

CONTRÔLE MOTEUR ET PERFORMANCE

- **Faculté de Médecine de Sousse**
- **Département de Physiologie et des Explorations
Fonctionnelles**
- **Dr LATIRI Imed**

LE CONTRÔLE MOTEUR

- **Contributions sensorielles**
- **Contributions centrales**
- **Le mouvement simple**
- **Les coordinations**

CONTRÔLE

1 - Adaptations de la coordination aux exigences de la tâche à réaliser, de la variabilité des conditions de réalisation

2 - Suppose la paramétrisation de la coordination en amplitude, en vitesse et/ou en force afin d'obtenir les effets attendus

MÉCANISME DE RÉFÉRENCE

- **Au niveau du traitement de l'information sensorielle.**
- **Référence établie à partir :**
 - * **de la mémoire à court terme**
 - * **des intentions du moment**
 - * **des mécanismes d'identification du stimulus**

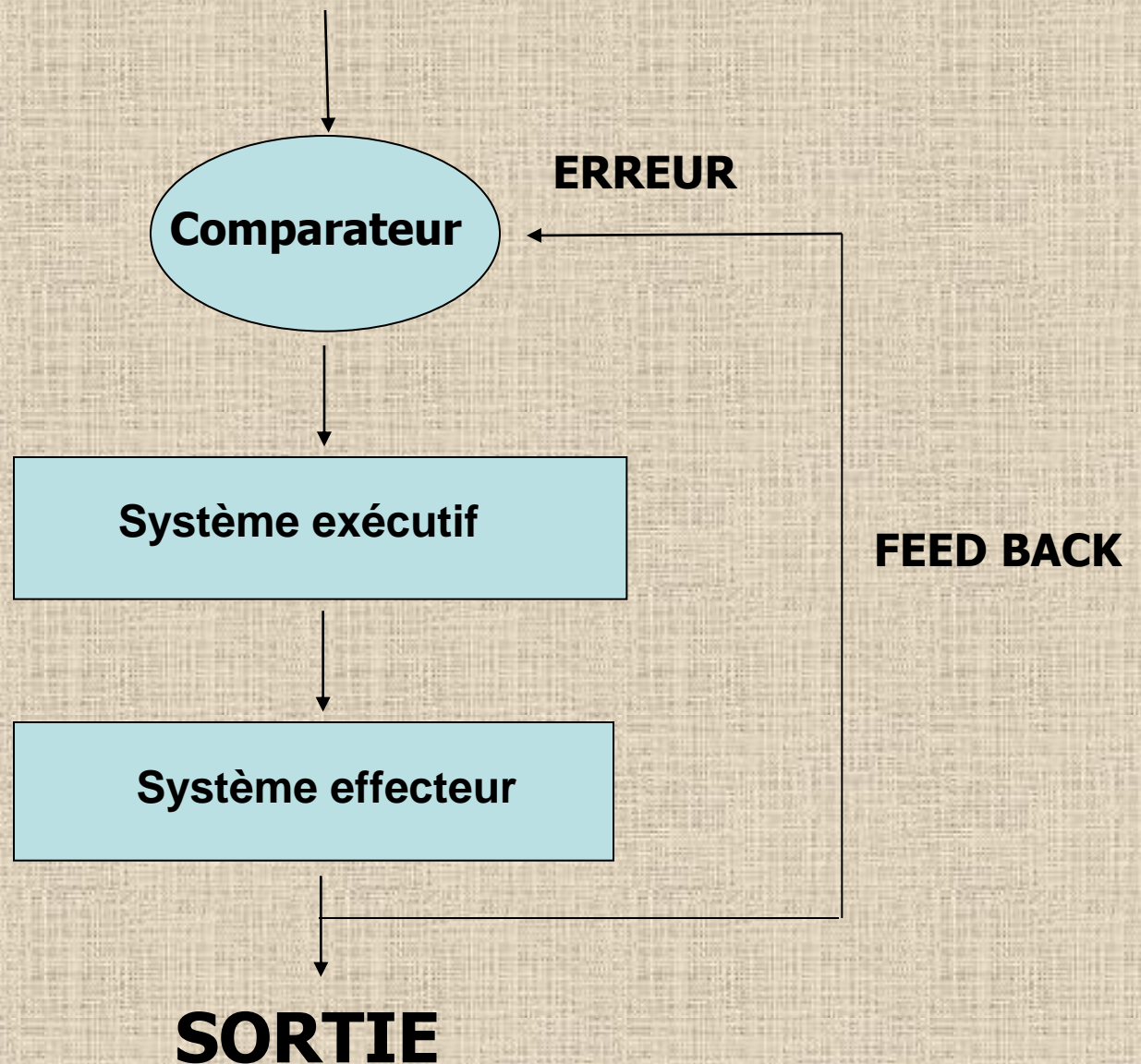
CONTROLE EN BOUCLE FERMEE

Trois parties :

- a. Mécanisme de référence
- b. Centre de décision
- c. Niveau des effecteurs

Un système de contrôle
en boucle fermée selon
R.A. SCHMIDT

OBJECTIF
Entrée



POURQUOI BOUCLE FERMEE

Le bouclage entre l'agent exécutif, l'effecteur et le nouvel agent exécutif est effectué par l'information sensorielle, ou FEEDBACK, formant ainsi un mécanisme de régulation du système pour parvenir à un objectif particulier.

LES MECANORECEPTEURS PROPRIOCEPTIFS

FONCTION :

Renseigner de façon permanente sur la position spatiale des membres et des autres parties du corps.

LES RECEPTEURS

- Fuseaux neuro-musculaires
- Organes tendineux de Golgi
- Récepteurs articulaires

Les informations sur la position de la tête nécessitent l'aide d'un système hautement spécialisé : le système vestibulaire

FUSEAUX NEUROMUSCULAIRES

- Dans les muscles striés squelettiques
- 4-8 fibres intrafusales, entourées d'une capsule de tissu conjonctif
- Dans les grosses fibres, les noyaux s'amassent : fibres à sac nucléaire
- Dans les plus petites, les noyaux sont alignés : fibres à chaîne nucléaire

INNERVATION

- Par les fibres sensibles du groupe (Ia), enroulée autour de la partie centrale des deux types de fibres intra fusales : terminaison sensorielle primaire
- Par les fibres du groupe (Ia) vers les fibres à chaîne nucléaire en particulier
- Les fuseaux peuvent se contracter sous la commande des motoneurones gamma

ROLE DES FUSEAUX NEURO-MUSCULAIRE

-Renseigner sur la longueur du muscle.

Règle générale : à tous les étages du SN, les appareils sensori-moteurs sont plus richement équipés quand il s'agit des muscles appelés à exécuter des tâches importantes et délicates.

LES ORGANES TENDINEUX DE GOLGI

- Mécanorécepteurs innervés par des rameaux de fibres afférentes du groupe (Ib)
- Répartis parmi les fibres de collagènes qui forment les tendons

(Renseignent le SN sur les changements de tension)

RECEPTEURS ARTICULAIRES

- Assez mal connus
- Information sur la position des membres et les mouvements des articulations

INFORMATION EXTEROCEPTIVE

- Provenant de l'environnement
- La principale est la vision :
 - * définit la structure physique des objets
 - * informe sur le mouvement des objets
 - * informe sur nos propres mouvements(l'oeil est extérocepteur et propriocepteur)
[flux optique]

L'audition

LE SENS TACTILE

- Les capteurs de la peau évaluent de nombreux aspects, entre le corps et l'environnement
 - *Contact
 - *Glissement
- La plante des pieds - maintien de l'équilibre

LE SYSTEME VESTIBULAIRE

- Les canaux semi-circulaires de l'oreille interne mesurent les accélérations angulaires de la tête
- Les otolithes mesurent les translations et la gravité (ils constituent ainsi des « **inclinomètres** »)

LE SYSTEME VISUEL : TROIS MODULES QUI DETECTENT LES MOUVEMENTS

- Une première voie cérébrale : détecte les cibles importantes dans l'environnement. Elle part de la rétine et rejoint directement le colliculus supérieur (structure du tronc cérébral) qui actionne les muscles des yeux, de la tête et du corps

- Une deuxième voie : qui va de la rétine vers le tronc cérébral.

- * Elle détecte les mouvements de l'environnement dans les plans qui sont les mêmes que ceux des capteurs vestibulaires.

- * Elle contribue à la stabilisation du regard et à l'équilibre.

- * Elle participe à la perception consciente de l'orientation du corps dans l'espace.

La troisième voie : met en jeu les deux hémisphères cérébraux. Les informations sont traitées dans les aires V1 et V2, puis par la partie médio-temporale du cortex, qui est spécialisée dans la détection du déplacement du stimulus.

CRITERES

VISION FOCALE

VISION AMBIANTE

**Localisation
sur la rétine**

**Centre de la
rétine**

Toute la rétine

Champ visuel

Vision centrale

Vision périphérique

**Niveau
d'illumination**

Dégradée

Pas affectée

Conscience

Consciente

Non consciente

Fonction

Qu'est-ce ?

Où est-ce ?

LE FLUX OPTIQUE

- Stabilité et équilibre
- Vitesse du mouvement à travers l'environnement
- Direction du mouvement
- Direction du mouvement des objets de l'environnement par rapport au sujet
- Temps jusqu'au contact entre le sujet et un objet ou deux sujets

LE FLUX OPTIQUE

- Les changements de configuration donnent lieu à un FLUX OPTIQUE qui peut être caractérisé par un champ vectoriel
- A chaque élément optique est affecté un vecteur dont l'amplitude, la direction et le sens permettent de caractériser le déplacement de l'individu dans son environnement

LE FLUX OPTIQUE (d'après GIBSON, 1950)

- Le socle de positionnement de Gibson réside dans une conception systémique des relations entre le sujet et l'environnement.
- Gibson considère l'environnement comme étant composé d'un ensemble de surface possédant des formes, des orientations, des compositions spécifiques.

- Il définit le concept de stimulation à travers la prise en compte des patrons d'énergie lumineuse qui parviennent au point d'observation après réflexion sur les surfaces de l'environnement.
- Il appuie son raisonnement sur le fait que la nature de la réflexion, comme l'angle de la réflexion ou la quantité d'énergie absorbée est totalement déterminée par l'orientation de la surface et sa composition.
- On peut considérer que le processus de réflexion structure les patrons d'énergie lumineuse.
- Gibson considère l'air comme un média, les patrons de lumière sont donc disponibles en tout point du média.

DES NEURONES DE "DIRECTION DE LA TÊTE"

Coopération permanente entre les capteurs vestibulaires et visuels :

- * Reconstitution du déplacement de la tête dans l'espace
- * Certains neurones donnent la position statique

AFFERENCE ET EFFERENCE

- C'est la combinaison des messages "afférents" sensoriels.
- et des messages "efférents" moteurs.
- qui donne la mesure de l'effort : il résulte de l'action et de la perception.

LES CONFLITS DE COOPERATION

- Le port de lunettes : le cerveau doit re-calibrer les mouvements des yeux. Cette recalibration motrice s'accompagne d'une recalibration perceptive
- Le mal de voiture peut être un signe de ce conflit. La vision dit au cerveau que l'on ne bouge pas (si on lit en voiture par exemple) mais les capteurs du système vestibulaire détectent un mouvement.

LA CONFIGURATION PERCEPTIVE

- Une conjonction d'informations qui déclenche une réaction
- Les sens sont donc des générateurs de signes, et pas seulement des organes de mesure des grandeurs physiques

Le cerveau prédit, anticipe (exemple du garçon de café)

LES INVARIANTS

- L'information dont a besoin le sujet pour contrôler ses actions est disponible dans le flux optique, sous la forme d'invariants.

- Invariants structuraux : informent l'individu sur la permanence des surfaces qui composent l'environnement : taille, forme, position...

- Quelle que soit la nature de déplacement produit par le sujet dans l'environnement les éléments les plus proches du point d'observation - du sujet - sont animés de la vitesse de déplacement optique la plus élevée.

LES INVARIANTS TRANSFORMATIONNELS

- Appelés aussi invariants de contrôle
- Ils spécifient l'état du sujet-environnement
- Différents invariants :
 - * le focus d'expansion
 - * tau

POUR ATTRAPER UNE BALLE

- 10 msec avant l'impact le cerveau actionne les muscles du bras et de la main et produit une force adaptée
- Calcul de la trajectoire, en 50 à 100 msec
- la balle accélère sous l'effet de la gravité
- le cerveau doit évaluer la masse de la balle et l'effet de la gravité sur cette masse
- pour saisir la balle, produire une contraction musculaire appropriée (modèles internes)

L'HIPPOCAMPE

- Sommet de la hiérarchie des sens et des centres d'action
- Mémorisation des combinaisons d'évènements, des épisodes, une scène visuelle, un bruit etc
- Ses neurones peuvent répondre lorsqu'on reproduit seulement une partie des évènements qui ont constitué cet épisode

LA MESURE DU MOUVEMENT, UNE OPERATION COMPLEXE

- Tous les capteurs mesurent des grandeurs différentes, dans des systèmes de références différents
- Le cerveau doit aller vite pour guider une action, il ne dispose que de quelques millisecondes*
- Il doit choisir, prédire quels capteurs seront pertinents

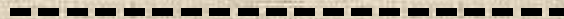
LA SIGNIFICATION DU MOUVEMENT

- Le mouvement est orienté vers un but
- Le cerveau en tient compte lors de la sélection des informations utiles

COOPERATION-SELECTION-PREDICTION

les mots-clés du "sens du mouvement"

Le cerveau utilise la mémoire pour prédire les conséquences de l'action et choisir à la fois les mouvements et les capteurs sensoriels qui vont être engagés.



LE CONTROLE EN BOUCLE FERMEE DANS LE MODELE CONCEPTUEL

Dans le modèle conceptuel de la performance humaine qui introduit les étapes du traitement de l'information

UTILITE DU MODELE

- * Pour prendre les opérations impliqués dans les mouvements relativement lents au cours desquels les compensations sont possibles.
- * Dans les mouvements rapides où la correction de l'erreur doit attendre jusqu'à ce que les mouvements soient terminés.

LE FEEDBACK

- * Produit par la réponse
- * Contraction musculaire : feedback force
- * Contraction provoque le mouvement : feedback de changements d'angle et de position du corps par rapport à la gravité
- * Modifications de l'environnement détectées par les récepteurs visuels, auditifs, olfactifs.

LES ETAPES DE TRAITEMENT

*** Chaque fois que le feedback d'une action va vers le système exécutif pour des corrections il passe par les étapes**

*** Cela implique :**

- de l'attention**
- du temps**
- l'étranglement au niveau de la programmation de la réponse**

LES STRUCTURES INTERCONNECTEES INTEGRENT TRAITEMENT ET RELAIENT LES INFORMATIONS

Les deux systèmes sont renseignés sur le stade où en sont les mouvements et sur leur contexte, par des informations sensorielles émanant des aires corticales sensorielles, motrices, associatives

Les deux systèmes envoient des projections massives sur le thalamus et influencent les commandes motrices élaborées par le cortex

LE DECHARGEMENT

- ◆ A la présentation d'un pattern adéquat de signaux
- ◆ Les informations doivent être intégrées dans les deux dimensions:

Temps et Espace

- L'intégration de signaux réalisées par les neurones épineux et les cellules de Purkinje fournissent les informations qui indiquent :

QUAND ?

OU ?

DANS QUEL ORDRE ?

faire les mouvements

LA CORRECTION DU MOUVEMENT

- Une autre fonction du cervelet garantit la modification des mouvements pour s'adapter à des circonstances imprévues suite à la comparaison des patterns d'activité convergente qui arrivent sur les deux types de cellules (Purkinje et noyaux cérébelleux).

Ganglions de la base

**Neurones épineux
moyens**

**Modulent l'activité
des neurones
inhibiteurs toniques**

**Déclenchent des
programmes moteurs**

**Influencent les influx
excitateurs du
thalamus vers le
cortex moteur**

- Circuits cérébelleux**
- Cellules de Purkinje**
- Organisées pour
corriger les erreurs du
mouvement en cours**
- Activité inhibitrice qui
influence les cellules
excitatrices toniques**
- Ajuste le signal que le
cervelet envoie au
thalamus**

CONTROLE EN FEEDBACK

- Utile pour comprendre les habiletés continues, de longue durée, poursuite...
- Le mouvement déclenché fournit une information sensorielle qui requiert environ 150 à 200 msec avant de provoquer les premières modifications

MODULATIONS DES HABILETES MOTRICES

- Quatre types de compensation :
 - a. M1, latence de 30 à 50 ms
 - b. M2, latence de 50 à 80 ms
 - c. Réaction déclenchée, de 80 à 120 ms
 - d. Temps de réaction (M3) latence de 120 à 180 ms.

LA REPONSE M1

- Bouffée d'activité EMG après l'addition de la charge
- Réponse brève, pas de contraction supplémentaire du muscle
- Réflexe monosynaptique ou myotatique, dû à l'étirement des fuseaux neuro-musculaires par la charge additionnelle donc envoie d'informations sensorielles vers la moelle épinière.

LE REFLEXE M1

- Modification de la contraction musculaire provoquée par de petits étirements : oscillations posturale, forces inattendues...
- Le fuseau contrôle la longueur du muscle et sa raideur (résistance comme un ressort)
- Opérations pas conscientes, pas affectées par le nombre de stimuli
- Compensations nombreuses, automatiques

LES REPONSES M2

- Appelée réponse M2, parfois réflexe d'étirement fonctionnel
- Engendre une activité EMG plus importante
- Durée plus longue
- Réflexe contribue à la compensation du mouvement

REPONSE M2

- Déclenchée par les fuseaux neuromusculaires vers la moelle, les signaux montent vers certains centres supérieurs du cerveau (cortex moteur, cervelet) et des signaux moteurs redescendent dans la périphérie
- Combiné à M1, M2 est responsable du réflexe rotulien

CARACTERISTIQUES

- Pas affectée par le nombre de stimuli
- Intégration possible d'autres sources d'informations
- Gain (amplitude de la réponse) pour un stimulus donné peut varier volontairement
- Capacité de modulation
- Trop rapide pour être volontaire mais modifiable par des processus conscients

REACTION DECLENCHEE

- Trop rapide pour être volontaire, entre 80 et 120 ms
- Sensible aux nombres de stimuli
- Elle peut être apprise
- Compensations coordonnées, rapides

REPONSE VOLONTAIRE, DE TEMPS DE REACTION

- Puissante et soutenue
- Troisième bouffée d'EMG
- 120-180 ms
- Peut affecter toute la musculature
- Souple, modifiée par de nombreux facteurs : instruction, anticipation...

CARACTERISTIQUES

- Passent par les étapes du traitement
- Demandent de l'attention
- Temps long
- Se produisent de façon sérielle

LA SYMPHONIE MOTRICE

- Tous les mouvements sont provoqués par des motoneurones spinaux innervant directement les fibres musculaires dont la contraction modifie la position des pièces du squelette.
- Modification : par les circuits réflexes locaux

- Contrôle et coordination par le cerveau, en particulier par les motoneurones supra segmentaires, situés dans le cortex moteur et le tronc cérébral

- Informations sensorielles, perceptives et cognitives nécessaires aux mouvements complexes sont fournies au cortex moteur et au tronc cérébral par le système des ganglions de la base et le cervelet

FIN - MERCI