sont situées avec précision sur la figure.

# Contrôle moteur

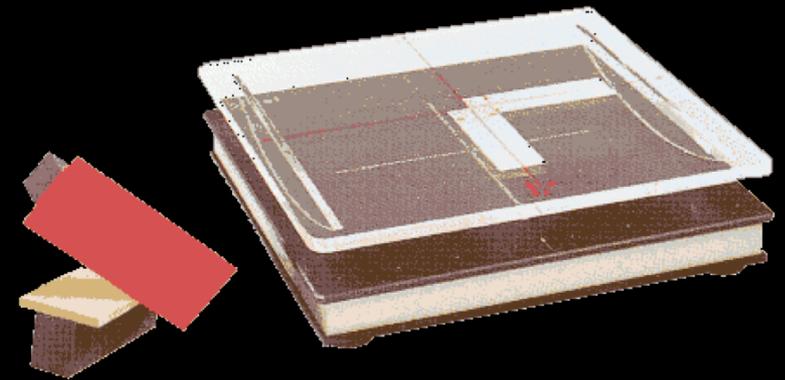
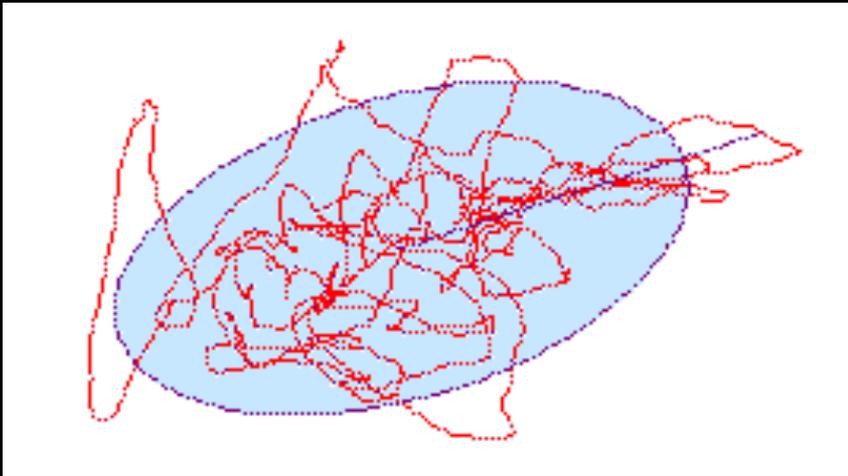


Plate-forme en dynamique

Statokinésigramme (Société Satel®) : à partir de 90 % des positions successives du centre des pressions relevées au cours de l'acquisition, une mesure statistique de la surface de l'ellipse de confiance est réalisée, exprimée en  $\text{mm}^2$ . Les 10 % des points les plus extrêmes, résultant de mouvements mal contrôlés, sont éliminés.

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

## V- La posture

### A) Notion de valeur de référence

### B) Les ajustements posturaux

### C) Notion de représentation

### D) Notion de référentiel

### E) Comprendre les moyens de contrôle mis en œuvre par le sujet

### F) Un modèle interne, le schéma corporel

### G) La régulation posturale

# Contrôle moteur

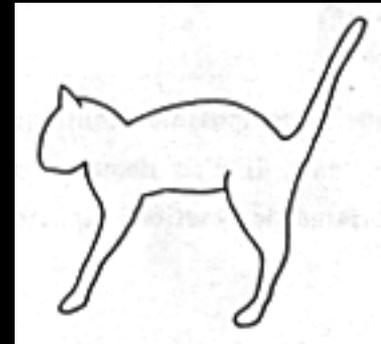
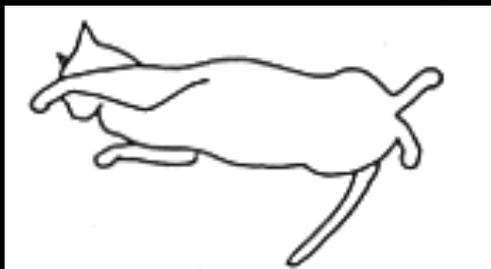
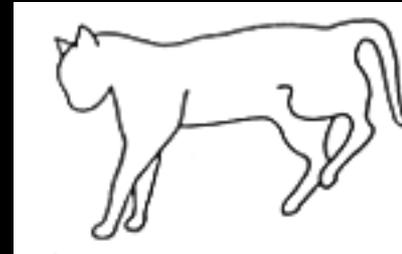
---

V- La posture

G) La régulation posturale

g1) Stabilisation de la tête

# Contrôle moteur



Redressement du chat qui tombe d'après les  
images chronophotographiques de Marey, 1894  
(in Paillard, 1976)

# Contrôle moteur

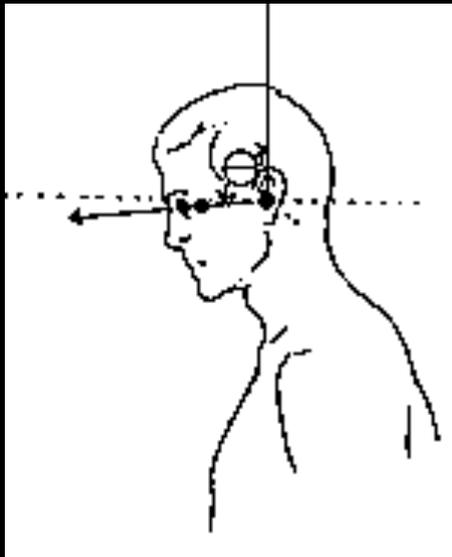
## V- La posture

### G) La régulation posturale

q1) Stabilisation de la tête

q2) Une conception descendante

q3) Plan de Francfort



Plan de Francfort (d'après Pozzo  
et al., 1990)

# Contrôle moteur



Mouvements de la tête et du corps dans le plan sagittal au cours de diverses conduites locomotrices (d'après Berthoz et Pozzo, 1988, sur des travaux originaux de Muybridge)

# Contrôle moteur



Saut et succession de sauts (Marey, 1886). On pourrait s'amuser également à repérer la stabilisation de la tête dans le plan sagittal au cours de ces différents sauts.

# Contrôle moteur

---

## V- La posture

### G) La régulation posturale

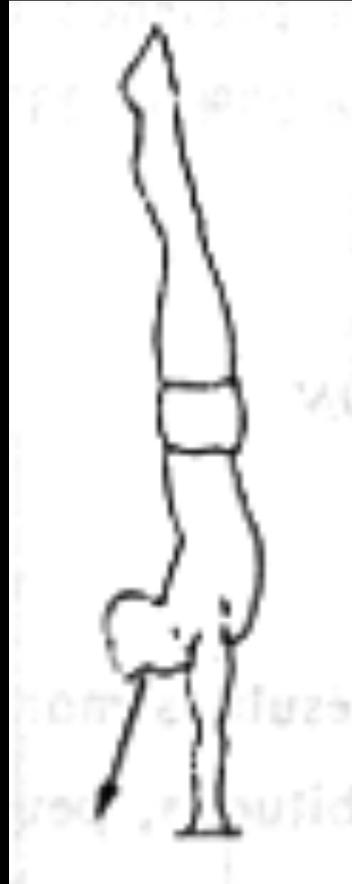
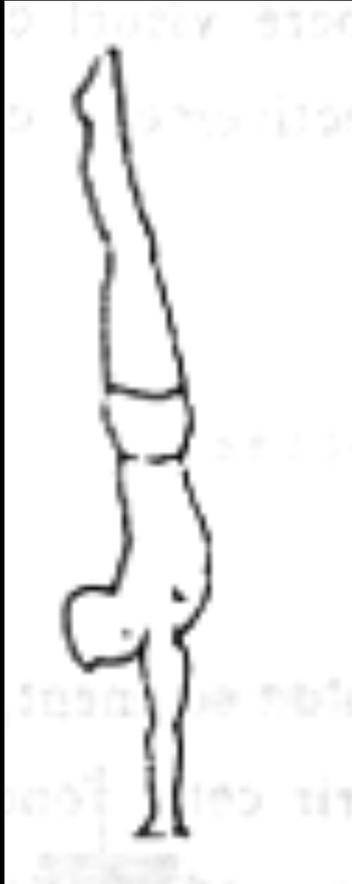
q1) Stabilisation de la tête

q2) Une conception descendante

q3) Plan de Francfort

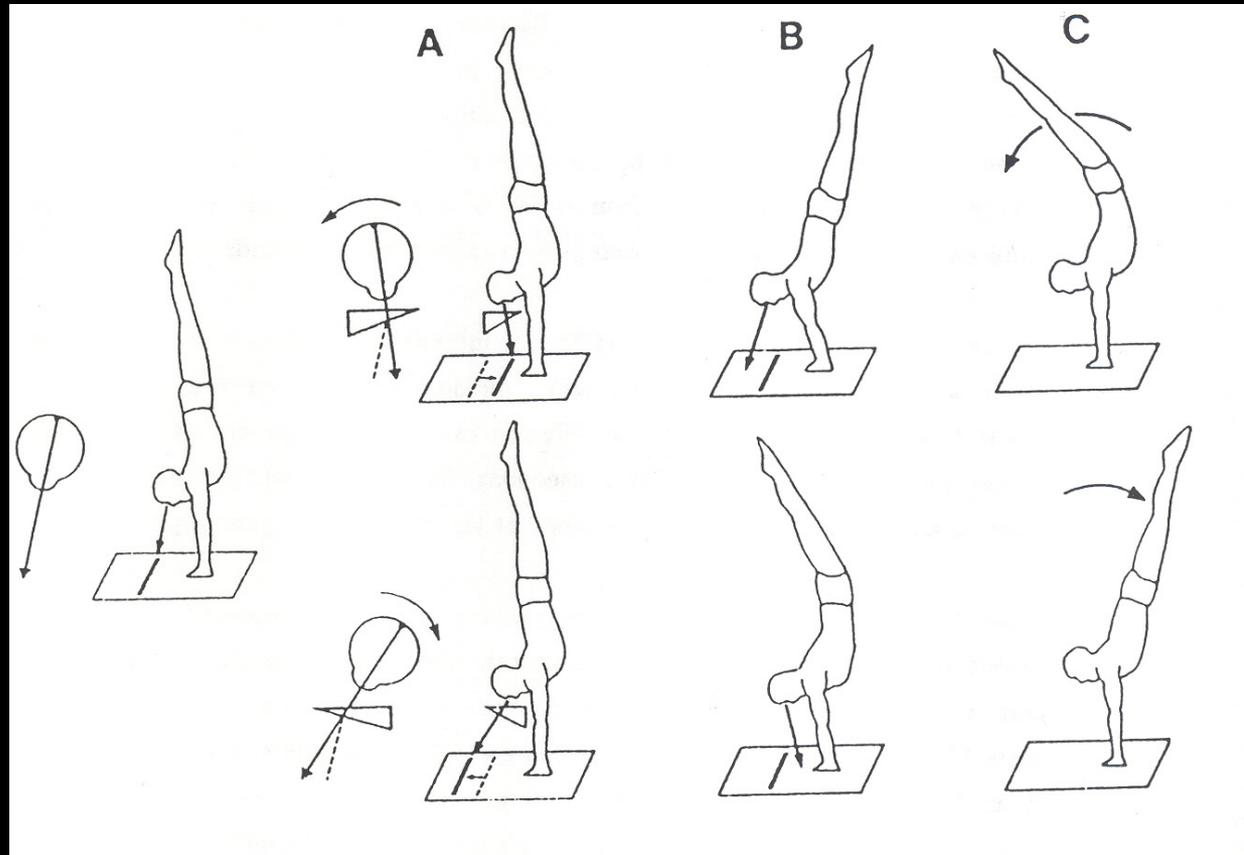
q4) Ancrage directionnel du regard

# Contrôle moteur



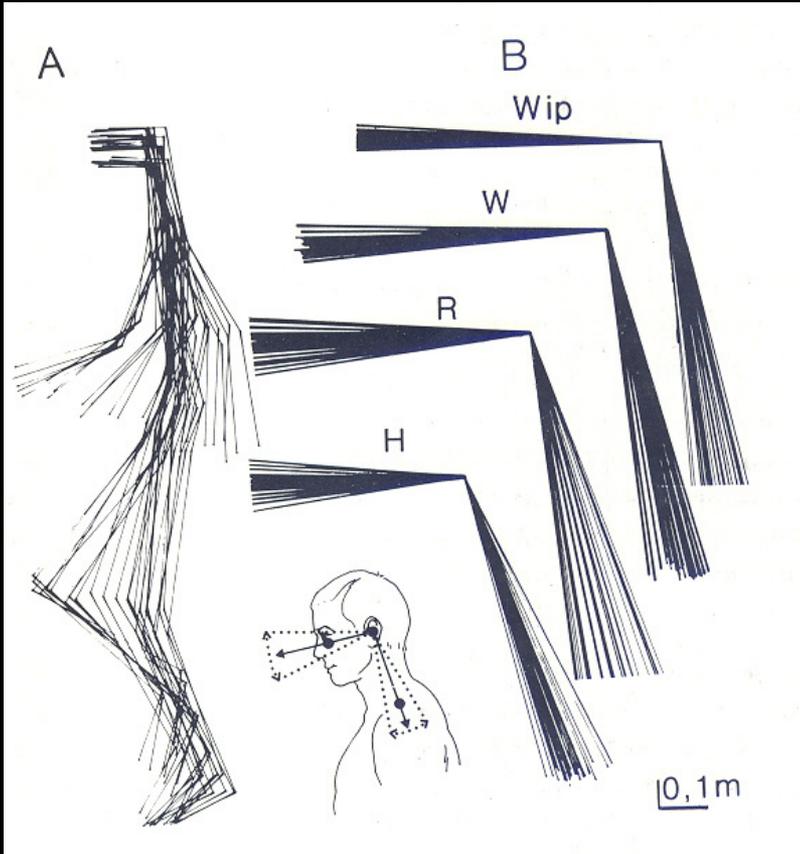
Positionnement du regard  
du gymnaste sur un  
repère (d'après Pozzo,  
1990)

# Contrôle moteur



Effets perceptifs et posturaux en vision prismatique. Illustration de la déviation visuelle prismatique (A), de la position perçue du corps (B) et des réajustements posturaux consécutifs (C) induits par les prismes à bases supérieures (en haut) et à bases inférieures (en bas). Pozzo, 1990.

# Contrôle moteur

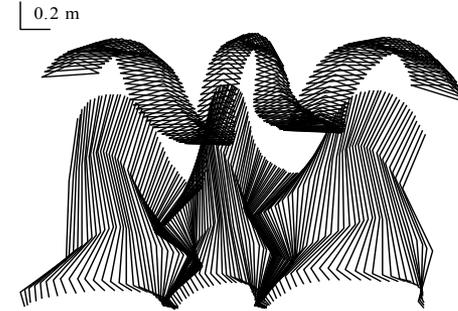
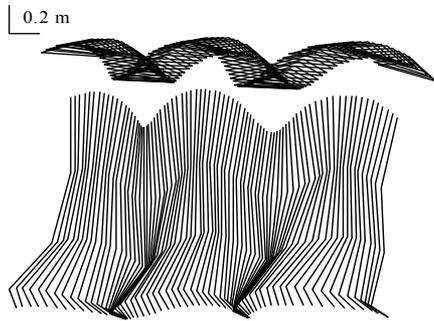


Déplacements angulaires de la tête au cours des 4 conditions.

A) Diagrammes en bâtons d'un sujet courant sur place. Le plan de Francfort est stable dans une position proche de l'horizontale.

B) Liaisons définies par les 3 marqueurs placés sur la tête et le trapèze au cours de la marche (W), de la marche sur place (Wip), de la course (R) et du saut à cloche pied (H). Pozzo, 1990.

# Contrôle moteur



Vue latérale du mouvement selon les axes X et Z du laboratoire. Exemple typique pour 2 sujets de saut triple avec enchaînement en vision normale. Le sujet se déplace de la gauche vers la droite. La partie supérieure de chaque graphique représente la tête et la partie inférieure une suite de liens entre les épaules, les hanches, les genoux, les chevilles et les pieds. Le tracé est réalisé à 60 images par seconde (d'après Vieilledent et coll, 2000).

# Contrôle moteur

---

Introduction

I - Le mouvement

II - Le contrôle moteur

III- Organisation et contrôle du mouvement

IV- Equilibre et équilibration

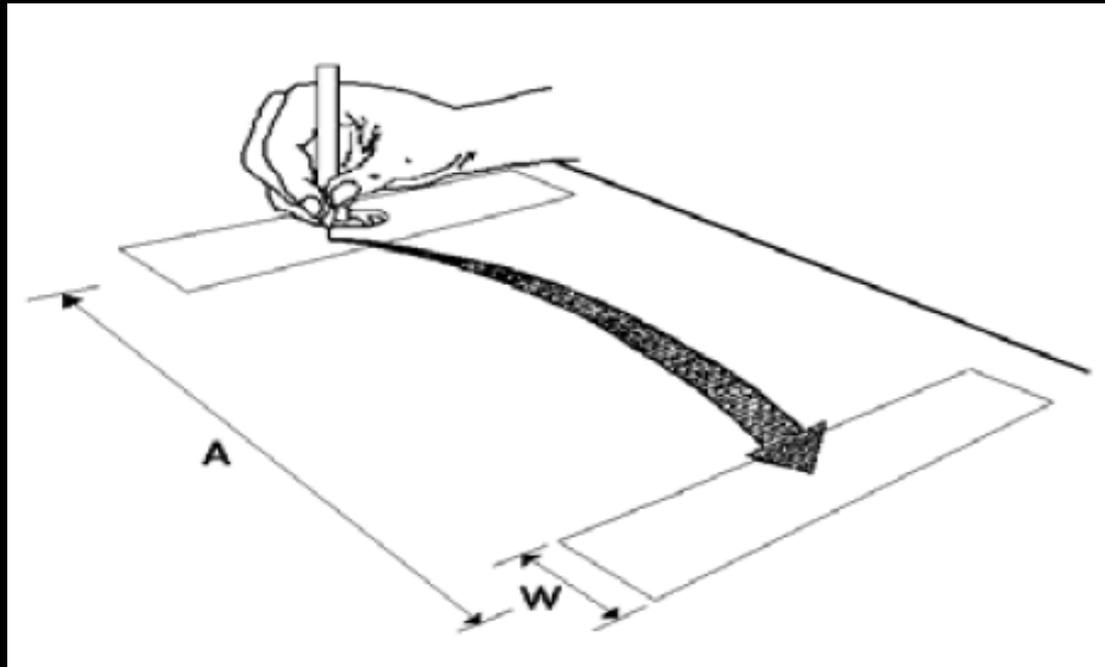
V- La posture

VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

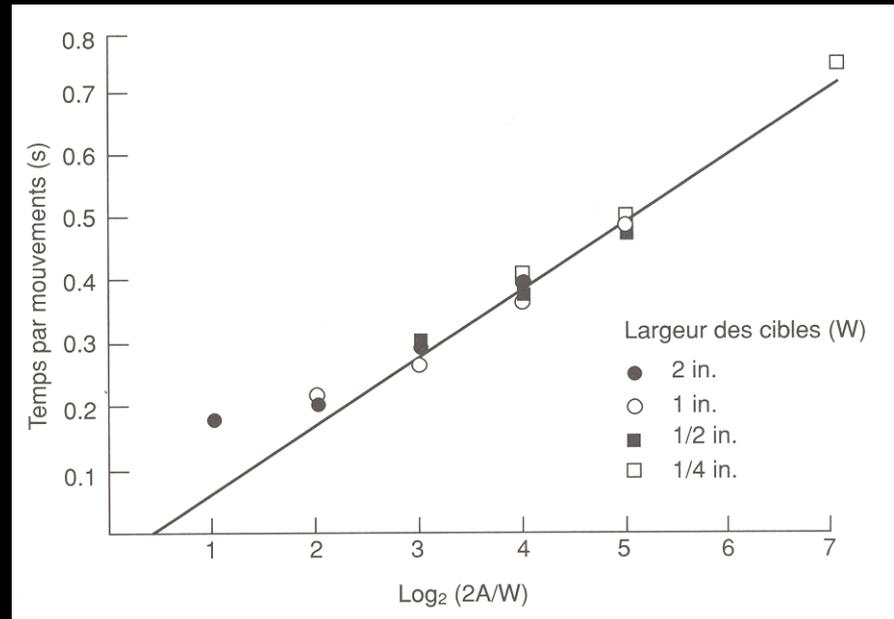
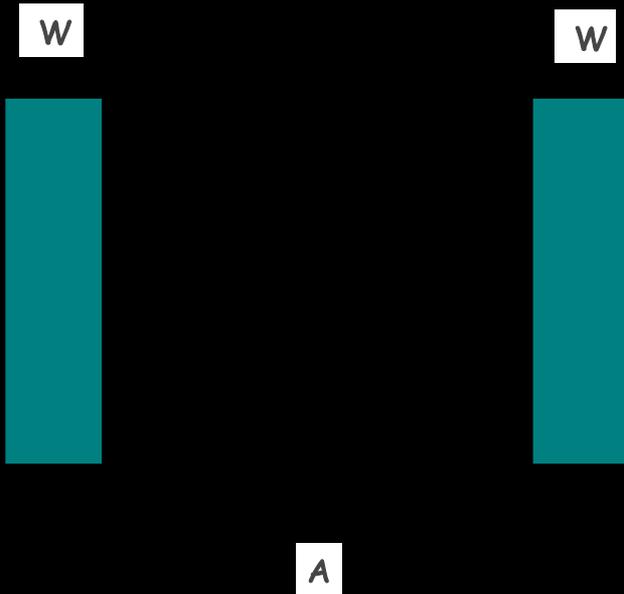
# Contrôle moteur

Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts



Paradigme expérimental proposé par Fitts (1954)

# Contrôle moteur



Paradigme expérimental.  
Fitts (1954)

Fonction linéaire de la loi de Fitts

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

## V- La posture

## VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

## VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

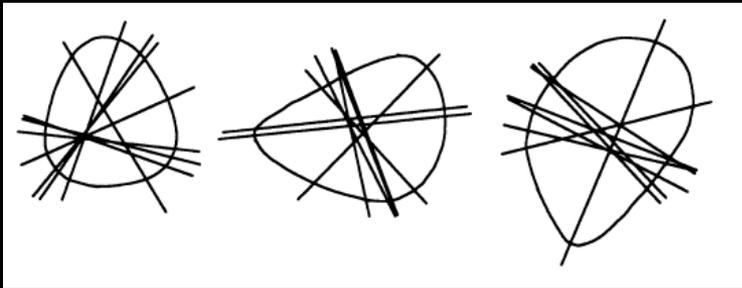
## VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

# Contrôle moteur

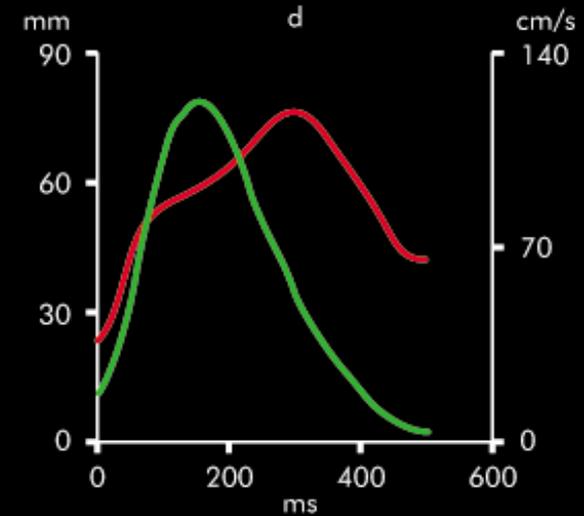


Localiser et saisir

# Contrôle moteur

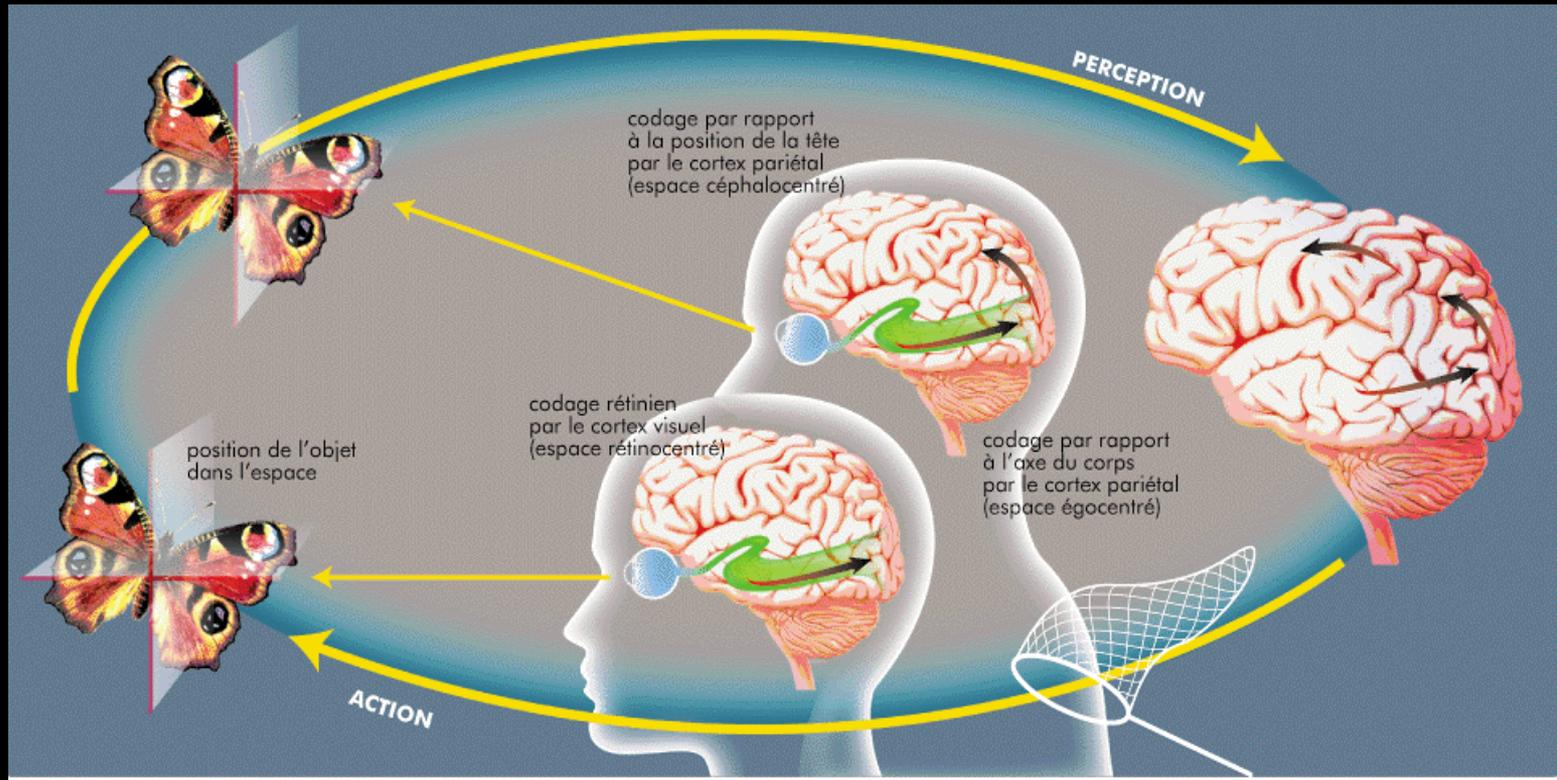


Lignes de saisie (joignant les points où l'index et le pouce établissent en premier le contact avec la forme de l'objet). Goodale & Humphrey, 1998.



La main vers l'objet. Le geste de saisie d'un objet se décompose en deux phases ; une phase de transport de la main à proximité de l'objet, et une phase de formation de la pince de saisie.

# Contrôle moteur



De l'objet au cortex et du cortex à l'objet.

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

## V- La posture

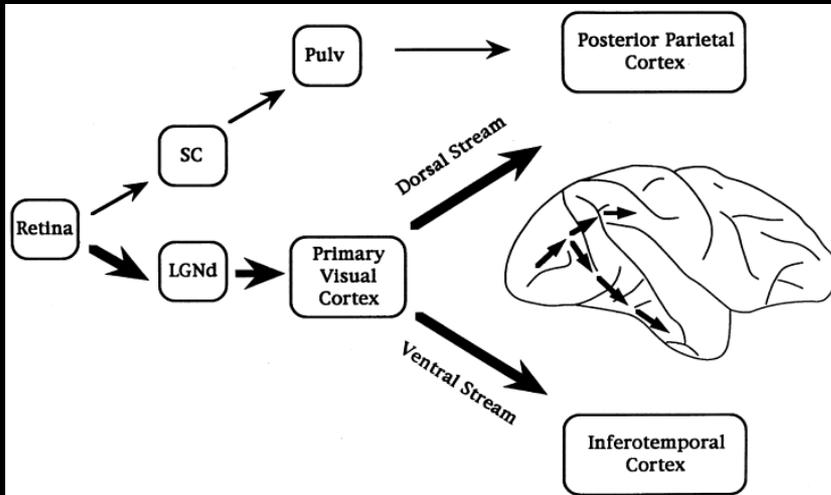
## VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

## VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

## VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

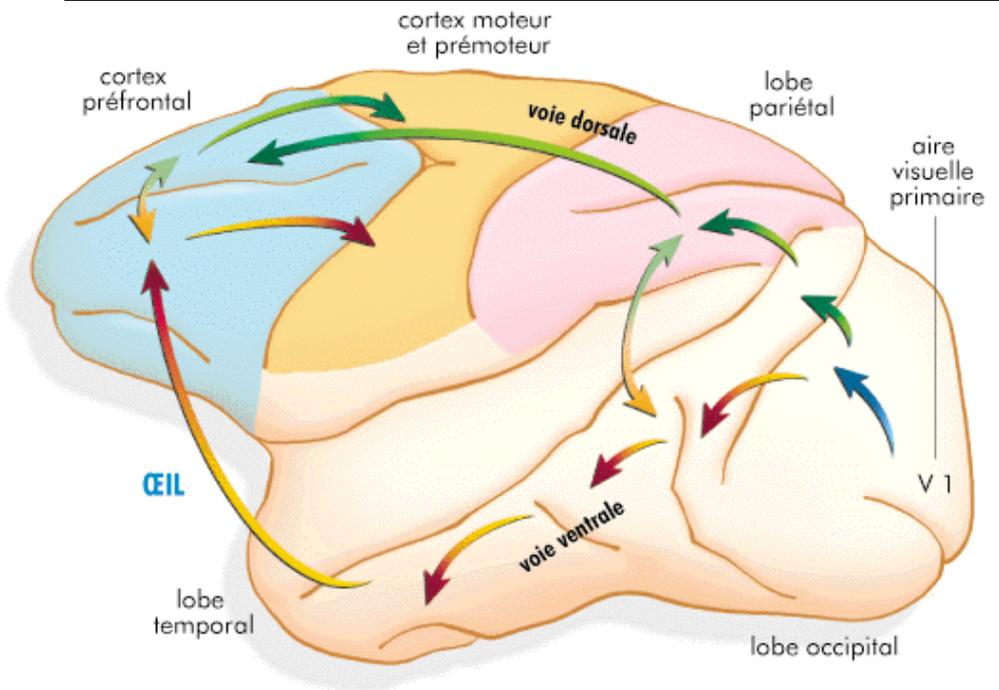
### A) Les voies mises en jeu

# Contrôle moteur



Deux voies distinctes mais coordonnées.

Goodale, 1998.



# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

## V- La posture

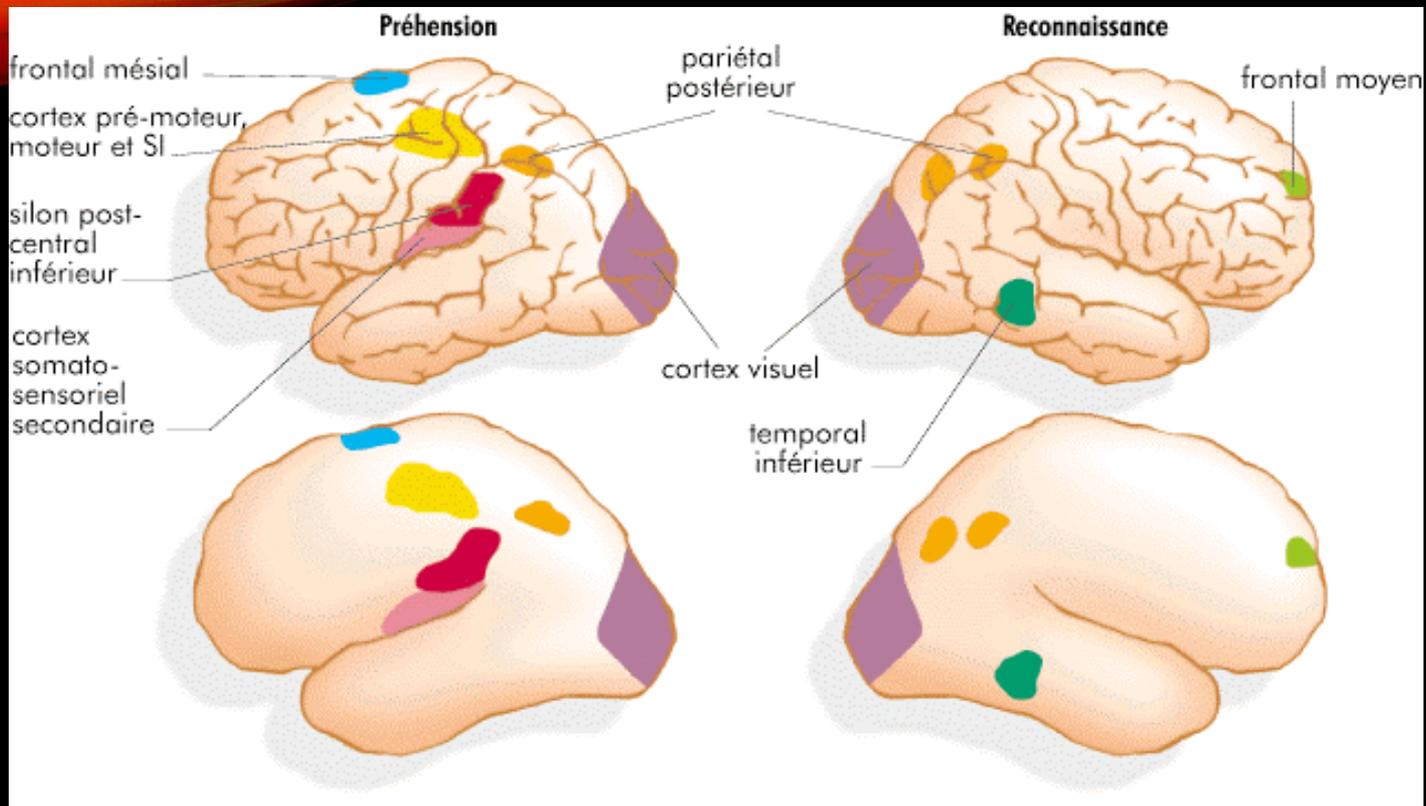
## VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

## VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

## VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

### A) Les voies mises en jeu

### B) Actions coordonnées des deux voies



Activation cérébrale comparée lors d'une tâche visuo-motrice (à gauche, saisie) et lors d'une tâche perceptive (à droite) portant sur les mêmes objets. La tâche visuo-motrice, effectuée avec la main droite, implique uniquement la voie dorsale, tandis que la tâche perceptive implique la voie ventrale (cortex inféro-temporal) et la voie dorsale. Jeannerod, 1998.

# Contrôle moteur

---

## Introduction

## I - Le mouvement

## II - Le contrôle moteur

## III- Organisation et contrôle du mouvement

## IV- Equilibre et équilibration

## V- La posture

## VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

## VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

## VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

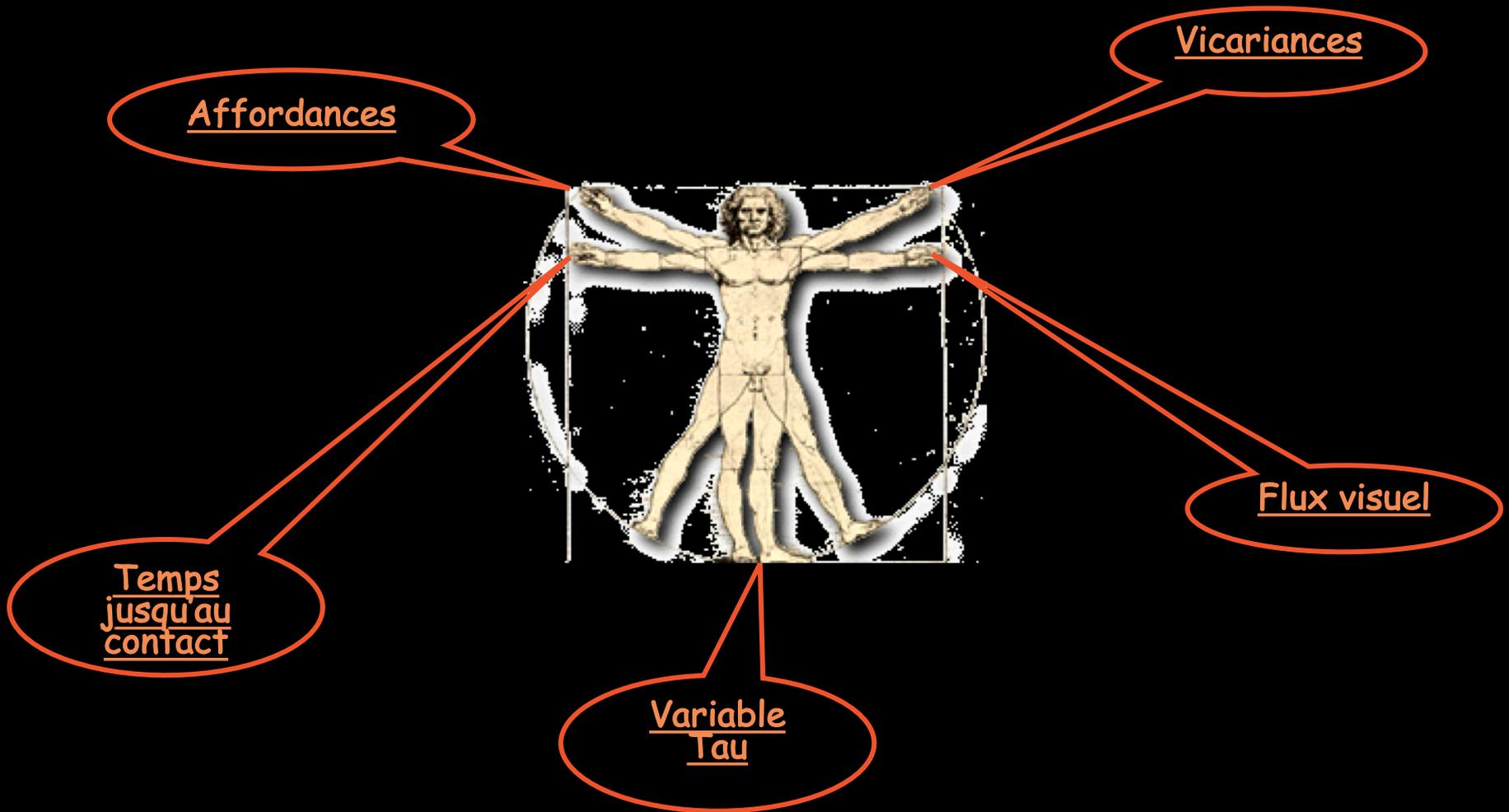
## IX- Un autre aspect du contrôle moteur : les désordres du mouvement volontaire

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

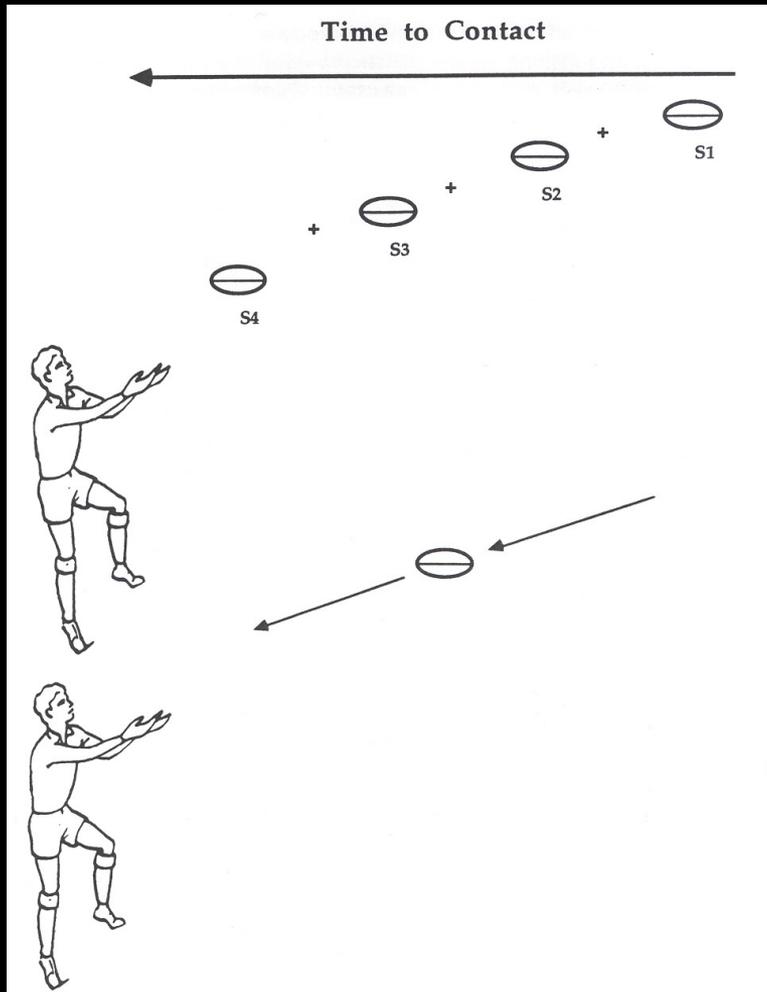
### A) L'approche écologique

# Contrôle moteur

## Mots clés



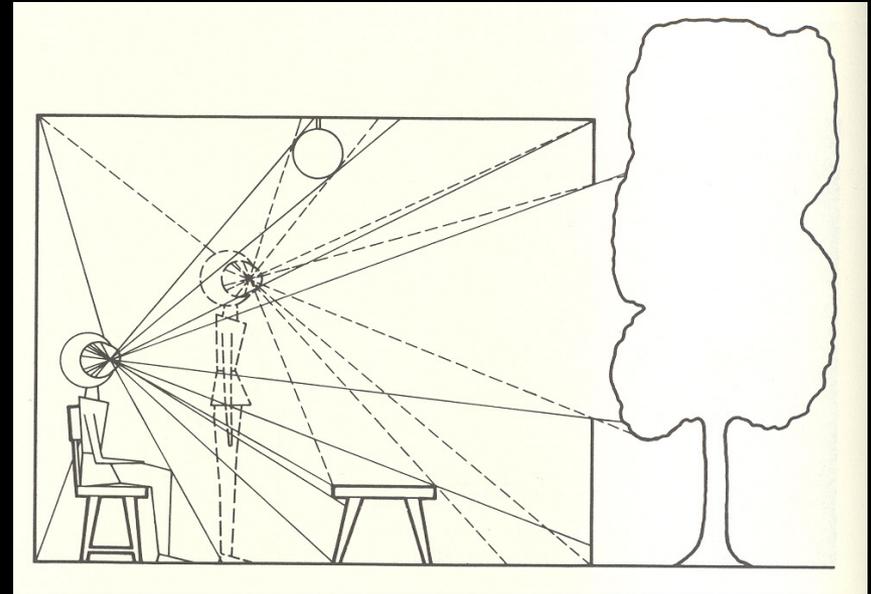
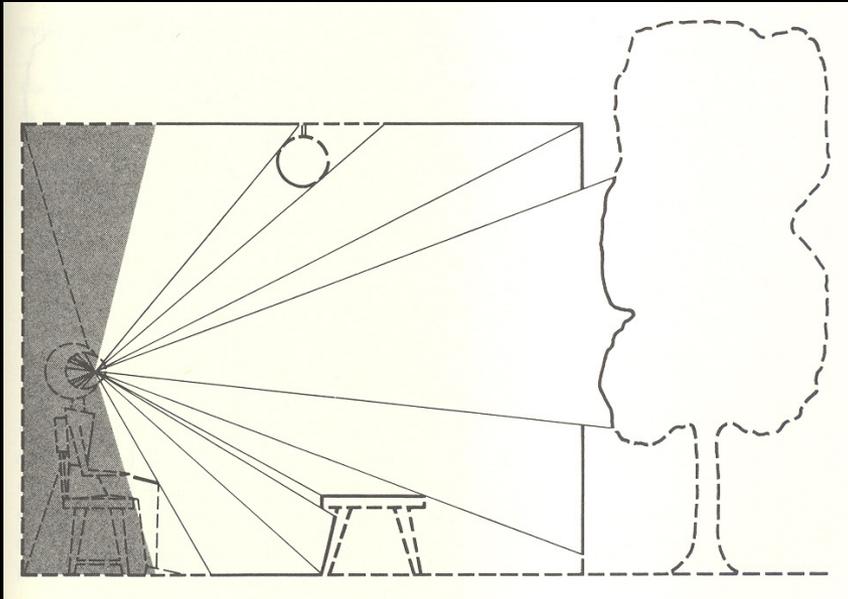
# Contrôle moteur



Diagrammes représentant les différences conceptuelles entre les approches respectives de la perception de l'espace et du temps. Le diagramme supérieur rappelle l'échantillonnage discret prévalant dans les théories indirectes. Par contraste, le diagramme inférieur décrit l'approche de la perception directe où l'information est considérée comme étant directement perçue au cours du temps et ne nécessite donc pas une reconstruction.

D'après Michaels & Carello, 1981. *In Williams et al., 1992*

# Contrôle moteur



Deux dispositifs optiques différents selon la position du sujet (Gibson, 1979)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

### III- Organisation et contrôle du mouvement

### IV- Equilibre et équilibration

### V- La posture

### VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

### VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

### VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

### IX- Un autre aspect du contrôle moteur : les désordres du mouvement volontaire

### X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

#### A) L'approche écologique

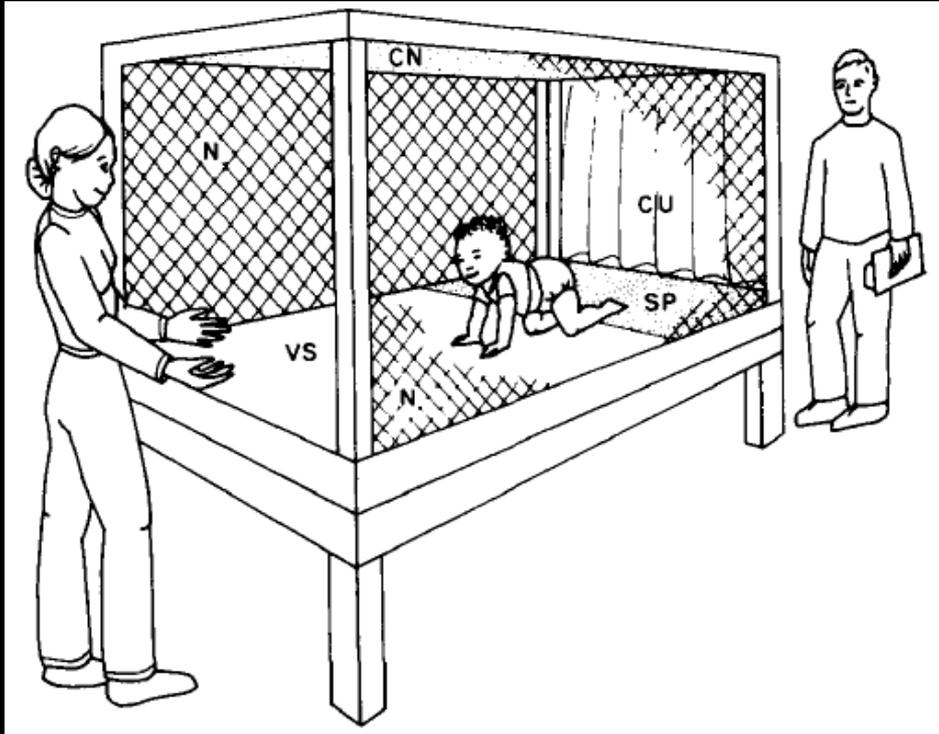
##### a1) La notion d'affordance

# Contrôle moteur

Séparer les affordances de l'information disponible permet la distinction entre les rejets corrects et les affordances perçues, cachées ou fausses. D'après Gaven, 1991.

		Affordance	
		Oui	Non
Information perceptive	Oui	Affordance perceptible	Fausse affordance
	Non	Affordance cachée	Rejet correct

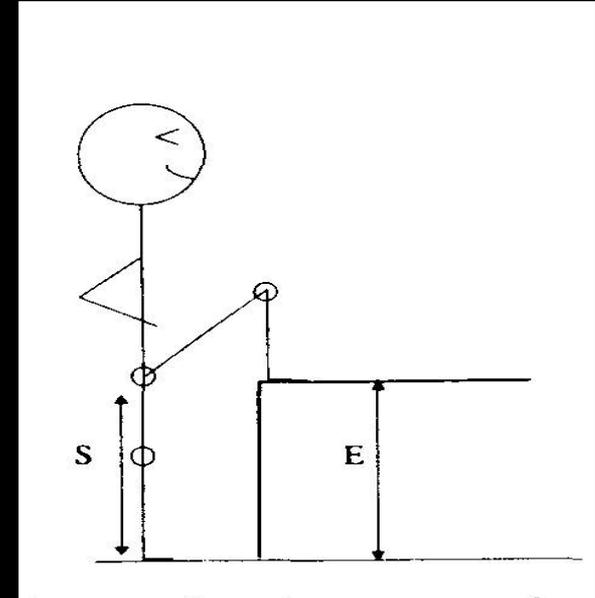
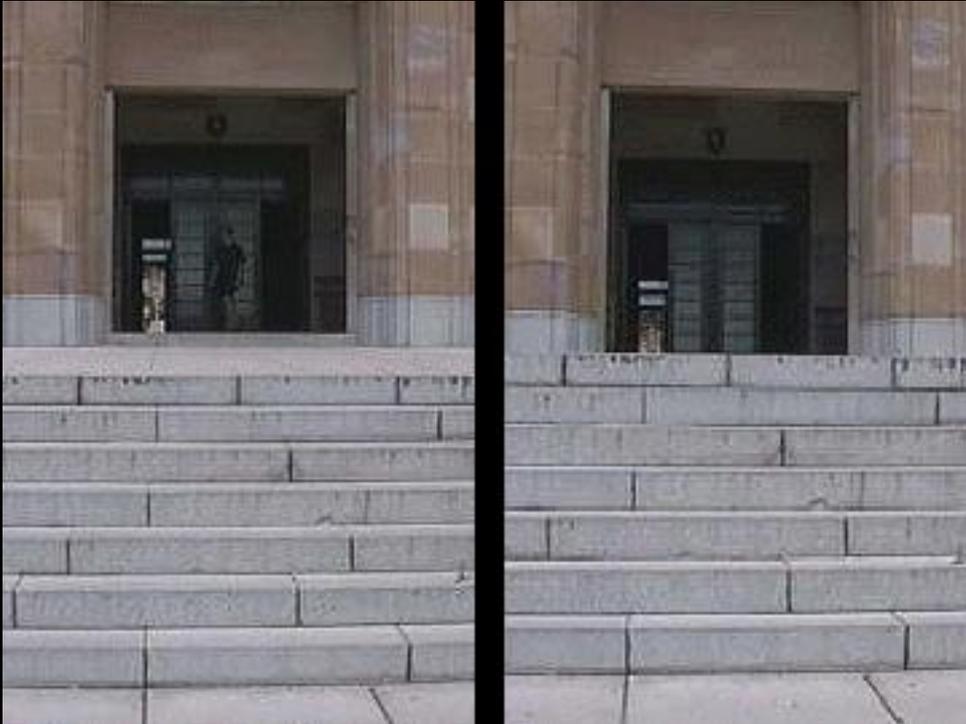
# Contrôle moteur



D'après Gibson, E. J. et al., 1987.

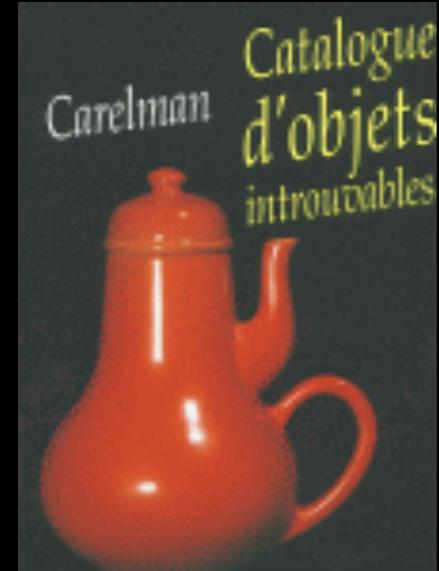
Protocole expérimental. La maman du sujet se trouve à l'extrémité de la surface à parcourir, un expérimentateur étant situé, caché, au départ. CU = rideau, VS = surface variable, CN = baldaquin, N = filetes de protection, SP = plate-forme de départ.

# Contrôle moteur



Mise en relation des paramètres individuels (morphologie, données biomécaniques, etc.) du sujet et de la situation. Ici, la longueur ( $S$ ) des membres inférieurs et la hauteur ( $E$ ) des marches. Travaux de Warren, 1984, source schéma Temprado & Montagne, 2001

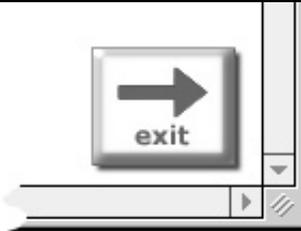
# Contrôle moteur



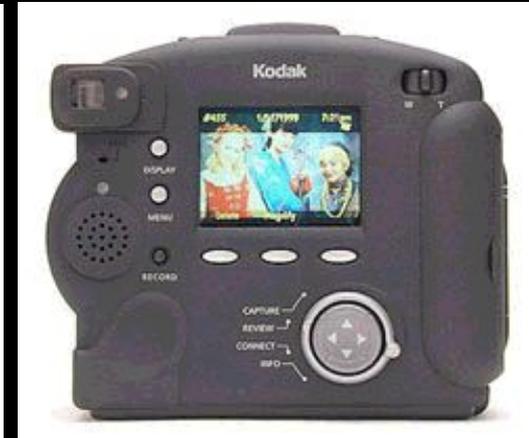
Affordances, ...



The doorknob affords twisting and pushing. The keyhole affords poking in and turning a key ... and peeking!



The multimedia "pushbutton" affords pointing (since it has a boundary to act as a target) and clicking (since it has dimension, suggesting that there is room for it to depress).



# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

### III- Organisation et contrôle du mouvement

### IV- Equilibre et équilibration

### V- La posture

### VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

### VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

### VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

### IX- Un autre aspect du contrôle moteur : les désordres du mouvement volontaire

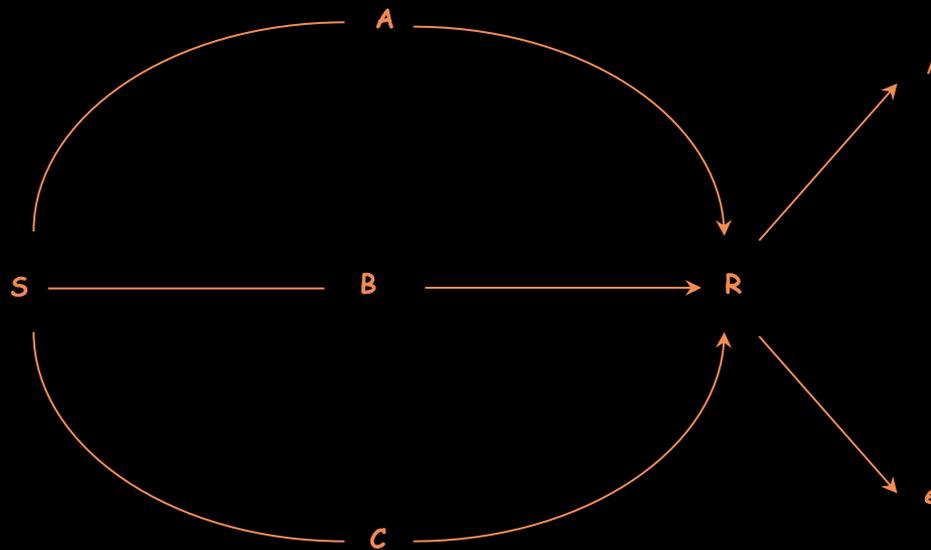
### X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

#### A) L'approche écologique

##### a1) La notion d'affordance

##### a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

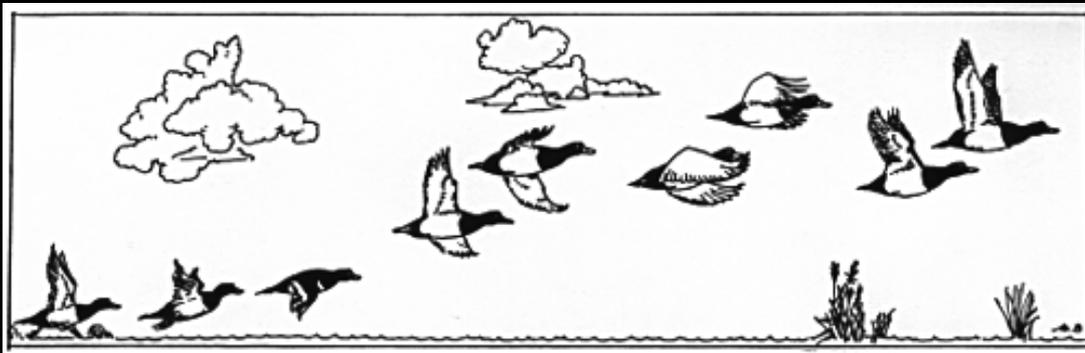
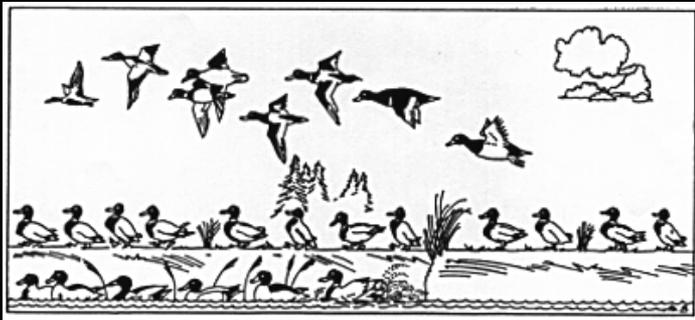
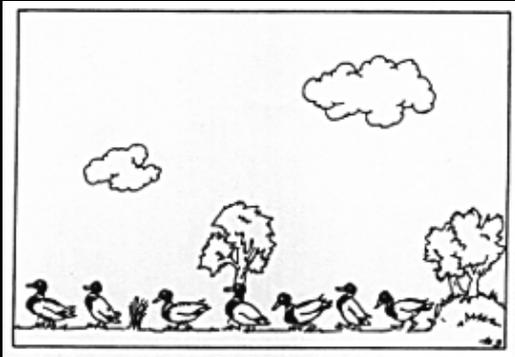
# Contrôle moteur



Forme générale du modèle proposé pour la vicariance.

D'après Reuchlin, 1978.

# Contrôle moteur



Une illustration possible de la notion de vicariance. Ici, le facteur qui crée les changements d'action est la distance. Les canards marchent sur une courte distance (en haut à gauche), nagent, marchent ou volent sur une distance moyenne (en haut à droite) et volent tous sur une longue distance (bas) (d'après Ohlmann, 1993). Ces vicariances mettent en jeu ce que Gibson (1979) appelaient des affordances.

# Contrôle moteur

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

### III- Organisation et contrôle du mouvement

### IV- Equilibre et équilibration

### V- La posture

### VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

### VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

### VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

### IX- Un autre aspect du contrôle moteur : les désordres du mouvement volontaire

### X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

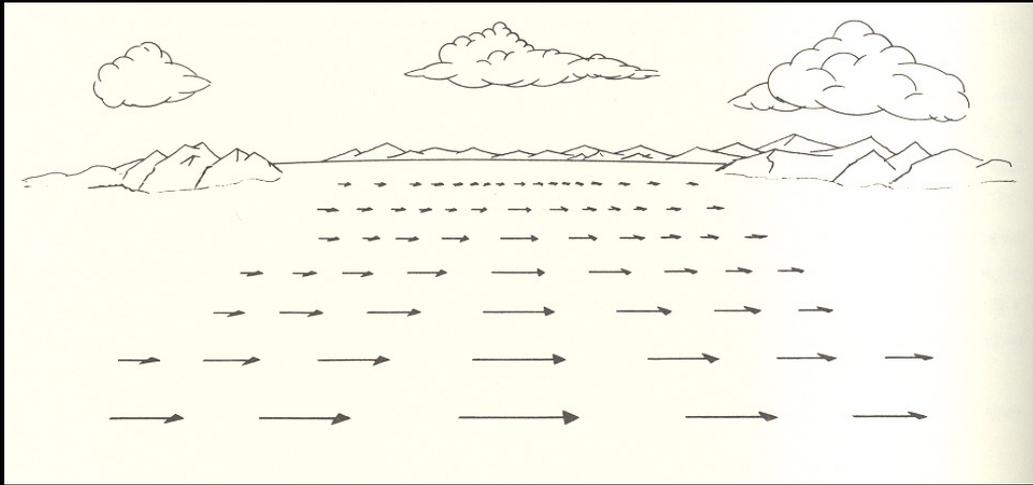
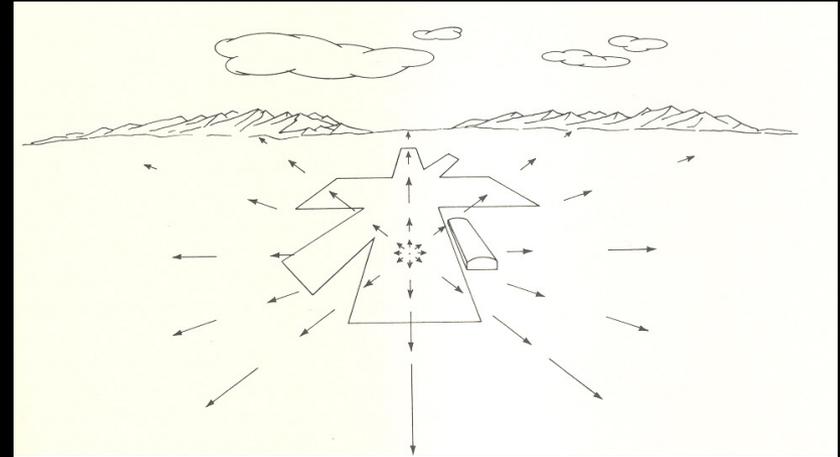
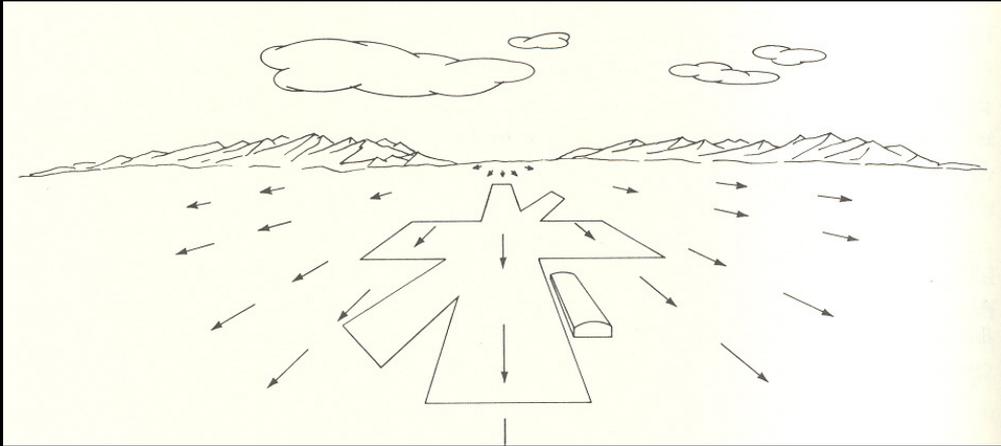
#### A) L'approche écologique

##### a1) La notion d'affordance

##### a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

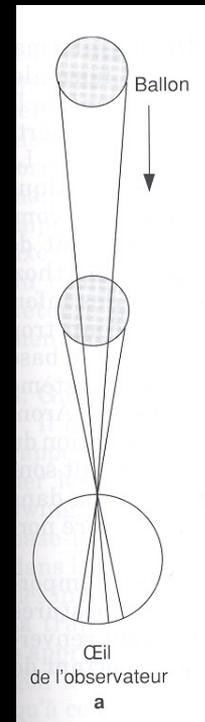
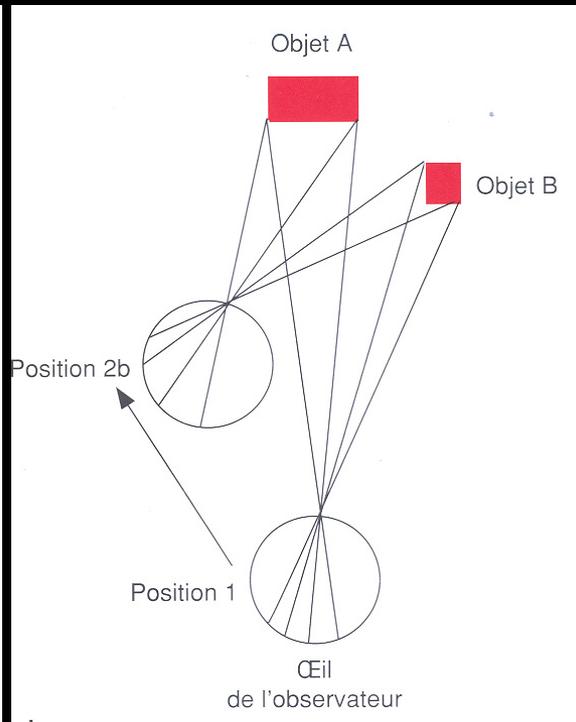
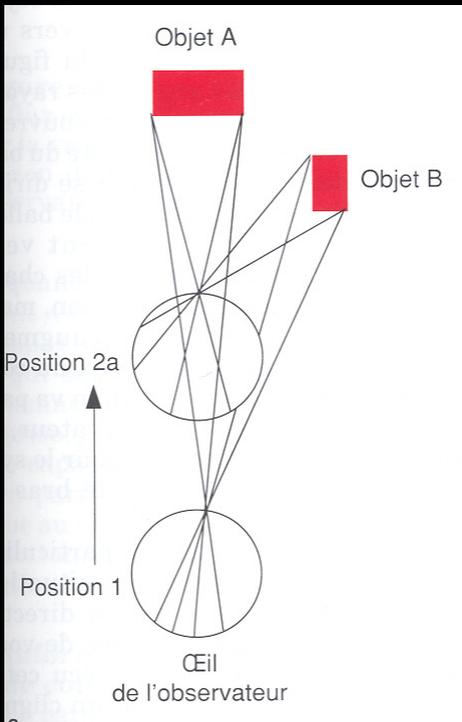
##### a3) Le flux optique

# Contrôle moteur



Différents flux optiques  
selon les actions (les)  
déplacements des sujets  
(Gibson, 1979)

# Contrôle moteur



Variations du flux optique lorsque le sujet se déplace (d'après Schmidt, 1993)

Variations du flux optique lorsque l'environnement se déplace (d'après Schmidt, 1993)

# Contrôle moteur

---

## Introduction

### I - Le mouvement

### II - Le contrôle moteur

### III- Organisation et contrôle du mouvement

### IV- Equilibre et équilibration

### V- La posture

### VI- Notion de fonction de coût, d'optimisation

### VII- Un principe caractéristique du contrôle moteur : la loi de Fitts

### VIII- Un exemple particulier : localiser et saisir

### IX- Un autre aspect du contrôle moteur : les désordres du mouvement volontaire

### X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

#### A) L'approche écologique

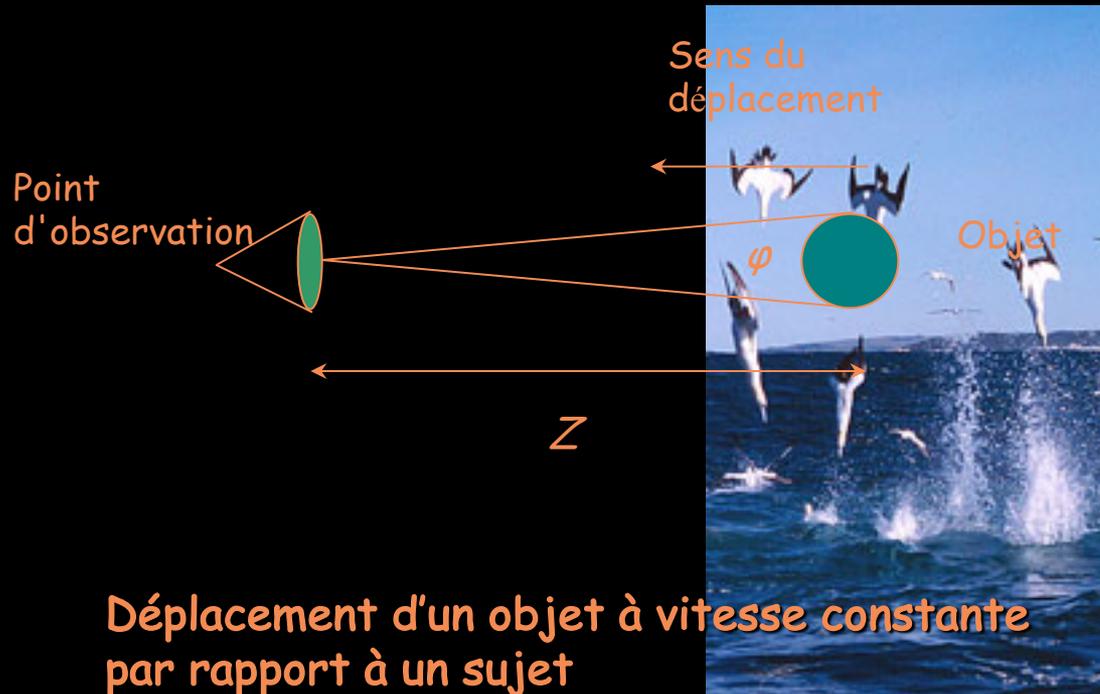
##### a1) La notion d'affordance

##### a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

##### a3) Le flux optique

##### a4) Le temps jusqu'au contact

# Contrôle moteur



# Contrôle moteur

---

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

Critique de tau et proposition de rapprochement

En guise de remarque conclusive sur cette approche

### B) L'approche dynamique

# Contrôle moteur

## Mots clés

Paramètre  
d'ordre

Structure  
dissipative

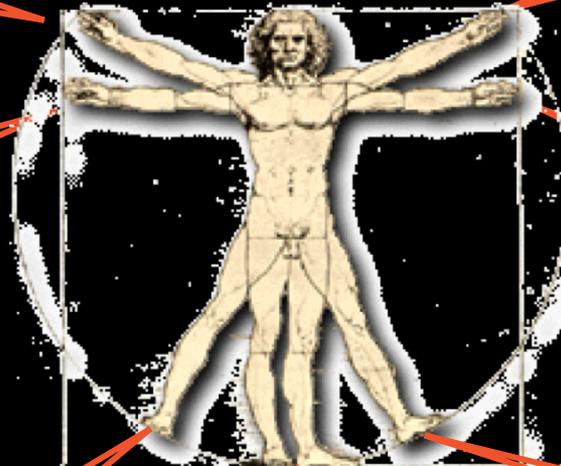
Paramètre de  
contrôle

Attracteur  
s

Transition de  
phase

Auto  
organisatio  
n

Oscillateur  
s



# Contrôle moteur

---

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

Critique de tau et proposition de rapprochement

En guise de remarque conclusive sur cette approche

### B) L'approche dynamique

b1) La notion d'émergence

b2) L'auto organisation d'un système - l'auto organisation du vivant

# Contrôle moteur

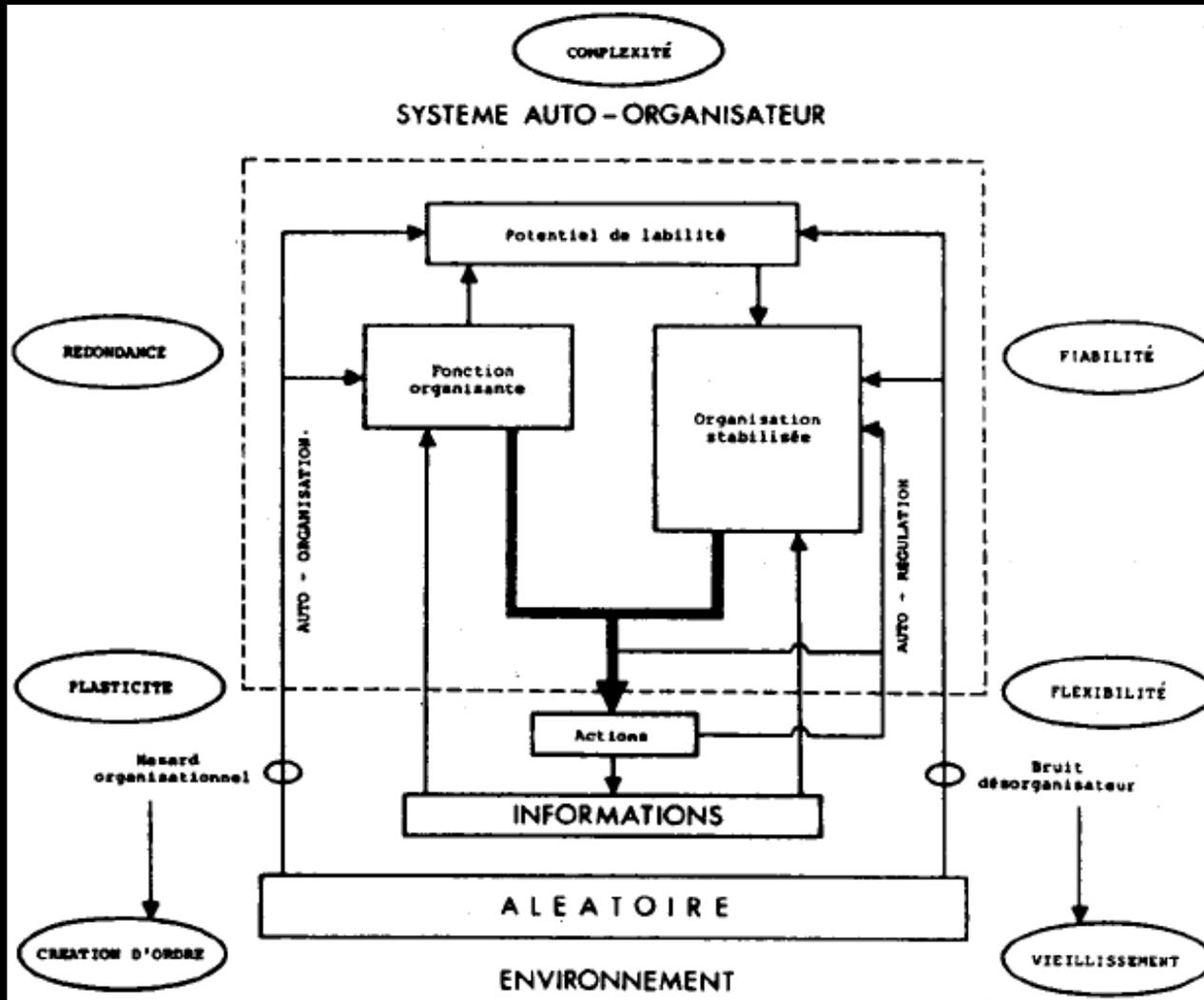


Schéma d'un système auto-organisateur. (In Paillard, 1983, d'après J. Paillard, 1980).

# Contrôle moteur

---

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

Critique de tau et proposition de rapprochement

En guise de remarque conclusive sur cette approche

### B) L'approche dynamique

b1) La notion d'émergence

b2) L'auto organisation d'un système - l'auto organisation du vivant

b3) L'auto organisation dans le cadre de l'approche dynamique

# Contrôle moteur

---

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

### Critique de tau et proposition de rapprochement

### En guise de remarque conclusive sur cette approche

### B) L'approche dynamique

b1) La notion d'émergence

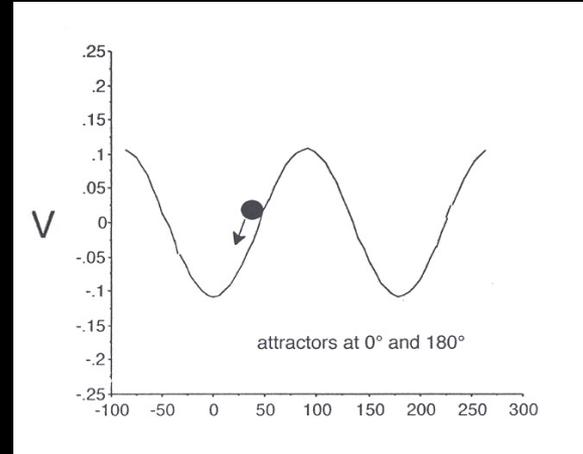
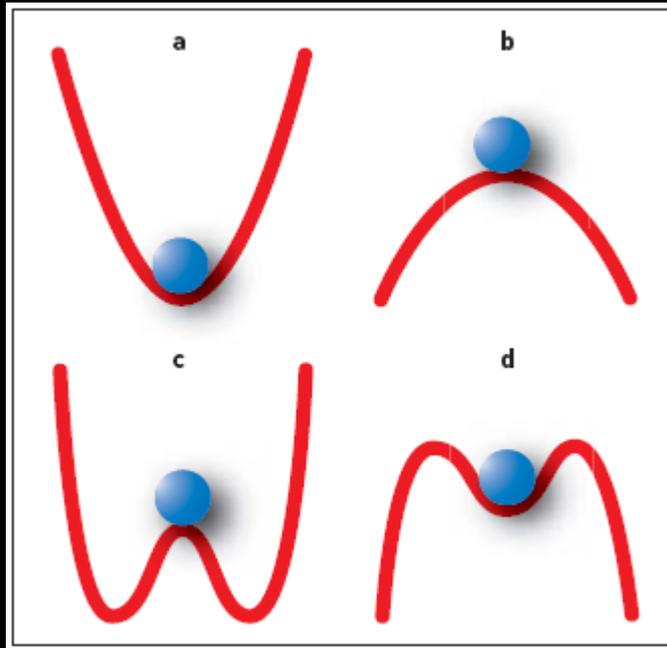
b2) L'auto organisation d'un système - l'auto organisation du vivant

b3) L'auto organisation dans le cadre de l'approche dynamique

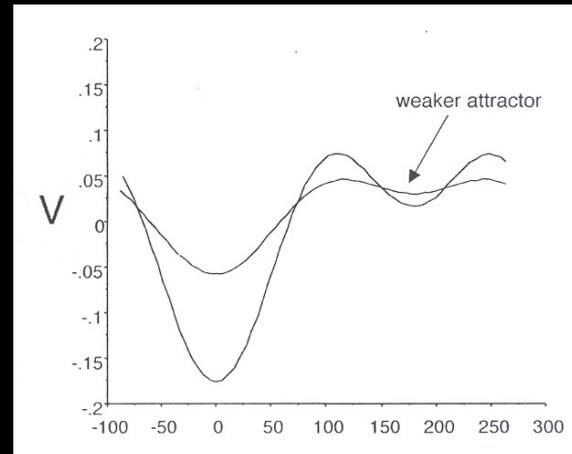
b4) La coordination dynamique

b5) La notion d'attracteur

# Contrôle moteur



Attracteurs à  $0^\circ$   
et à  $180^\circ$ .



Attracteur fort  
et attracteur  
faible

Différents niveaux de stabilité  
et d'instabilité.

Source : Clefs CEA, N° 49,  
2004

Source :  
Schmidt &  
Lee, 1999

# Contrôle moteur

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

### Critique de tau et proposition de rapprochement

### En guise de remarque conclusive sur cette approche

### B) L'approche dynamique

b1) La notion d'émergence

b2) L'auto organisation d'un système - l'auto organisation du vivant

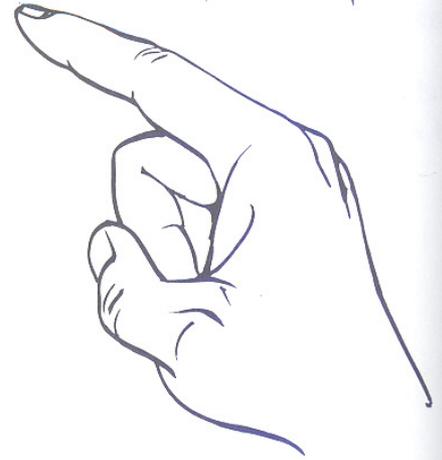
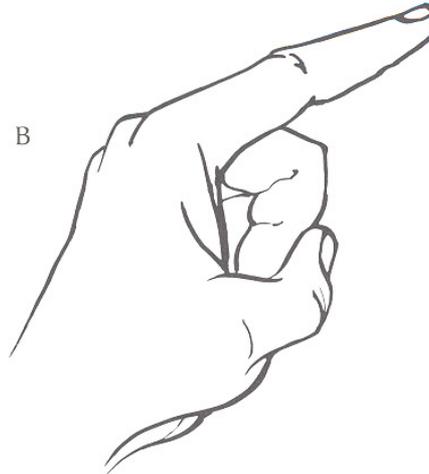
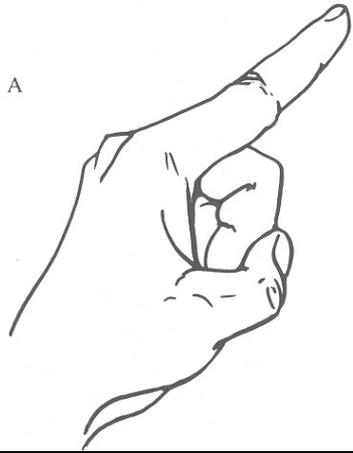
b3) L'auto organisation dans le cadre de l'approche dynamique

b4) La coordination dynamique

b5) La notion d'attracteur

b6) Oscillateurs, phase et anti phase, bifurcation de phase, paramètres d'ordre

# Contrôle moteur



Coordination en anti phase

Coordination en phase

Expérience de Kelso (1981). *In* Temprado & Montagne, 2001.

# Contrôle moteur

---

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

Critique de tau et proposition de rapprochement

En guise de remarque conclusive sur cette approche

### B) L'approche dynamique

C) Conclusion sur les approches écologique et dynamique

# Contrôle moteur

---

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

Critique de tau et proposition de rapprochement

En guise de remarque conclusive sur cette approche

B) L'approche dynamique

C) Conclusion sur les approches écologique et dynamique

D) Et l'osteopathie dans tout ça ?

# Contrôle moteur

## X- D'autres conceptions de l'apprentissage et du contrôle moteur

### A) L'approche écologique

a1) La notion d'affordance

a2) Une notion n'appartenant à l'approche écologique : la vicariance

a3) Le flux optique

a4) Le temps jusqu'au contact

### Critique de tau et proposition de rapprochement

### En guise de remarque conclusive sur cette approche

### B) L'approche dynamique

### C) Conclusion sur les approches écologique et dynamique

### D) Et l'osteopathie dans tout ça ?

a1) la relation posture/mouvement

a2) du système musculo-squeletique au système tissulaire

a3) Adaptations/lésions

a4) degrés de liberté

a5) la notion d'équilibre

a6) de l'intégrité des voies d'information

# Contrôle moteur

## Chaines musculaires crâniennes

- 3 chaînes antéro-postérieures phasiques appelées linguale, faciale et centrale qui assurent l'équilibre antéro-postérieur de l'individu, la mandibule jouant un rôle de régulateur
- 2 chaînes latérales tonico-phasiques appelées masticatrices qui assurent une fonction relationnelle d'introversion ou d'extraversion.

Ces chaînes ont été décrites par G. Struyf-Denys<sup>[6]</sup> puis reprises par B. Darraillans et M. Clauzade en 1989<sup>[7]</sup>.

# Contrôle moteur

## Chaines musculaires crâniennes

L'organisation posturale antéro-postérieure est soumise à une loi orthopédique de compensation :

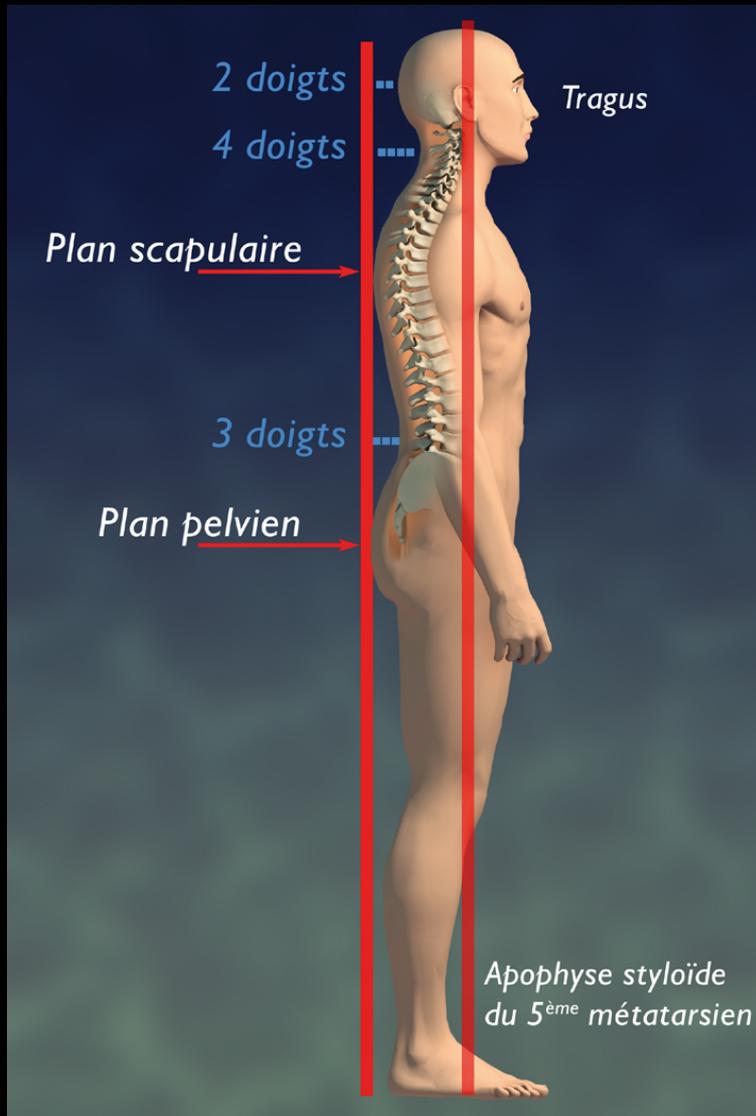
- toute pathologie ou dysmorphose antéro-postérieure crânienne trouve une compensation verticale posturale dans le corps
- toute pathologie verticale posturale dans le corps trouvera une compensation antéro-postérieure dans le crâne

La mandibule joue ainsi le rôle de compensateur antéro-postérieur postural, mais aussi comportemental en régulant les chaînes posturales antérieure et postérieure, c'est-à-dire, linguale et faciale

Ces chaînes ont été décrites par G. Struyf-Denys<sup>[6]</sup> puis reprises par B. Darraillans et M. Clauzade en 1989<sup>[7]</sup>.

# Contrôle moteur

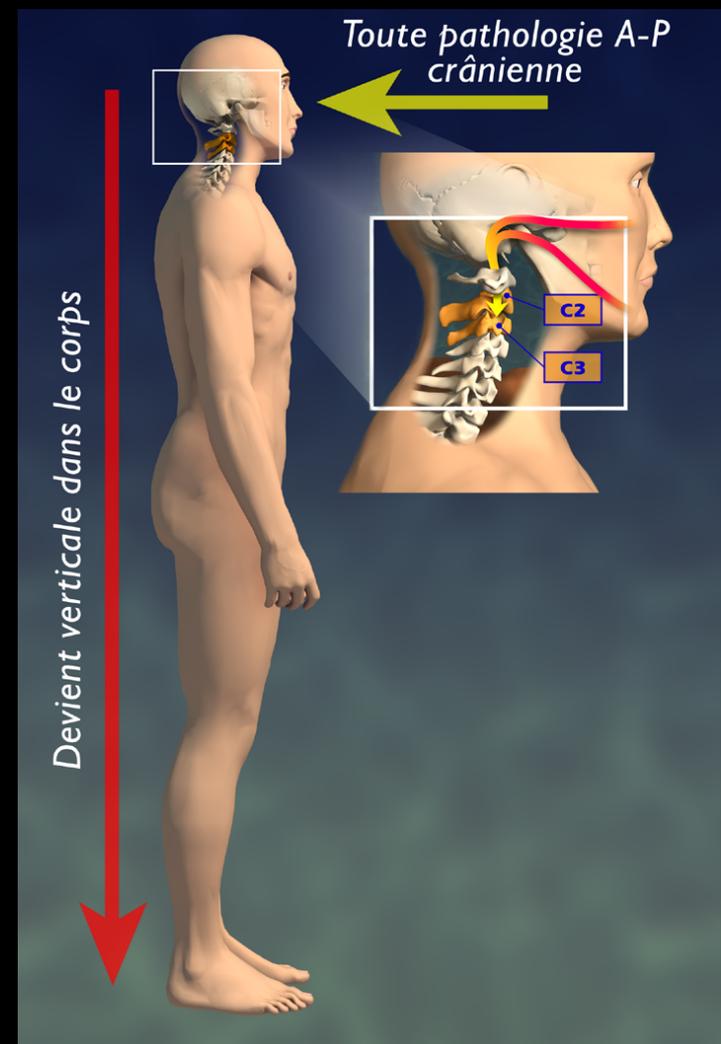
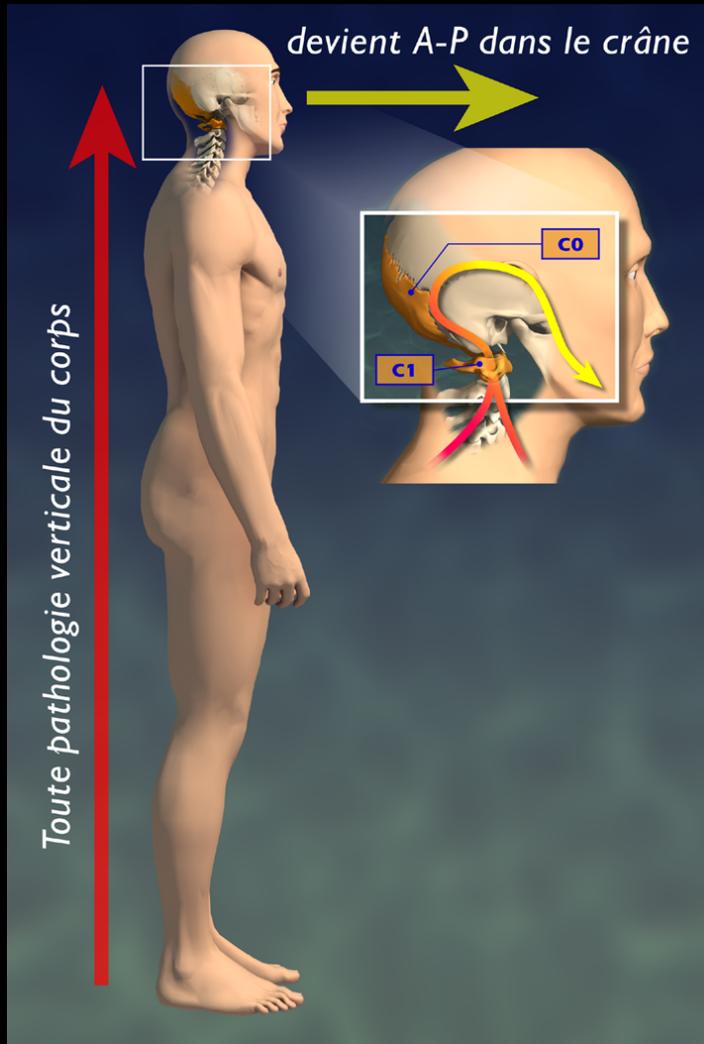
## Chaines musculaires crâniennes



Ces chaînes ont été décrites par G. Struyf-Denys<sup>[6]</sup> puis reprises par B. Darraillans et M. Clauzade en 1989<sup>[7]</sup>.

# Contrôle moteur

## Chaines musculaires crâniennes



# Contrôle moteur

## Chaines musculaires crâniennes

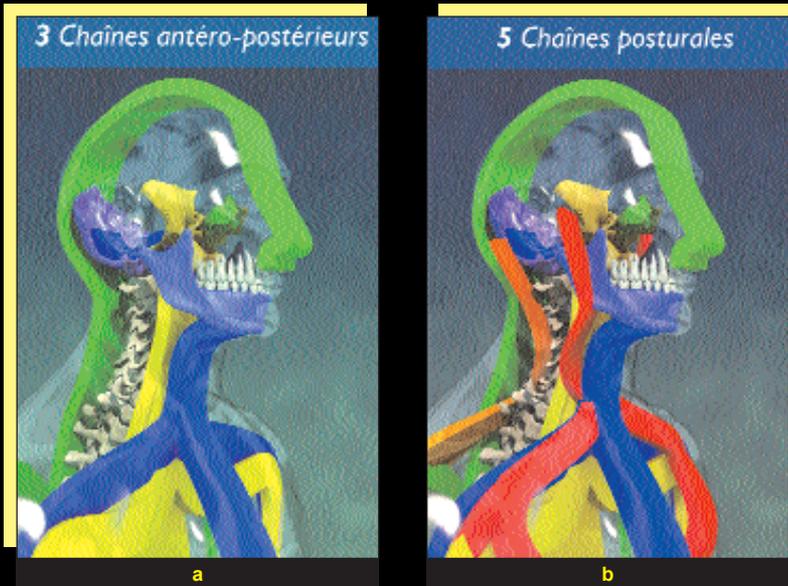


fig. 5 a et 5 b Chaines posturales au niveau crânien.

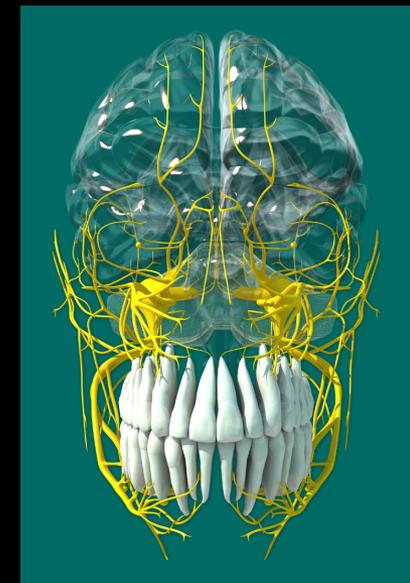
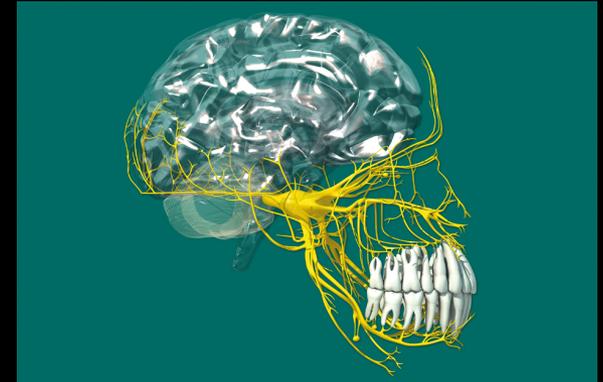
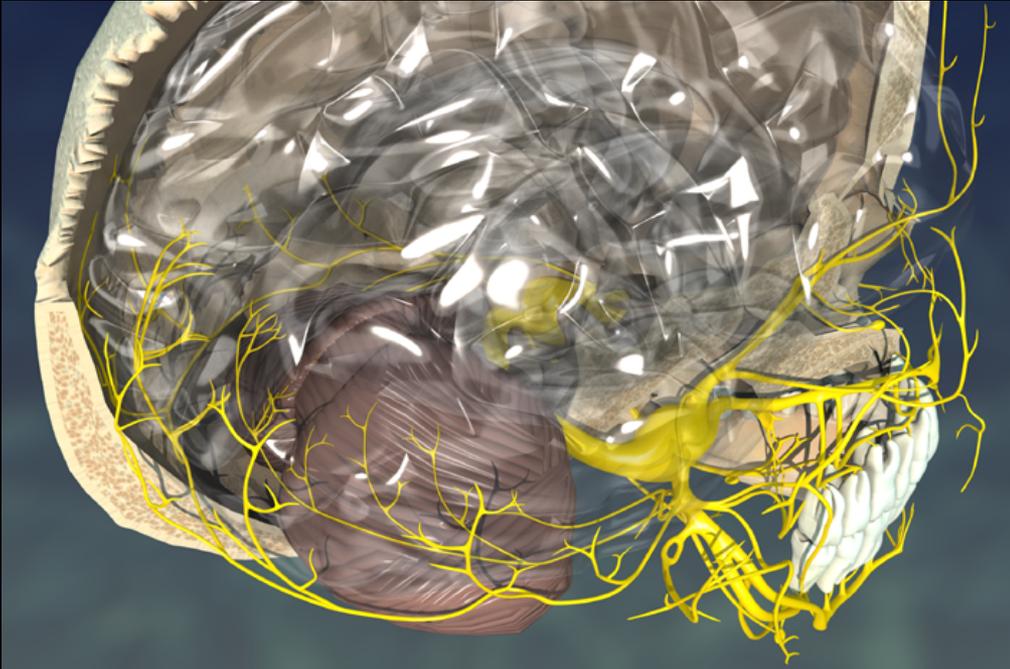
fig. 6 Compensation antéro-postérieure.



Ces chaînes ont été décrites par G. Struyf-Denys<sup>[6]</sup> puis reprises par B. Darraillans et M. Clauzade en 1989<sup>[7]</sup>.

# Contrôle moteur

## Le trijumeau, nerf postural



- informations viscéro-internes par la peau qu'il innerve au niveau du massif facial
- informations musculo-squelettiques par les muscles masticateurs
- informations proprioceptives fines par la dent et le desmodonte

# Contrôle moteur

## Chaines musculaires crâniennes



# Contrôle moteur

## Chaines musculaires crâniennes dans la pathologie

### Posture Asymétrique

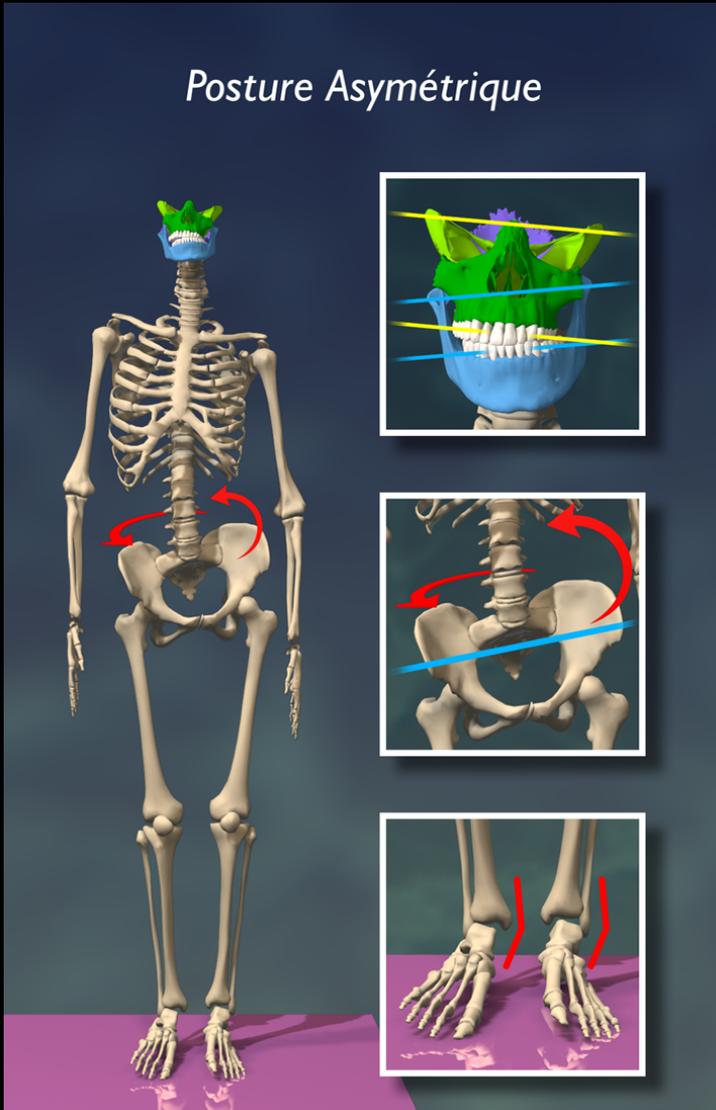
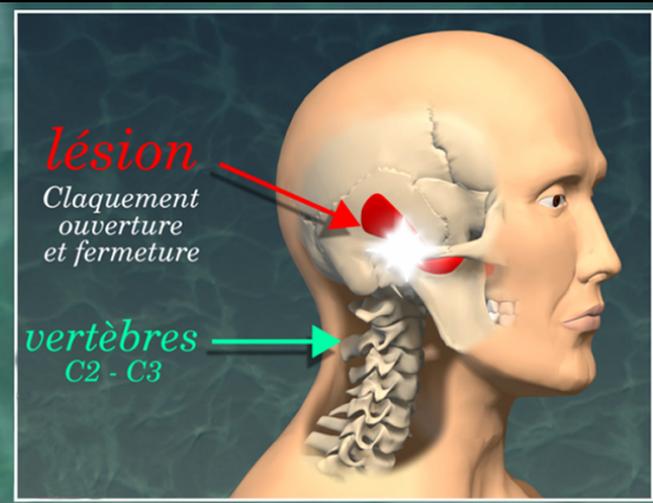
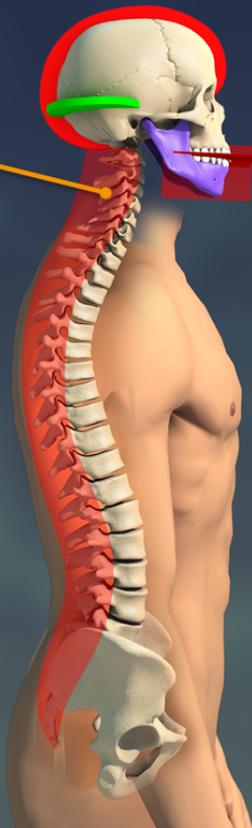


fig. 8 a et 8 b Plans d'occlusion dans le sens sagittal et frontal.

Ces chaînes ont été décrites par G. Struyf-Denys<sup>[6]</sup> puis reprises par B. Darrailans et M. Clauzade en 1989<sup>[7]</sup>.

# Systeme crânio sacré mandibulaire

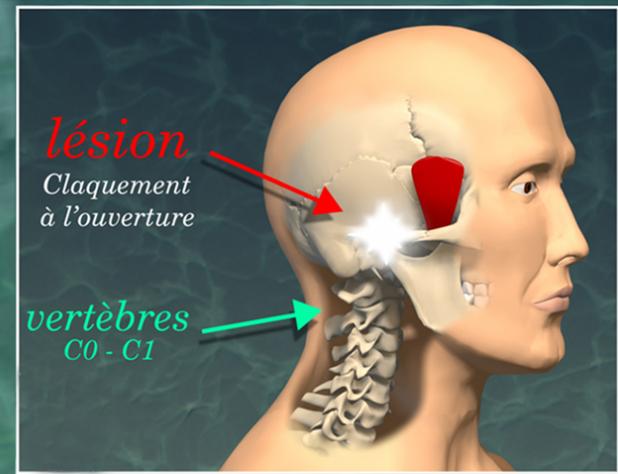
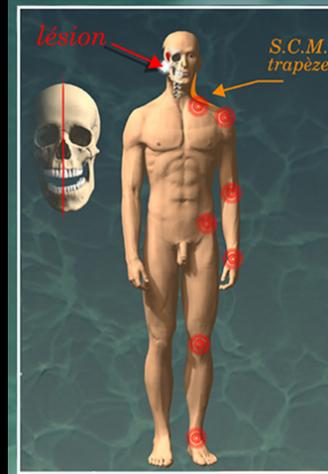
C2 - C3



# Systeme peripherique

C0 - C1

- Peau
- Oeil
- Oculomotricité
- Pied
- Langue
- Vestibule



<http://www.analysedelamarche.fr>

FIN

FAIM

