

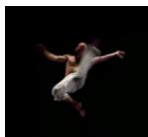


Définition

Un champ de recherche qui étudie:

- comment les informations sensorielles de l'environnement et du corps sont utilisées dans le contrôle des mouvements et
- comment ces informations permettent à un individu de sélectionner un mouvement en vue d'un objectif déterminé.

Action **Apprentissage** **Accident** **Récupération**



Définition

Un champ de recherche qui étudie:

- comment les informations sensorielles de l'environnement et du corps sont utilisées dans le contrôle des mouvements et

- comment ces informations permettent à un individu de sélectionner un mouvement en vue d'un objectif déterminé.

Action **Apprentissage** Accident Récupération



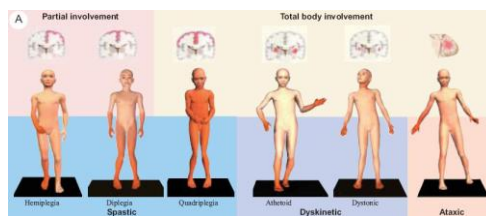
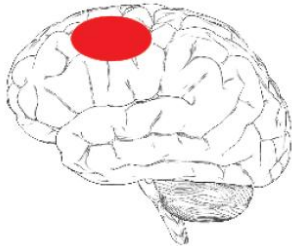
Définition

Un champ de recherche qui étudie:

- comment les informations sensorielles de l'environnement et du corps sont utilisées dans le contrôle des mouvements et

- comment ces informations permettent à un individu de sélectionner un mouvement en vue d'un objectif déterminé.

Action Apprentissage **Accident** Récupération



Définition

Un champ de recherche qui étudie:

- comment les informations sensorielles de l'environnement et du corps sont utilisées dans le contrôle des mouvements et
- comment ces informations permettent à un individu de sélectionner un mouvement en vue d'un objectif déterminé.

Action **Apprentissage**



Accident



Récupération

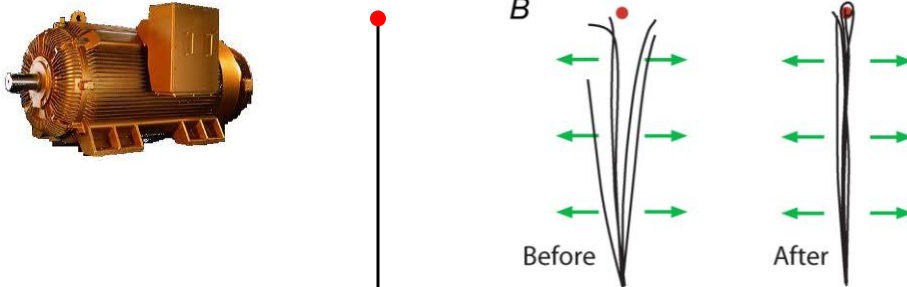
Omniprésent !

Une **bonne connaissance** du contrôle moteur:

- **Sport et compétition**: comment aller plus loin ?
- **Médecine**: quand la qualité de vie est entachée par une dépendance, comment désigner des protocoles de réadaptation efficaces ?
- **Ergonomie**: la technologie peut hériter des mécanismes du contrôle moteur (cfr ANN)

Contrôle... **moteur**?

Même comportement sur des milliers de cycles



Rigidité: un robot programmé pour marcher, peut-il faire les lits?

Flexibilité humaine: permet d'intervenir en situations périlleuses (mines, explosions, espace, ...)

Contrôle et... **stabilisation**

Système moteur =
système du mouvement + système de stabilisation

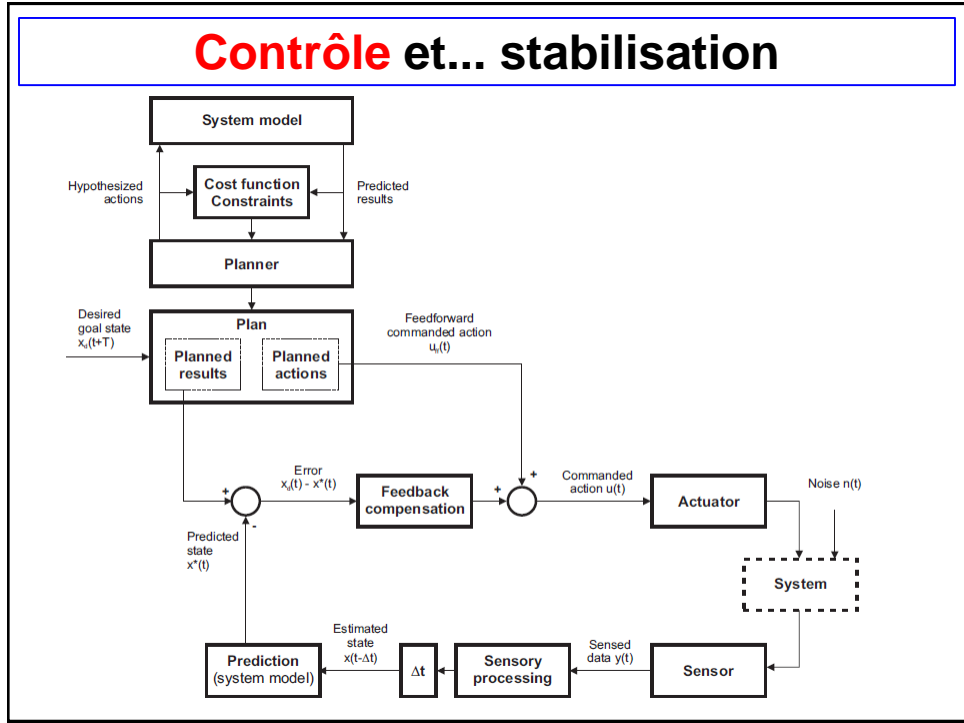


Anticipation possible...
ou pas



Réaction et **anticipation**

Contrôle et... stabilisation



Contrôle optimal

Système

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + \xi_k + \sum_{i=1}^{n_c} \varepsilon_{i,k} C_i u_k,$$

$$y_k = Hx_k + \omega_k + \sum_{i=1}^{n_d} \delta_{i,k} D_i x_k,$$

Coût par étape

$$J_k(x_k, u_k) = x_k^T Q_k x_k + u_k^T R u_k, \quad k = 1, 2, \dots, N-1,$$

Coût total

$$J = E \left[J_N(x_N) + \sum_{k=1}^{N-1} J_k(x_k, u_k) \right].$$

$$u_k = - \left(B^T U_{k+1} B + R + \Gamma_{k+1} \right)^{-1} B^T U_{k+1} A \hat{x}_k,$$

$$:= -L_k (x_k - e_k).$$

Controller $u_t = -L_t \hat{x}_t$

$$L_t = \left(R + B^T S_{t+1}^x B + \sum_i C_i^T (S_{t+1}^x + S_{t+1}^e) C_i \right)^{-1} B^T S_{t+1}^x A$$

$$S_t^x = Q_t + A^T S_{t+1}^x (A - B L_t) + \sum_i D_i^T K_i^T S_{t+1}^e K_i D_i; \quad S_n^x = Q_n$$

$$S_t^e = A^T S_{t+1}^e B L_t + (A - K_t H)^T S_{t+1}^e (A - K_t H); \quad S_n^e = 0$$

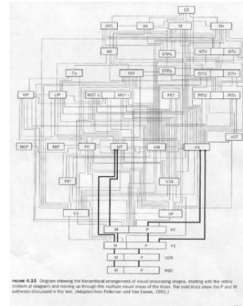
$$s_t = \text{tr}(S_{t+1}^x \Omega^\xi + S_{t+1}^e (\Omega^\xi + \Omega^\eta + K_t \Omega^\omega K_t^T)) + s_{t+1}; \quad s_n = 0.$$

Comprendre le contrôle moteur

Comprendre quoi?? Mouvement et stabilité fonctionnent, et voilà... Utilité?

10^{10} neurones
 10^{14} synapses
100 000 miles de dendrites
différentes pistes potentielles:
1 suivi de 7 millions miles de 0

Notre cerveau est capable de générer plus d'idées qu'il y a d'atomes dans l'univers

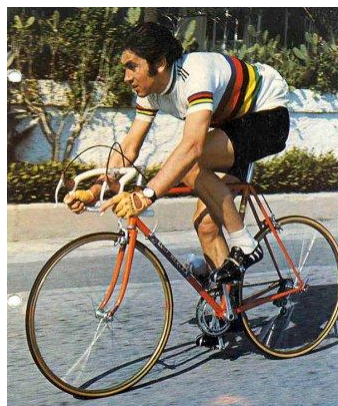


Compréhension de mécanismes => patients !

Compréhension d'un système = **prédiction** ET **contrôle**

Ex.: météo? Aéronautique?

Comprendre le contrôle moteur



Comment fais-tu?

The rule observed by the cyclist is this. When he starts falling to the right he turns the handlebars to the right so that the course of the bicycle is deflected along a curve toward the right. This results in a centrifugal force pushing the cyclist to the left and offsets the gravitational force dragging him down to the right. This maneuver presently throws the cyclist out of balance to the left, which he counteracts by turning the handlebars to the left; and so he continues to keep himself in balance by winding along a series of appropriate curvatures. A simple analysis shows that for a given angle of unbalance the curvature of each winding is inversely proportional to the square of the speed at which the cyclist is proceeding

Connaissance implicite !

La compréhension passe par l'énonciation des principes

Comment énoncer ses principes ?

Simulation: créer un système qui se comporte de manière indiscernable du système véritable

→ *Passer le test de Turing*



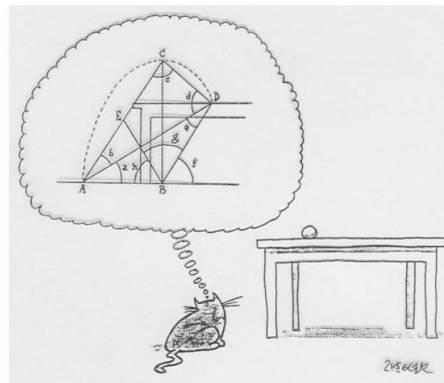
Mais après le jeu...

Niveaux d'analyse

Robots sont des actuateurs, interfaces mécaniques etc.
Humains: plus liquide que solide...

→ *3 niveaux d'analyse du contrôle moteur humain*

- 1. Computational:**
Description d'un système en langage mathématique (énoncer !)



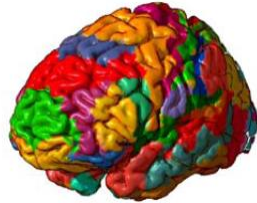
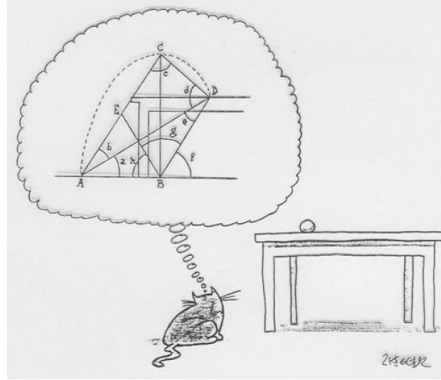
Niveaux d'analyse

2. Procédural:

Comment faire?
≠ algorithme

3. Implémentation:

Quel est le support physique
qui permet de réaliser la
procédure ?



Computational, procédural, implémentation

Quels sont les niveaux d'analyse les plus importants
pour la compréhension du contrôle moteur ?

→ **Si computationnel ?**

Avancées en robotique impossible...

→ **Si procédural ?**

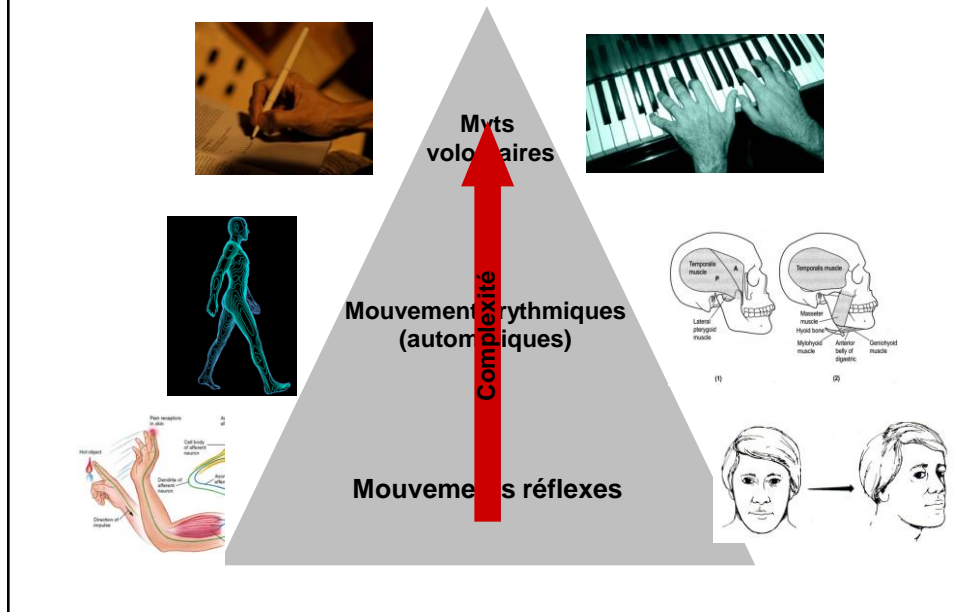
*Plus possible de créer des protocoles efficaces,
design ergonomique...*

→ **Si implémentation ?**

Plus d'avancée en recherche médicale...

Les 3 niveaux sont indissociables !

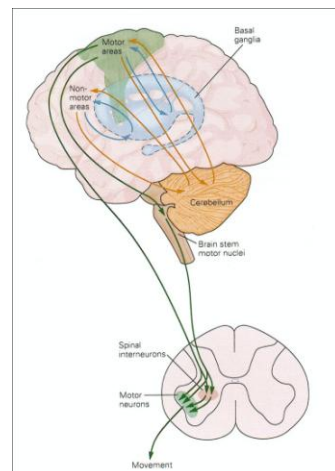
Organisation hiérarchique



Organisation hiérarchique

- Aires motrices corticales
=> Mouvements volontaires

- Moelle épinière
=> Mouvements réflexes



Domaines : *interdisciplinarité* !

1. **Physiologie, neuroscience, psychologie, médecine**

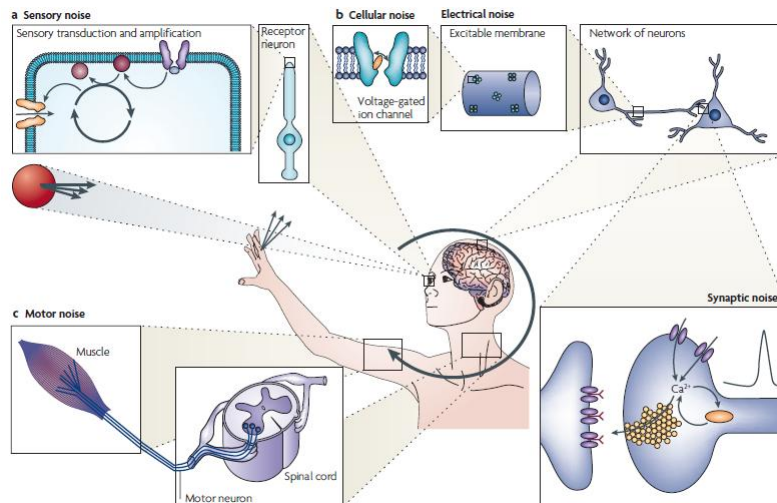
Aspects: muscles, os, système nerveux,...

2. **Statistique**

Les systèmes biologiques sont variables, bruit omniprésent

Domaines : *interdisciplinarité* !

2. **Statistique**



Domaines : *interdisciplinarité* !

3. Physique et ingénierie

Utilisation optimale du feedback

Prise en compte des contraintes physiques (gravité !)

