

# Contexte

- Monde réel est complexe  
=> stratégie d'action élaborée nécessaire  
(*anticipation, reflexes, modification des connaissances*)

**Etat(t)**: position, vitesse, accélération...

**But**: objectif final défini comme un état particulier

**Action(t)**: résultats de la commande d'actuateurs qui modifient les états



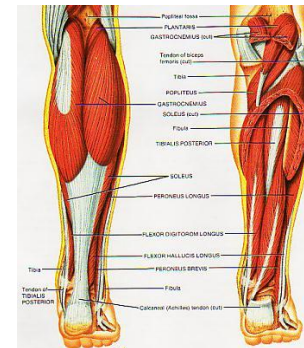
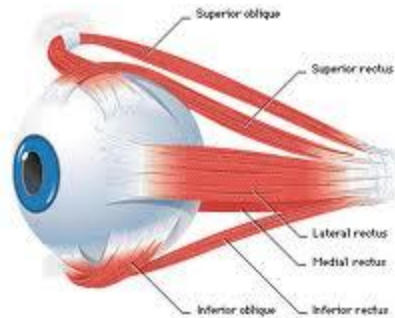
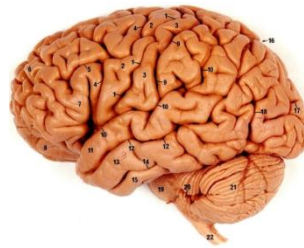
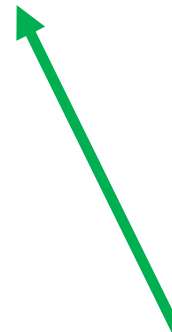
# Contexte

- Stratégie d'action élaborée nécessaire
- Mais à plusieurs niveaux
- Définir des plans en terme d'**action**, de **but** et d'**états**

Contrôle



Feedback sensoriels

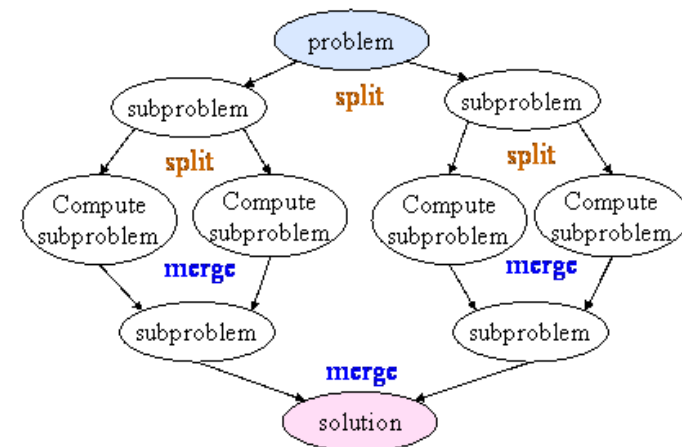


# Contexte

- **Plusieurs secondes**: mouvement complexe
- **1 s**: actions élémentaires (*cortex moteur, g de la base*)
- **500 ms**: décomposition en trajectoires
- **10 ms**: décomposition en positions, vitesses et forces des muscles (*CB*)
- **1 ms**: trains d'impulsions aux motoneurones

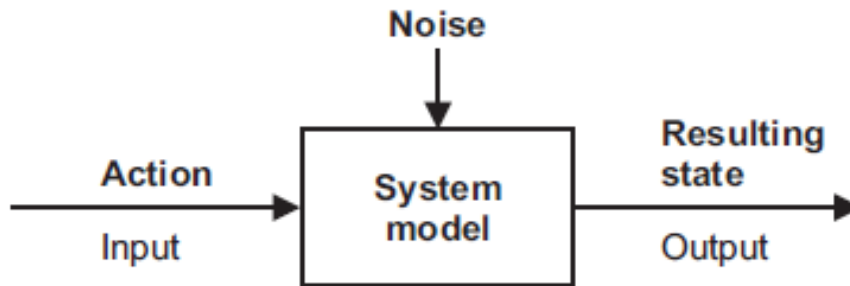
→ Intégration sensorielle à différents niveaux

→ « *Divide and Conquer* »



# Théorie du contrôle

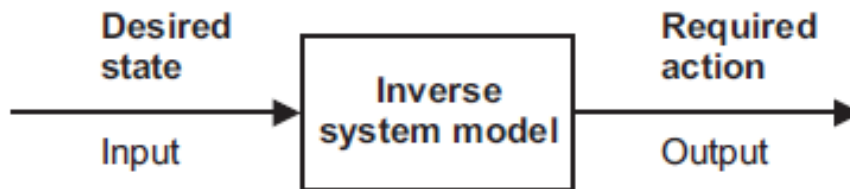
A



Description en terme  
d'équations différentielles

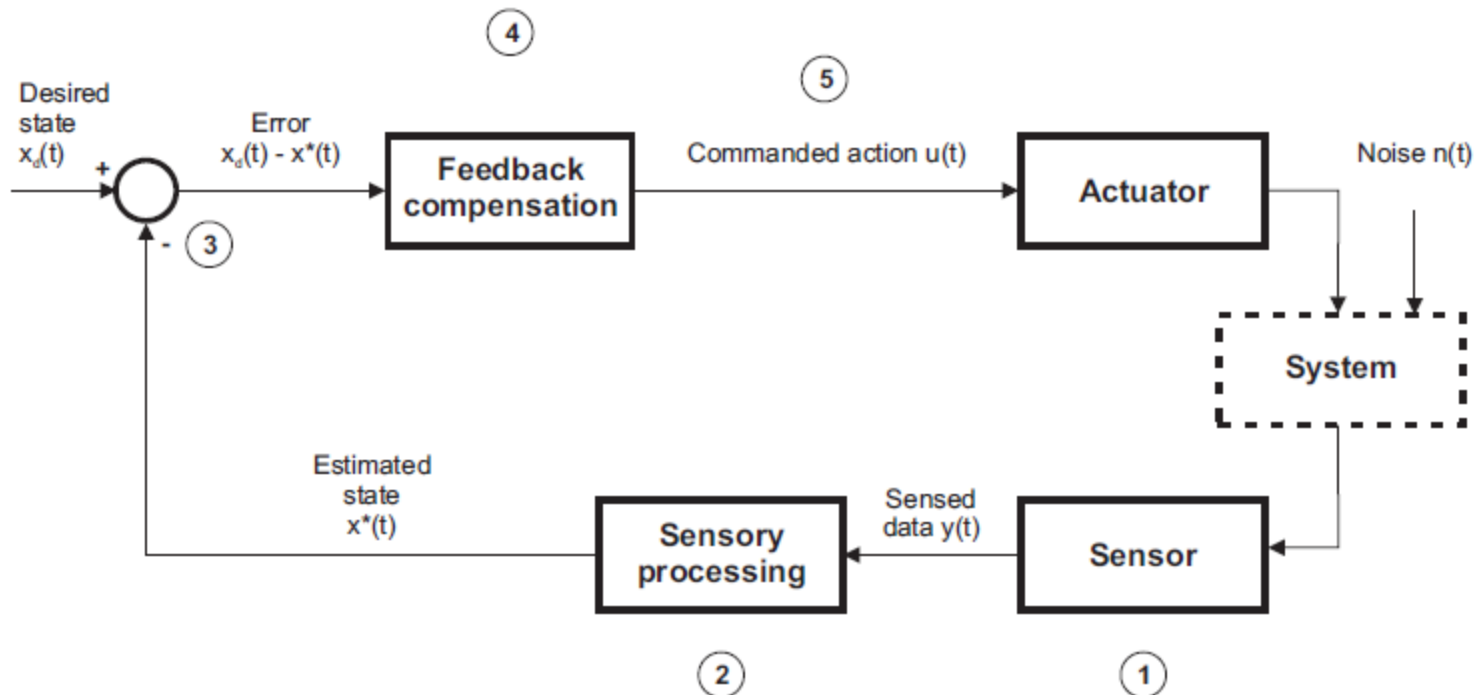
$$\frac{dx}{dt} = f(x, u, \eta)$$

B



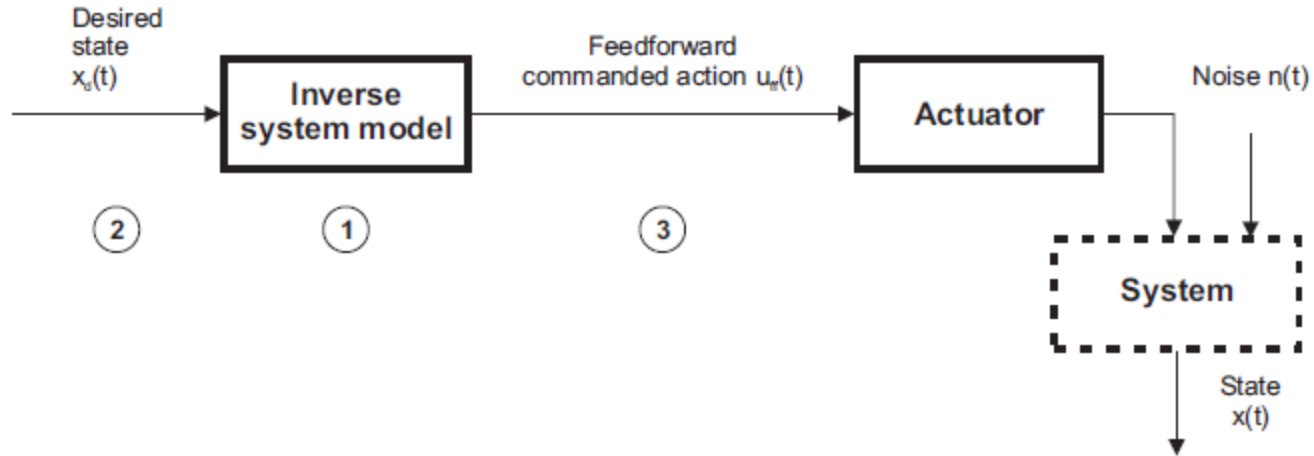
Connaissance du système est indispensable pour des actions en feedforward (anticipées)

# 1. Feedback



1. Monitorer le système
2. Estimer l'état du système à partir des infos sensorielles
3. Calculer l'erreur par rapport à l'état désiré
4. Calculer le feedback nécessaire pour réduire l'erreur (mod inverse !)
5. Réaliser l'action  $u$  (mod direct)
6. Revenir en 1

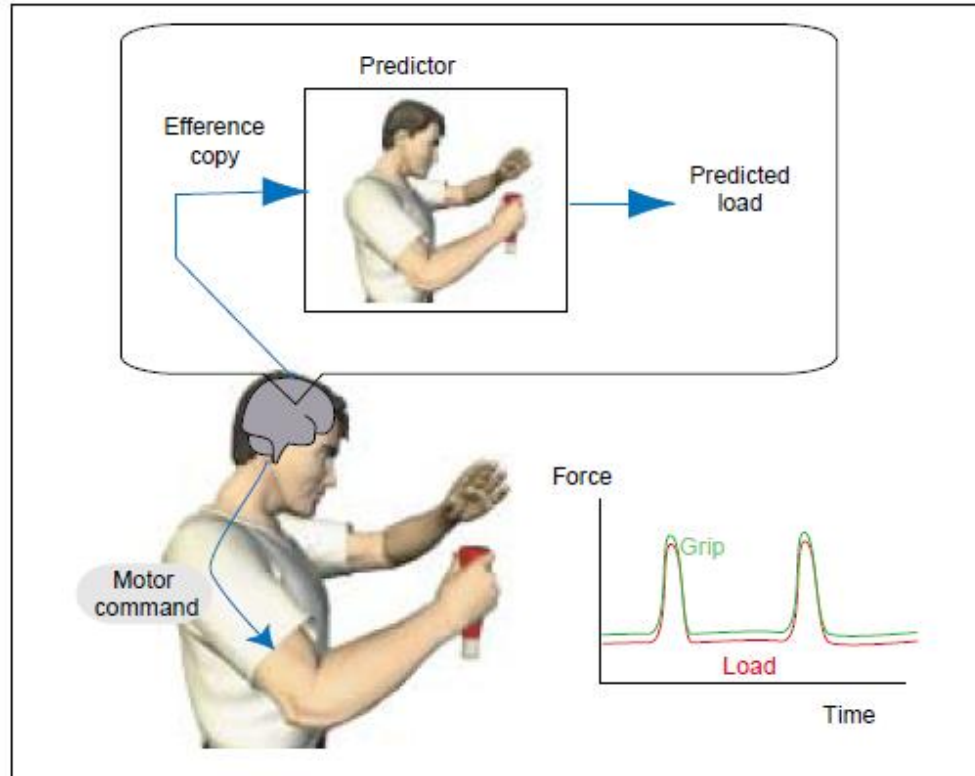
# 2. Feedforward



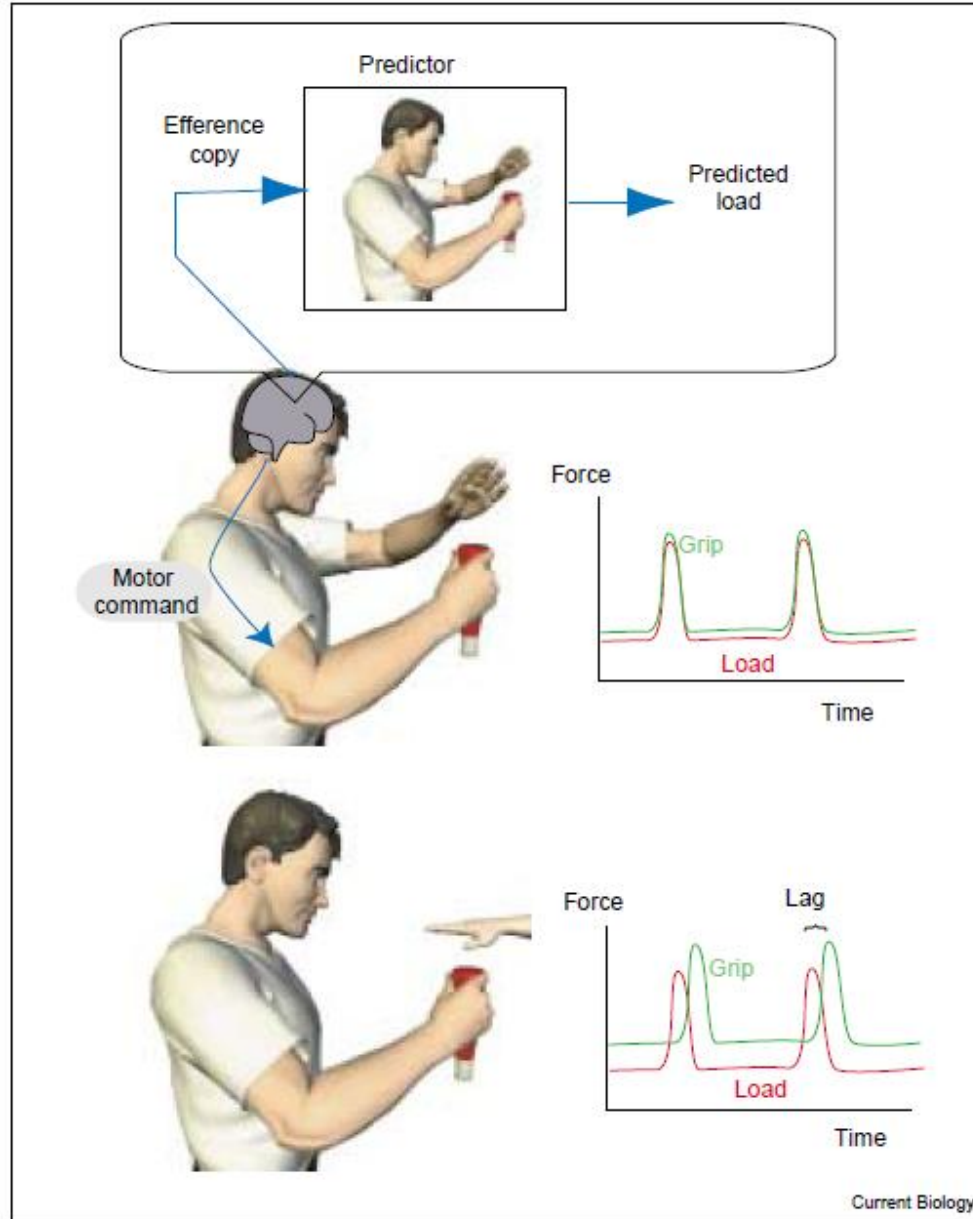
Hypothèse: on connaît le modèle de l'environnement (*world model*)

1. Inverser le modèle
2. Entrer l'état désiré et en déduire l'action requise
3. Appliquer l'action FF calculée aux actionneurs
4. Revenir en 1

# 2. Feedforward

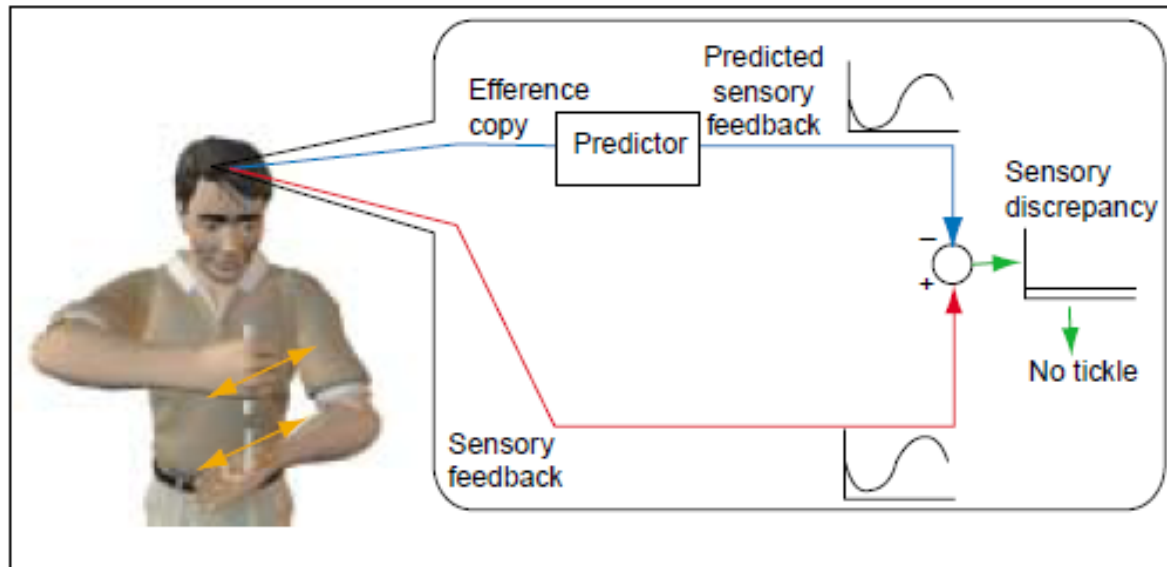


# 2. Feedforward

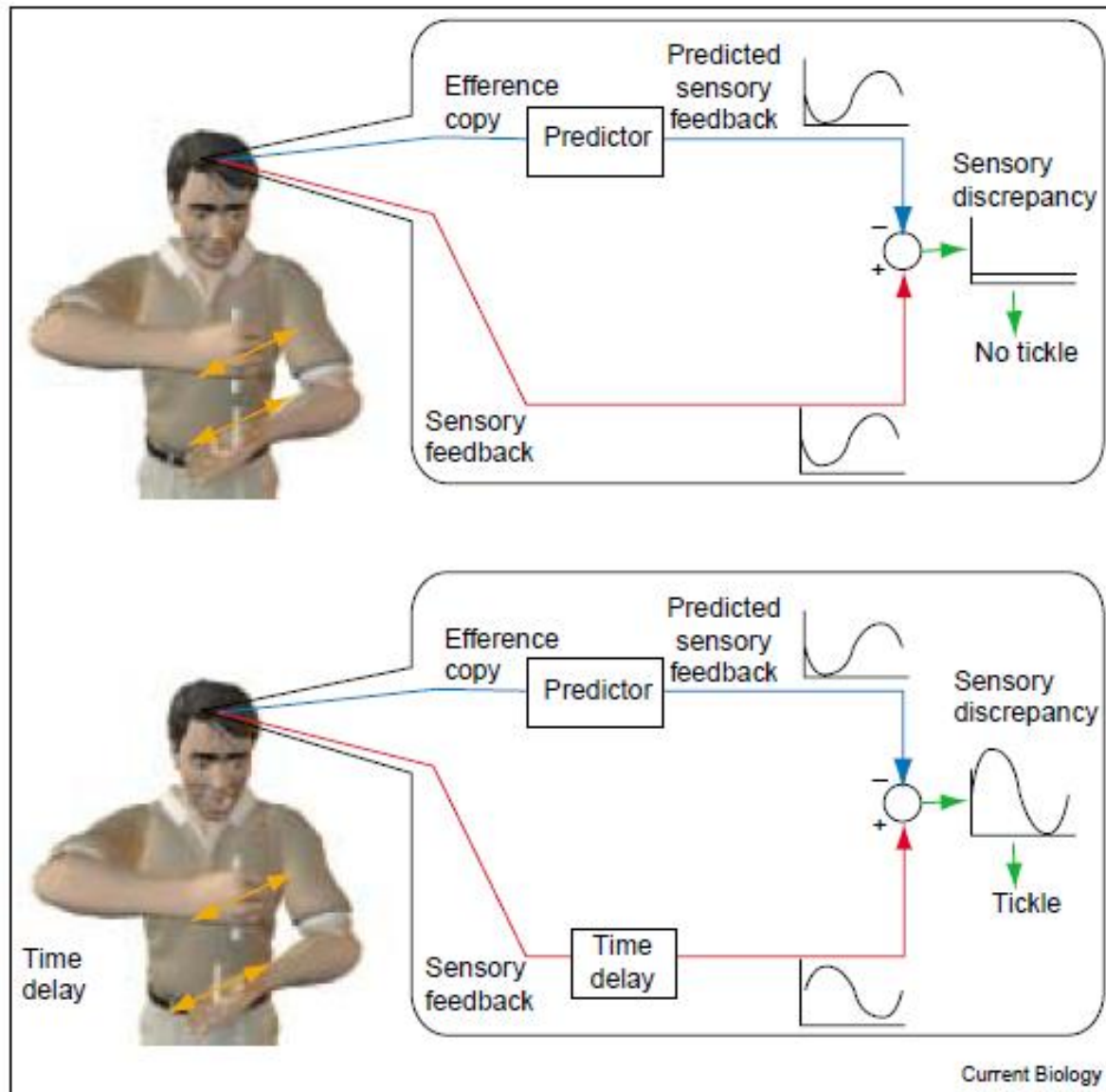




# 1. Feedback



# 1. Feedback



# 2. Feedforward

## Avantages

- Prévoir l'avenir et réagir avant que les erreurs deviennent trop importantes

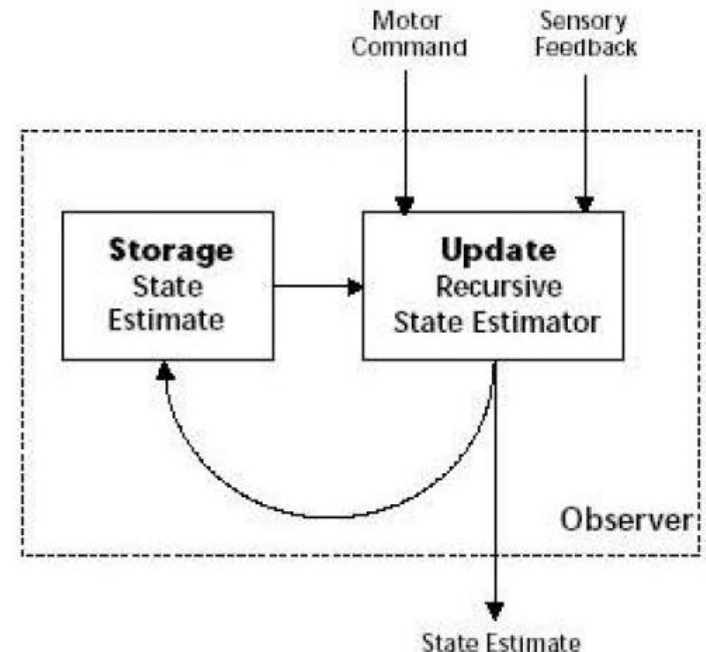
## Inconvénients

- Modélisation du « world model » imprécise...
- Inversion du modèle très complexe (*redondance, temps, ...*)

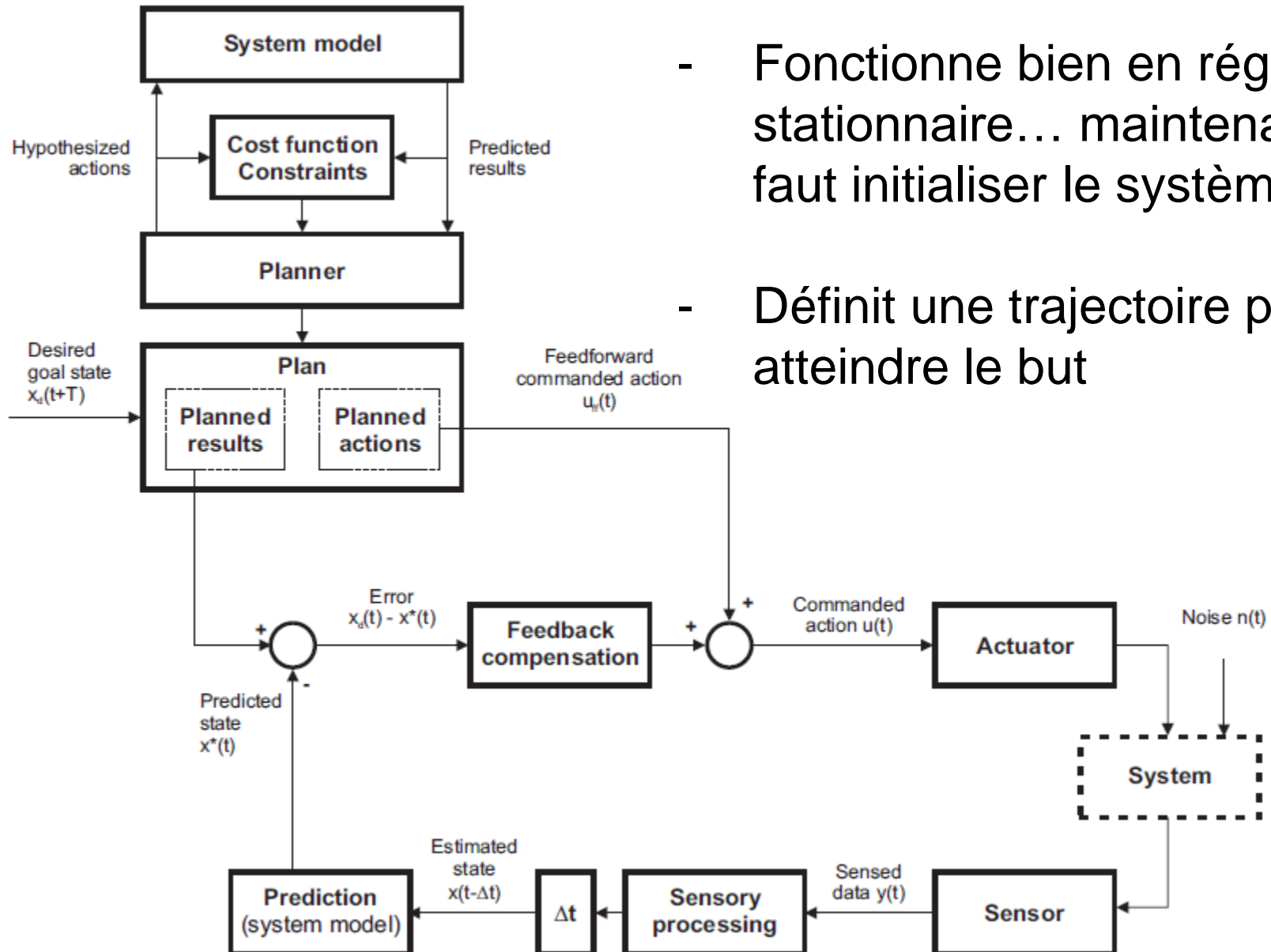
→ **Combiner les 2 approches**

# 3. Système hybride

- FB permet de **compenser les erreurs** et s'affranchir de l'imprécision de la perception que l'on a de l'environnement
- FB comporte des **délais** physiques et computationnels
  - **Physique**: délai de détection ou inhérent aux capteurs
  - **Computationnel**: temps de calcul requis pour calculer l'action  $u$  à partir des informations sensorielles
- **Filtrage** possible pour anticiper les états futurs du système et pallier aux délais importants (ex. *Kalman Filter*)
  - Identifier l'état inconnu à partir de MC et SF
  - Mettre à jour récursivement

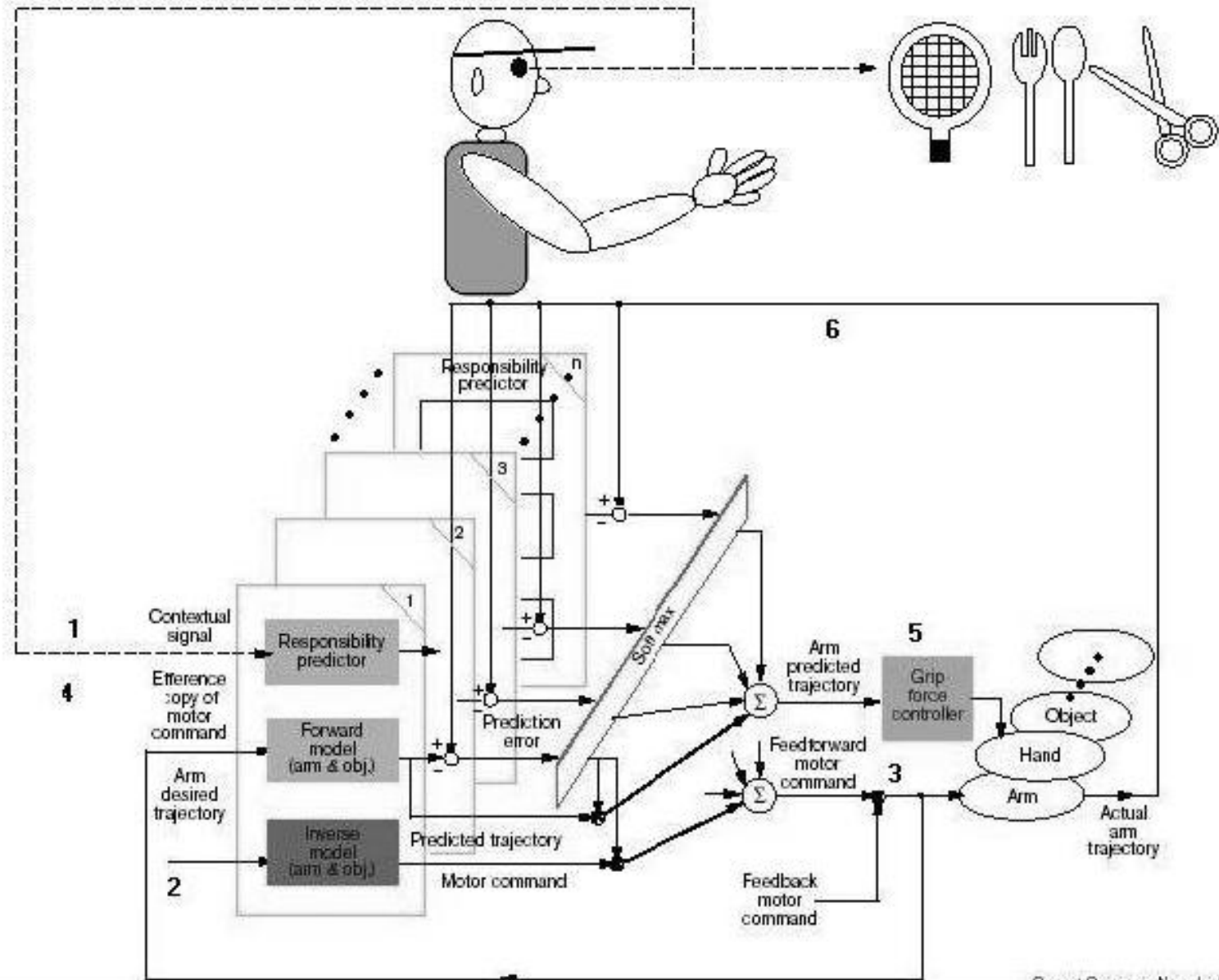


# 3. Système hybride



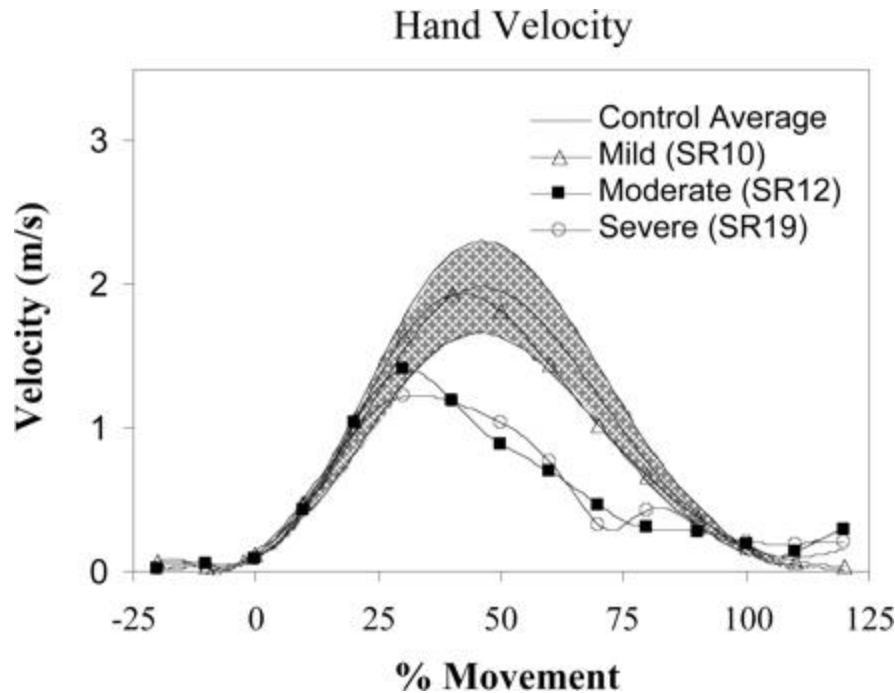
- Fonctionne bien en régime stationnaire... maintenant il faut initialiser le système
- Définit une trajectoire pour atteindre le but

# 3. Modules contextuels



# Preuves: planning

- Mouvements stéréotypés, par exemple, pointage

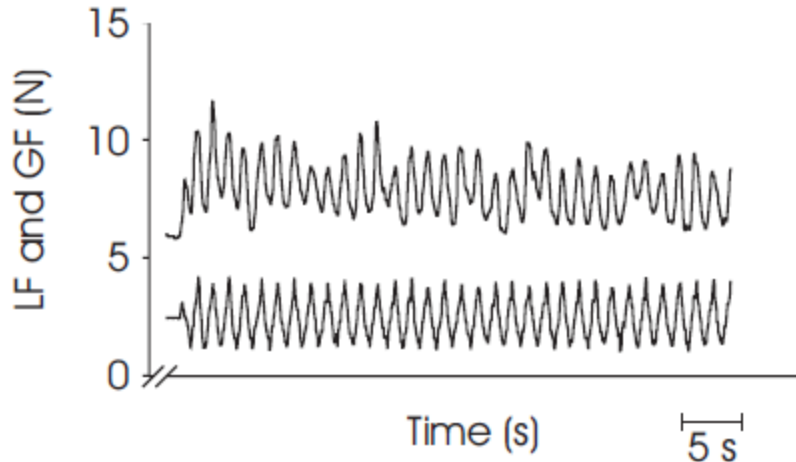


$$J = \int_0^T \left( \frac{d^3 x}{dt^3} \right)^2 dt$$

- Evaluation d'une fonction de coût durant l'optimisation
- Comment le CNS évalue cette fonction ??

# Preuves: forward

- Anticipation de la LF reflétée dans la GF

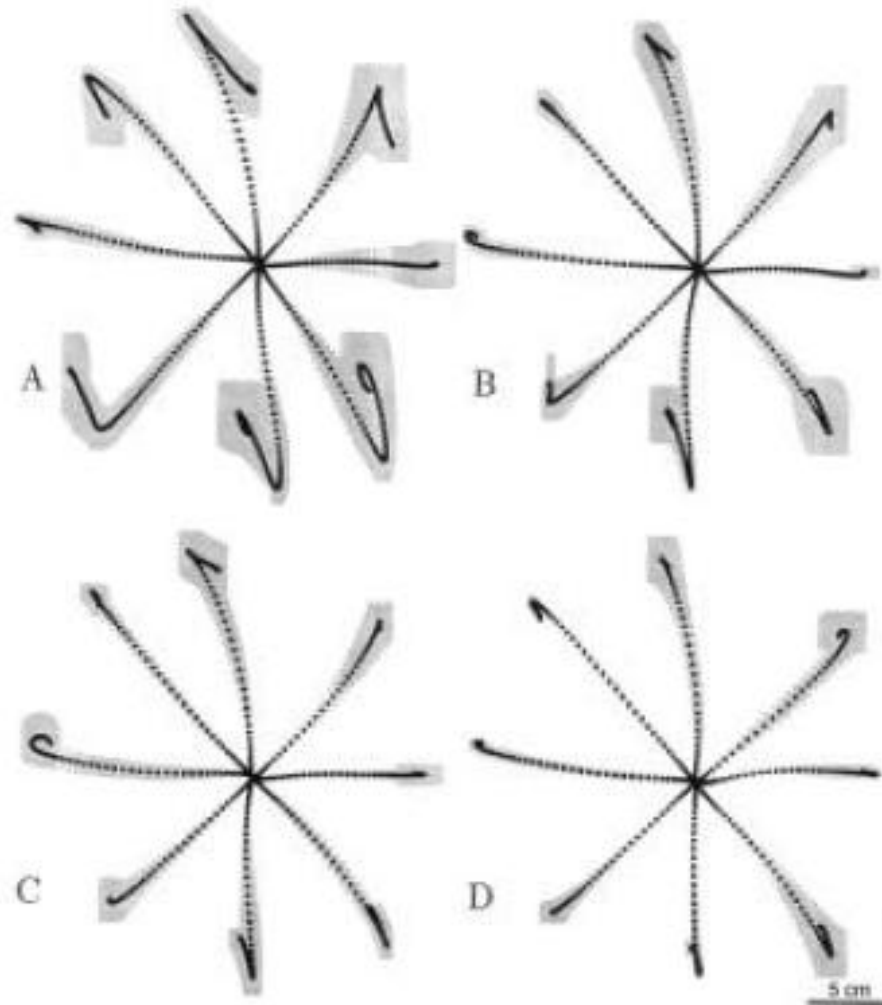


- Lors d'une action, il faut avoir une représentation interne de la dynamique de son **bras**, de **l'environnement**, de **l'objet** manipulé... ou tout ensemble...



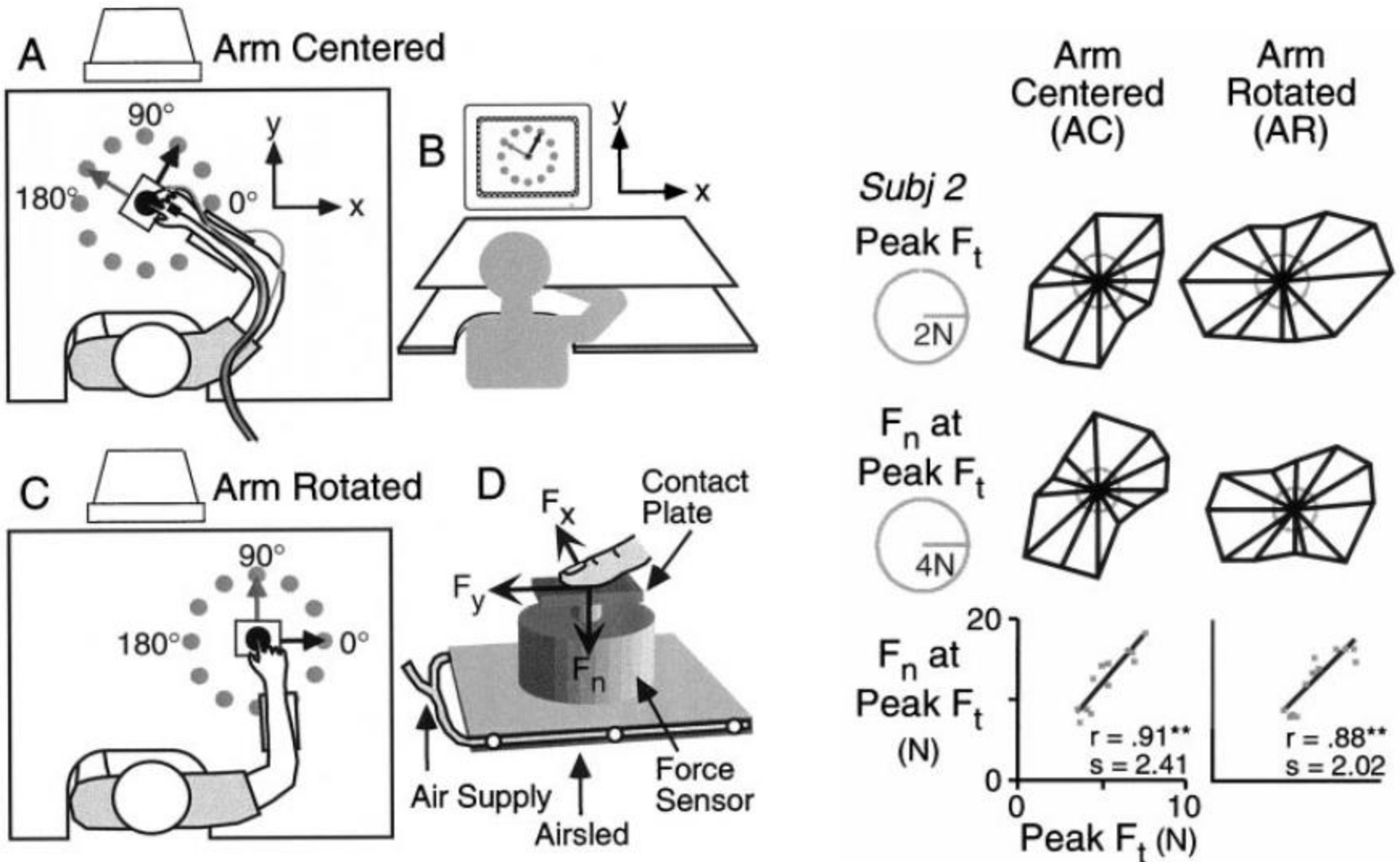
# Preuves: forward

- Modèle interne de la dynamique du bras



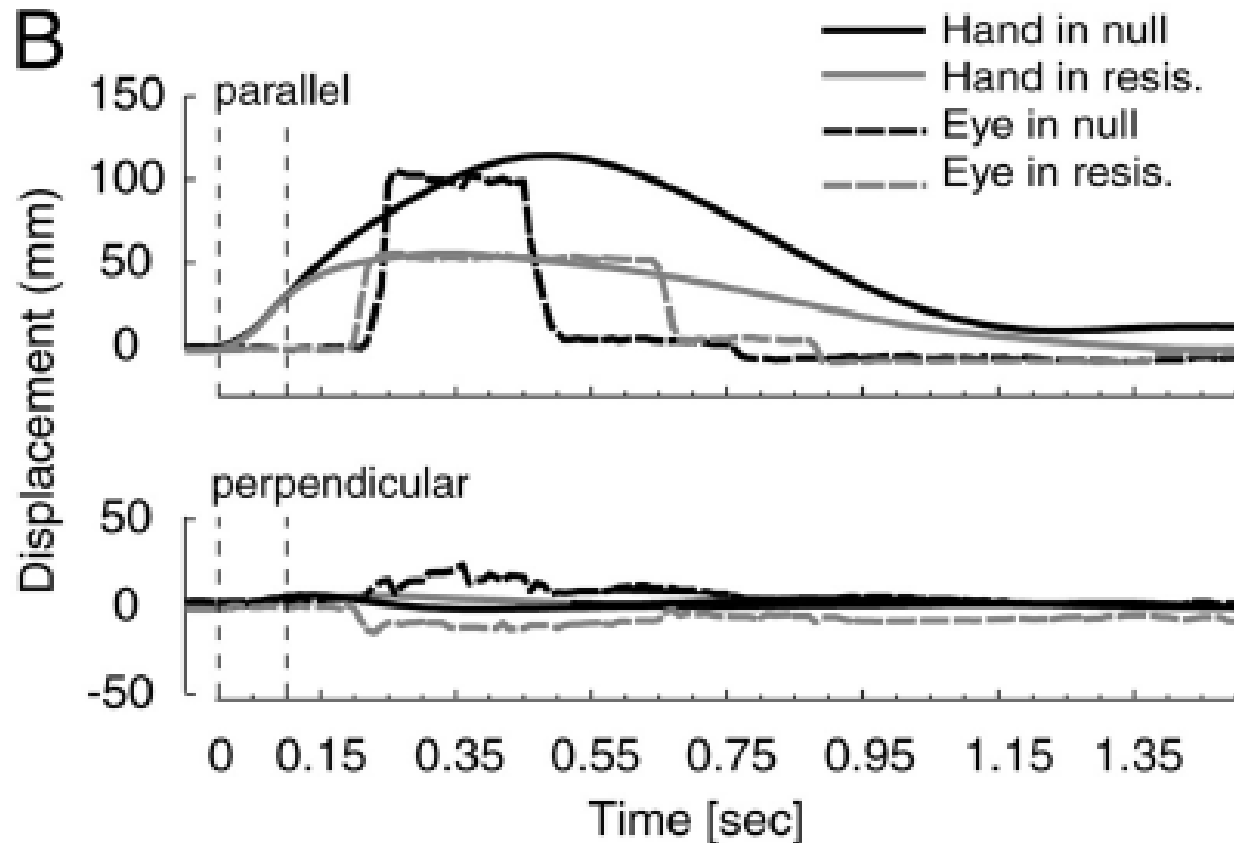
# Preuves: forward

- Modèle interne de la dynamique du bras



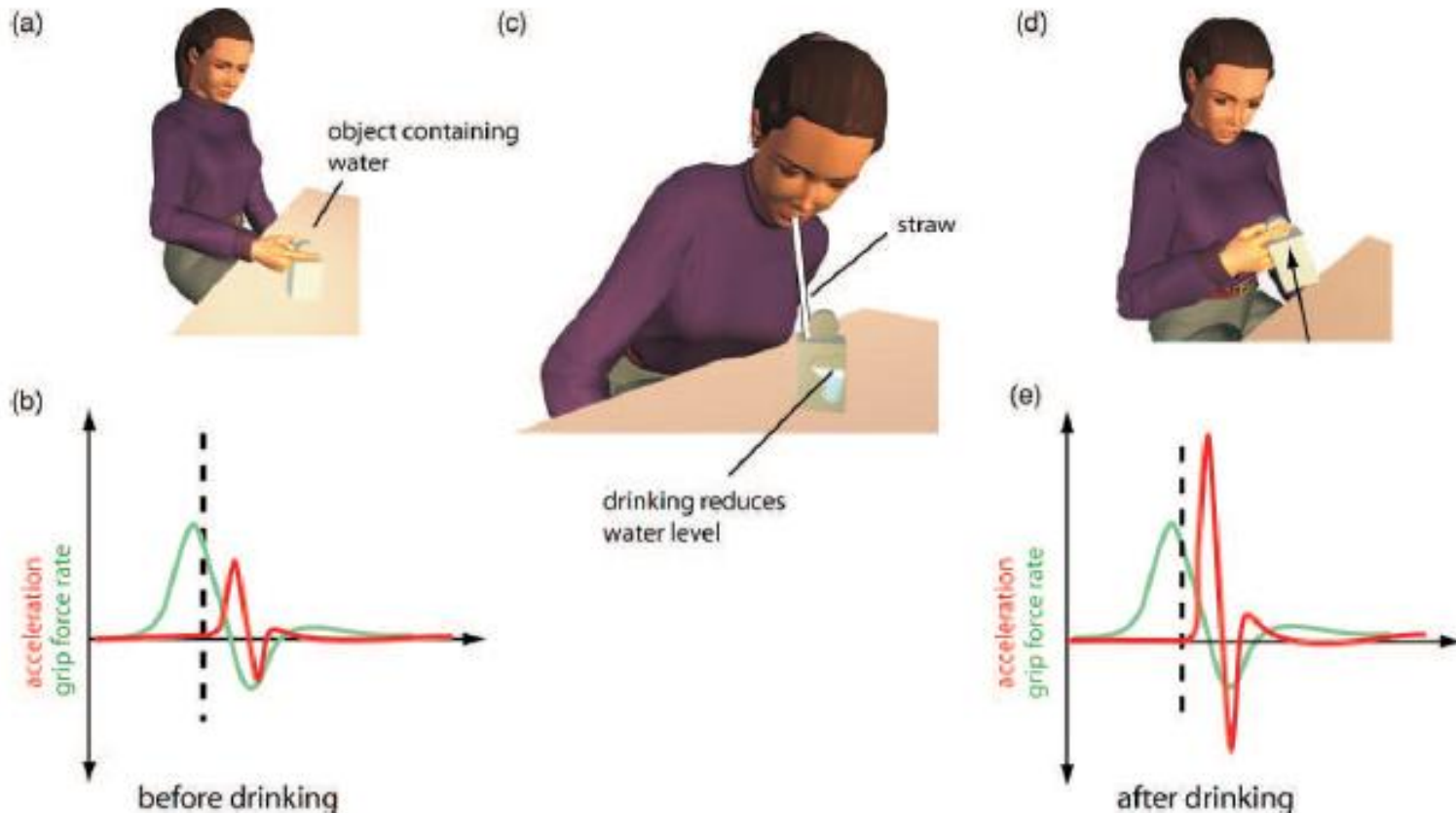
# Preuves: forward

- Modèle interne de la dynamique du bras reflétée dans les saccades prédictives



# Preuves: forward

- Modèle interne de la dynamique des **objets**
- Connaissance explicite d'une modification ne suffit pas !



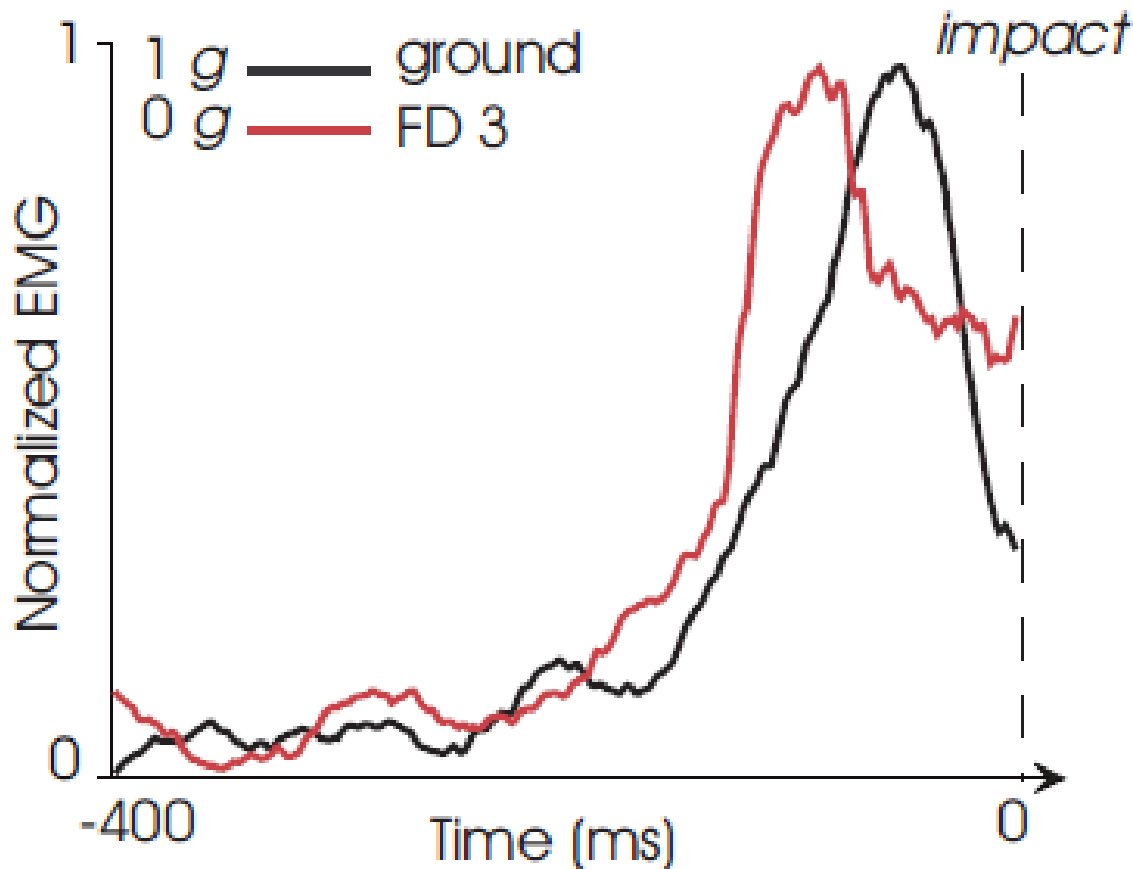
# Preuves: mémoire sensorimotrice

- Quand l'environnement est trop incertain, on se réfère aux expériences passées

Comment changer radicalement  
l'environnement ?

# Altérer la gravite

- Ce changement radical s'observe par des comportements qui convergent très lentement voire pas du tout !



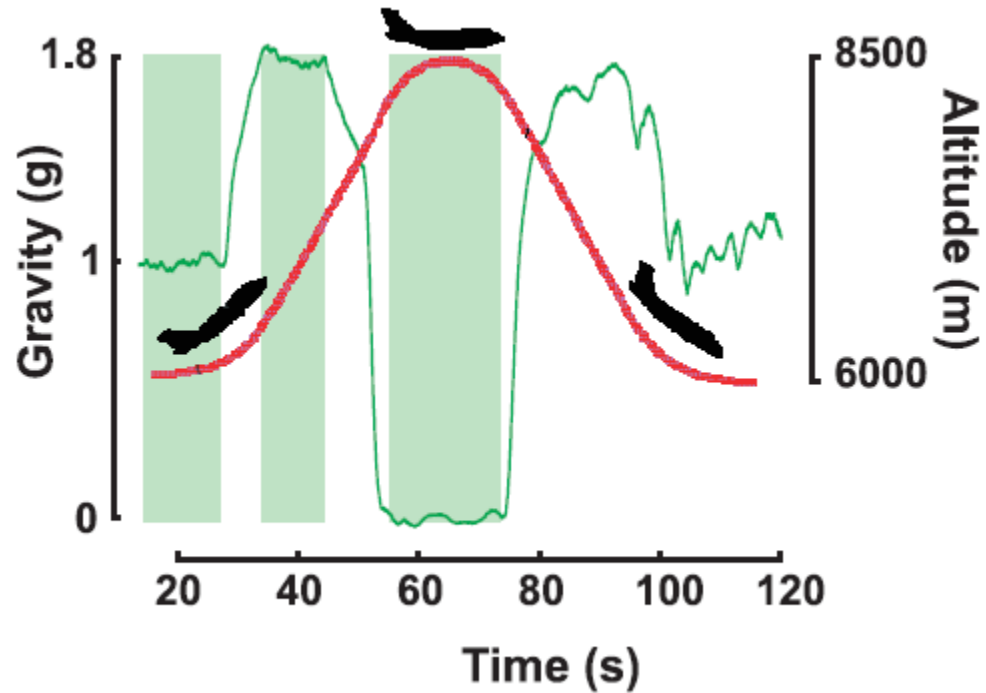
# Altérer la gravite

Table A.1: Comparison between microgravity platforms.

Platform	$\mu$ -g level (g)	Duration	Volume (m <sup>3</sup> )	Control
Drop towers	$10^{-3} - 10^{-6}$	< 5 s	< 1	indirect
Parabolic flights	$10^{-2} - 10^{-3}$	20-25 s	> 10	direct
Sounding rockets	$10^{-4} - 10^{-5}$	5 - 13 min	< 1	indirect
Recoverable capsules	$\leq 10^{-5}$	weeks	> 1	indirect
Manned orbital platform (ISS)	$10^{-2} - 10^{-5}$	weeks - years	> 1	direct



# Altérer la gravite





**A300**

**ZERO-G**

GOVERNANCE  
ON

# PARABOLAS SEQUENCE

