

# Développement d'un système robotique de télé-assistance par analogie bio-mimétique



par

**Yves RYBARCZYK**

*Laboratoire Systèmes Complexes, FRE 2494, CNRS - Université d'Evry-Val d'Essonne*

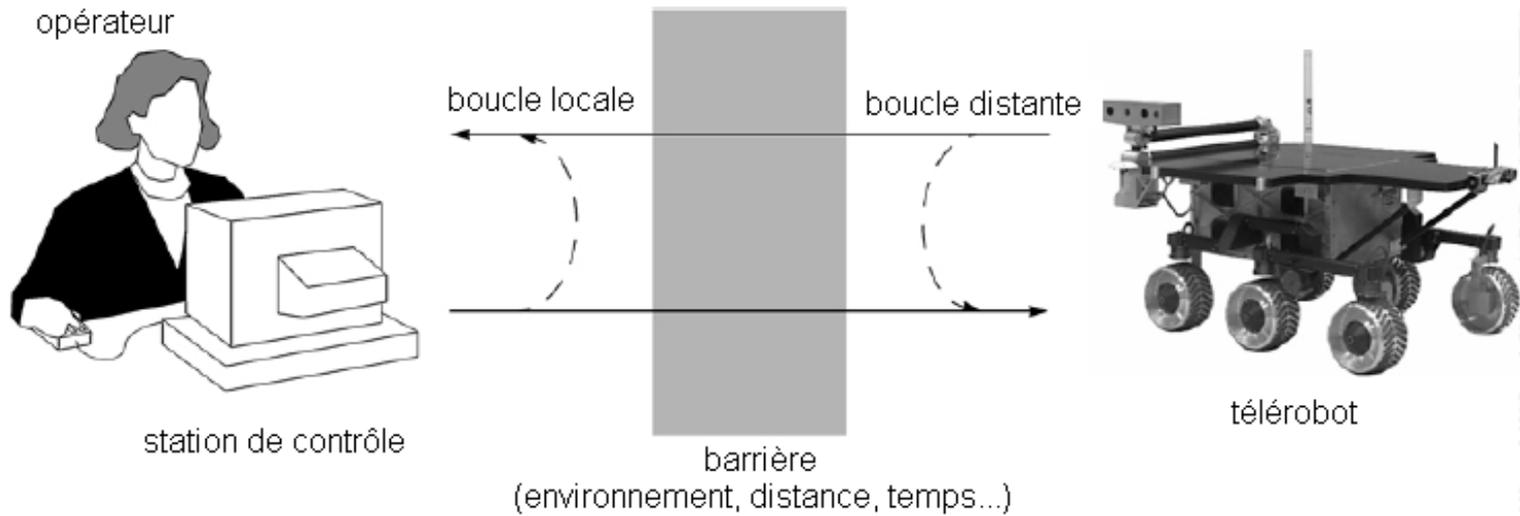
*Laboratoire Mouvement et Perception, UMR 6152, CNRS - Université d'Aix-Marseille II*

# Plan



- ☞ contraintes de la téléopération => appropriation ?
- ☞ adaptation homme-machine
- ☞ hypothèse : approche anthropocentrique
- ☞ dimension morphologique :
  - schéma corporel
  - expérience 1 : relation vision/effecteur
- ☞ dimension fonctionnelle :
  - modélisation de l'anticipation visuo-motrice
  - expérience 2 : conséquences sur le contrôle moteur
- ☞ interprétation des avantages de l'anthropocentrisme

# Situation de téléopération



# Déficiences sensori-motrices



## Sensoriel :

- ☞ appauvrissements (vision, proprioception et audition)
- ☞ pertes (toucher et odorat)

## Moteur :

- ☞ défauts d'automatisation (=> élévation de la charge de travail mental)
- ☞ distorsions sensori-motrices (e.g. différence dans la dynamique de mouvement)

# Problématique



Conditions très appauvries par rapport à une situation naturelle

☞ appropriation possible ?

☞ comment élever le niveau d'appropriation ?

# Principe de l'adaptation humaine

(Piaget, 1936)



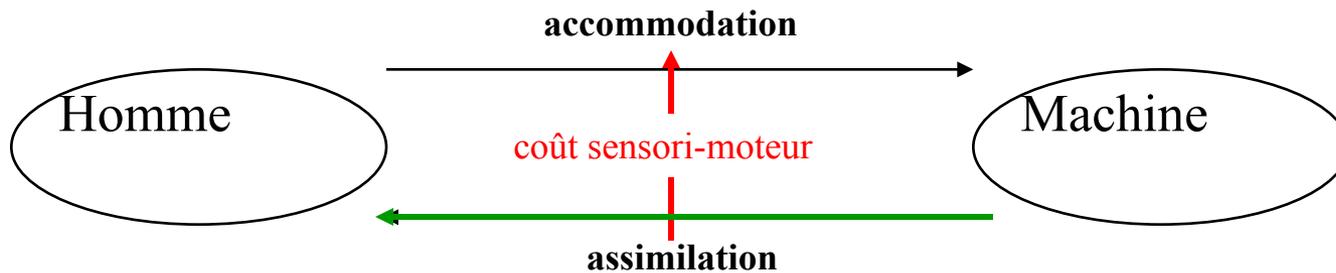
Assimilation

=> généralisation des  
schèmes préexistants

Accommodation

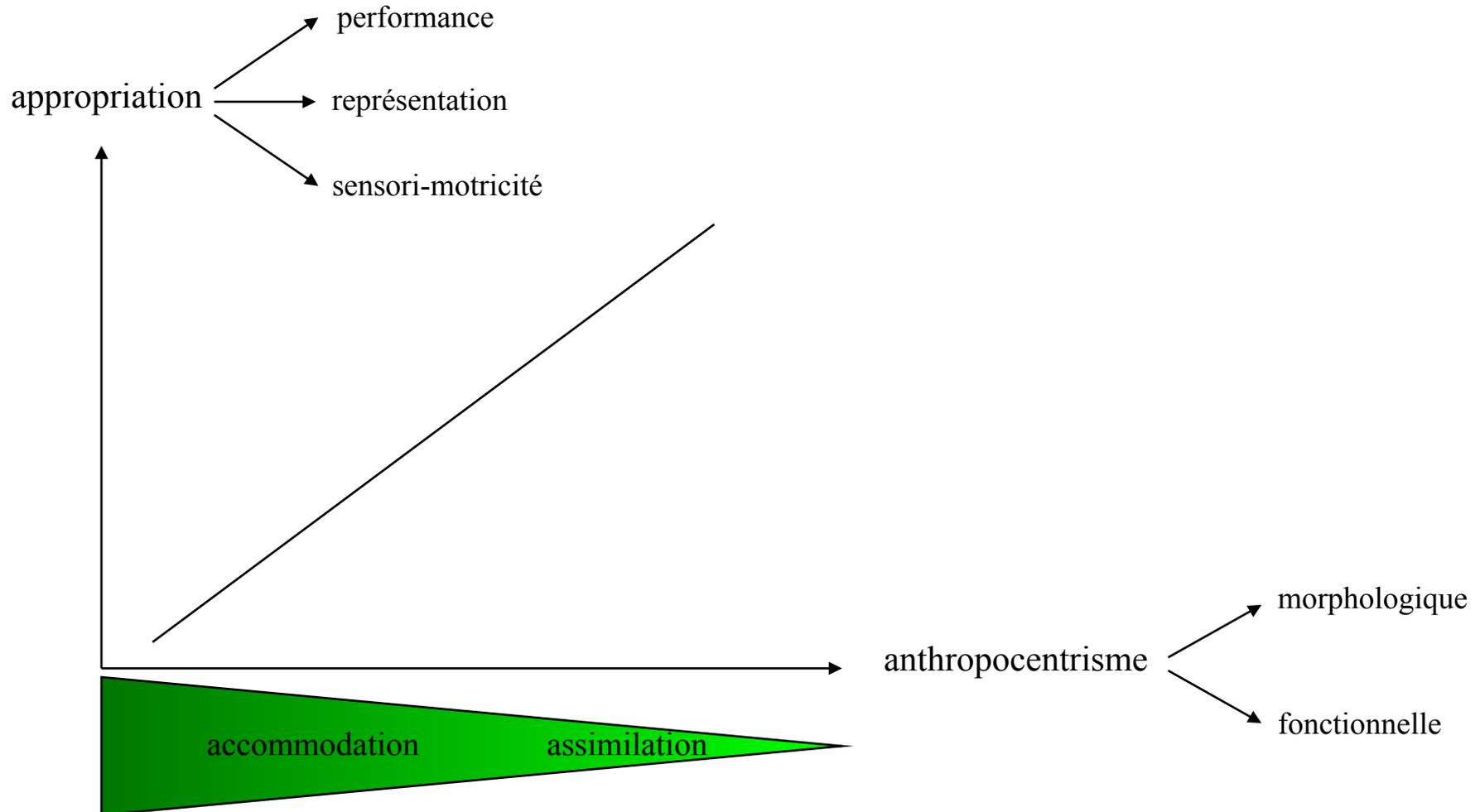
=> différenciation des  
schèmes préexistants

# Application à la relation homme-machine

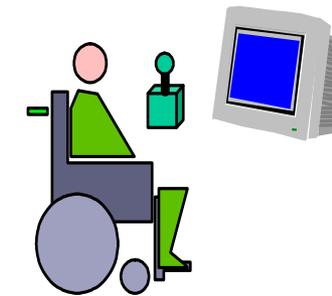


Approche anthropocentrique

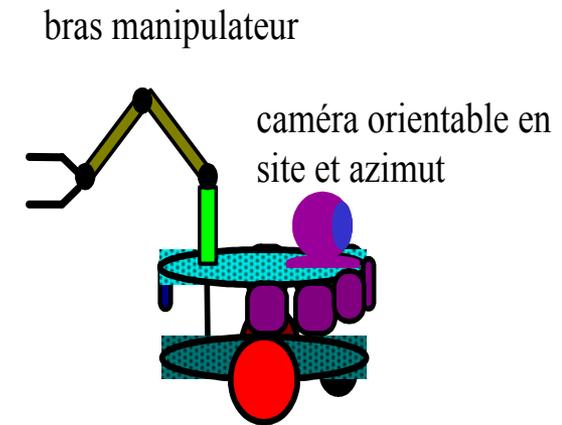
# Hypothèses



# Systeme ARPH



station de contrôle



robot mobile

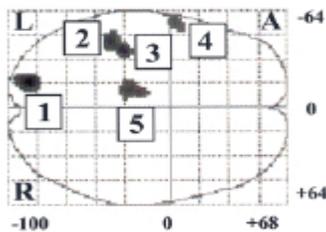
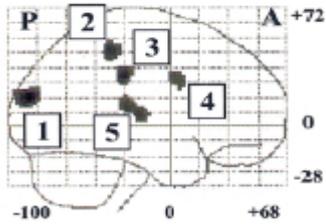
# **Dimension morphologique**



**Positionnement du référentiel visuel  
par rapport à l'organe préhenseur**

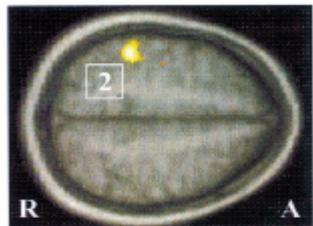
# Schéma corporel

## Espace péricorporel

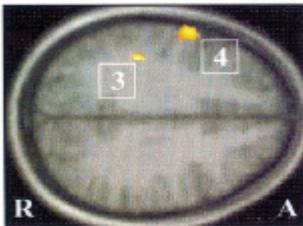


Aires visuo-motrices dorsales :

+52 mm



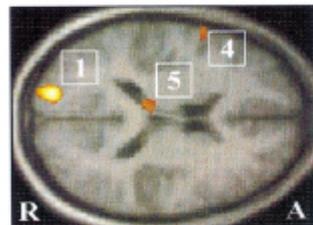
+34 mm



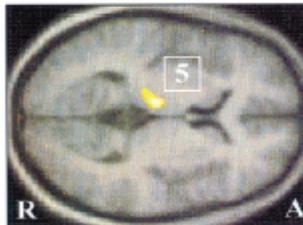
(1) Cortex occipital dorsal gauche

(2) (3) Cortex intrapariétal gauche

+20 mm



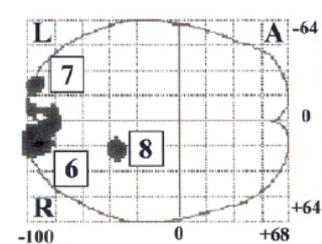
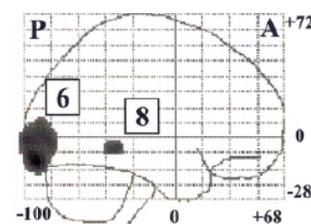
+8 mm



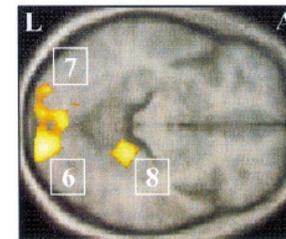
(4) Cortex prémoteur ventral

(5) Thalamus gauche

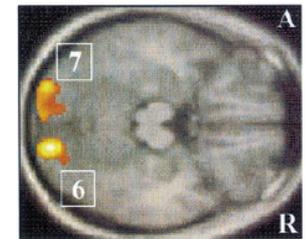
## Espace extracorporel



-8 mm



-16 mm



Aires visuo-perceptives ventrales :

(6) (7) Cortex occipital ventral bilatéral

(8) Cortex temporal médial droit

# Propriétés dynamiques du schéma corporel



- ☞ Allongement du champ récepteur visuel des neurones bimodaux du cortex intrapariétal du singe, après utilisation d'un outil (Iriki *et al.*, 1996).
- ☞ Prolongement de la négligence d'un héminégligent pour l'espace péripersonnel, à la dimension de la baguette tenue en main (Berti & Frassinetti, 2000).

# Hypothèse



Facilitation de l'incorporation du robot dans le schéma corporel quand la configuration du dispositif tend vers une représentation anthropomorphique

# Evaluation de l'incorporation



Indice d'affordance  $P_i$  (Warren & Whang, 1987) :

$$P_i = \frac{\text{Caractéristique}_{\text{environnement}}}{\text{Caractéristique}_{\text{humaine}}}$$

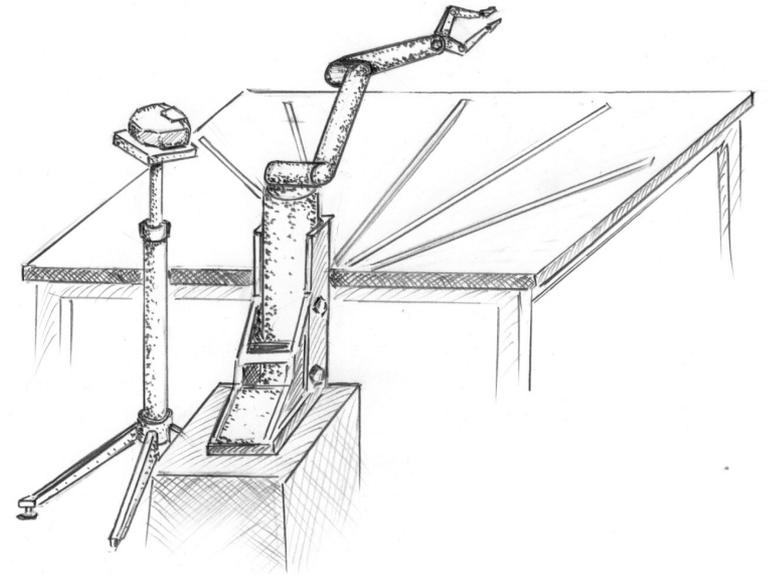
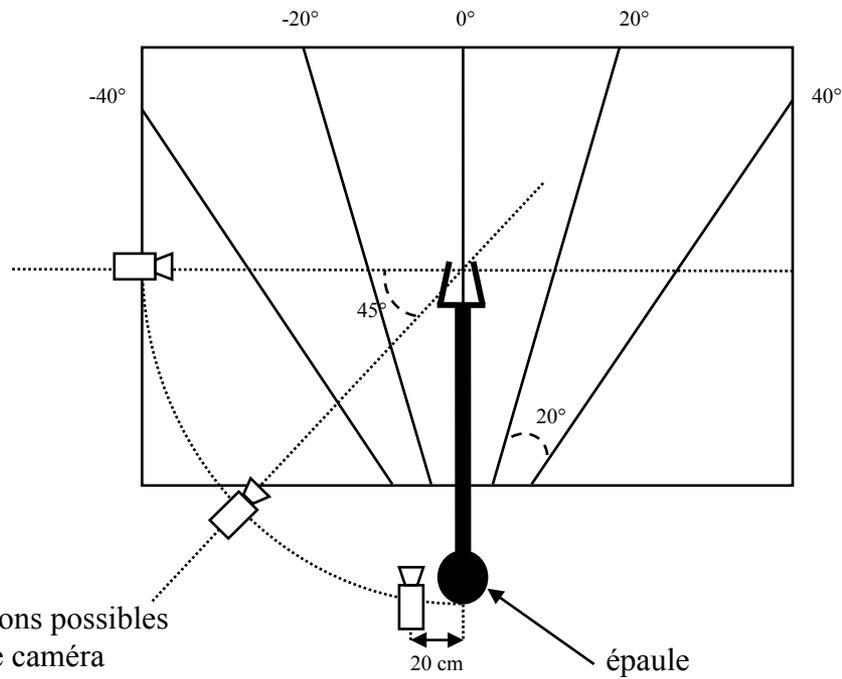
$$P_{i\text{lim}} = D / B$$

D = distance maxi estimée atteignable par simple extension

B = longueur du bras (humain ou robotique)

Si  $P_{i\text{lim}}$  tend vers 1  $\Rightarrow$  l'opérateur a une bonne représentation des capacités d'extension du bras

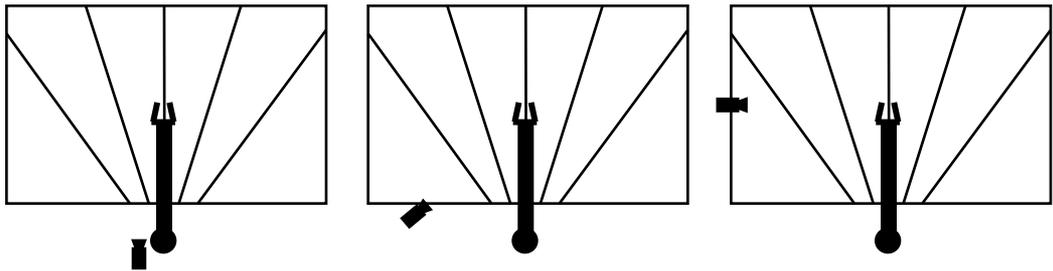
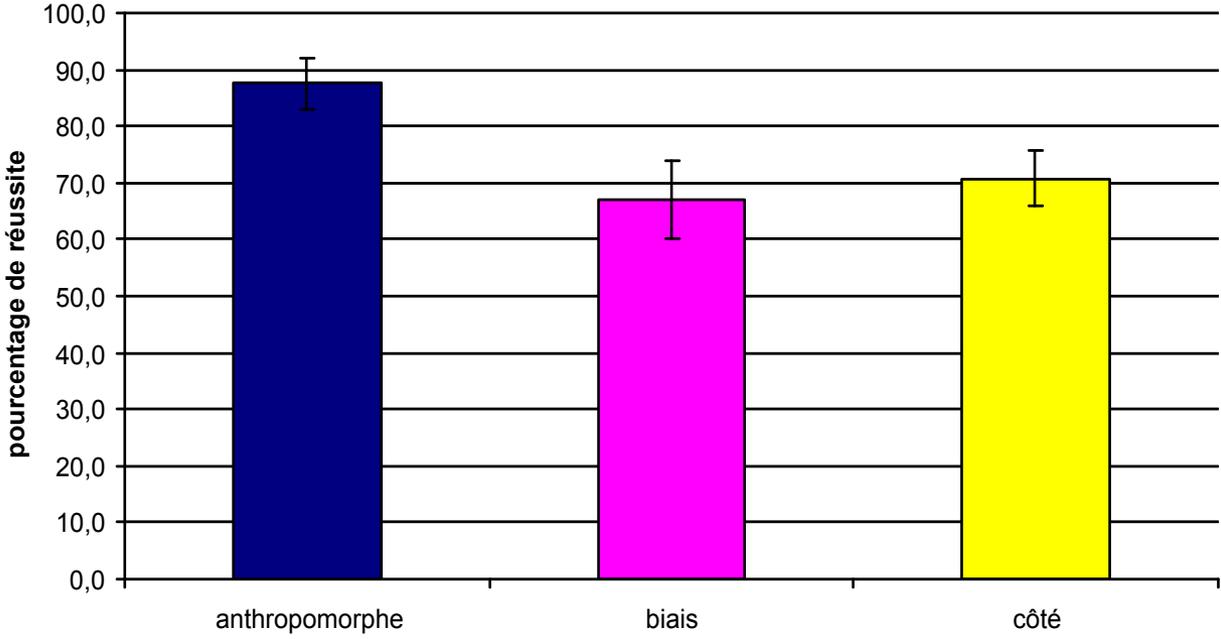
# Conditions expérimentales



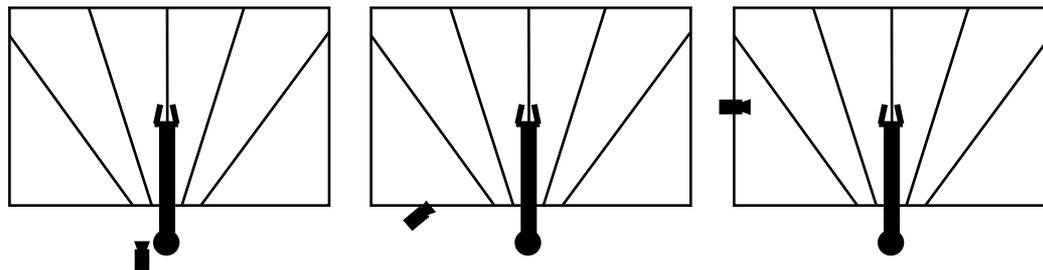
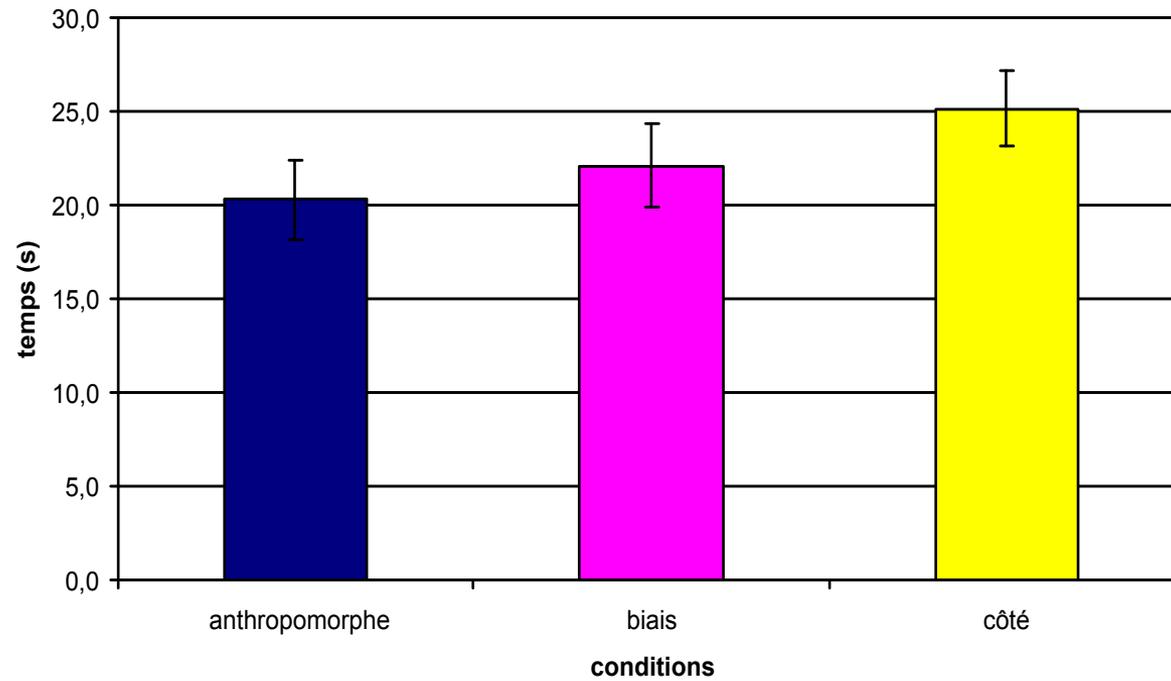
# Protocole

- **Mesure** de la *longueur d'atteinte* ( $B$ ) par simple extension du bras humain ou robotique.
- **Saisie** d'objets placés à différentes distances à l'aide du bras humain ou robotique.
- **Recherche** de la *distance maxi* ( $D$ ) pour laquelle le sujet estime que l'objet présenté est atteignable par simple extension du bras humain ou robotique.
- **Evaluation** :
  - analyse de la performance ;
  - calcul du ratio  $Pi_{lim} = D/B$ .

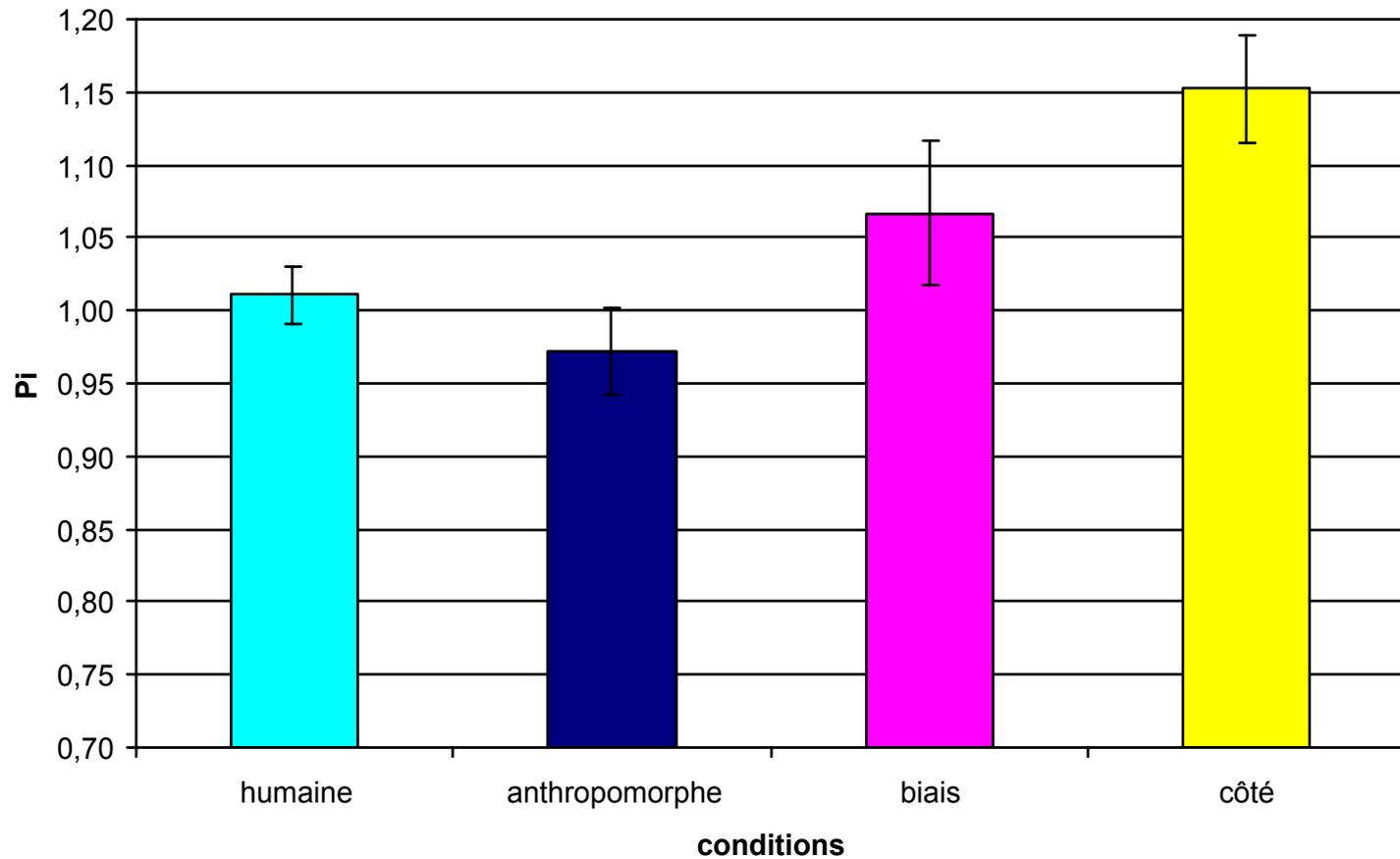
# Taux de réussite



# Temps de mouvement



# Valeurs de l'indice $P_{lim}$



# Conclusions



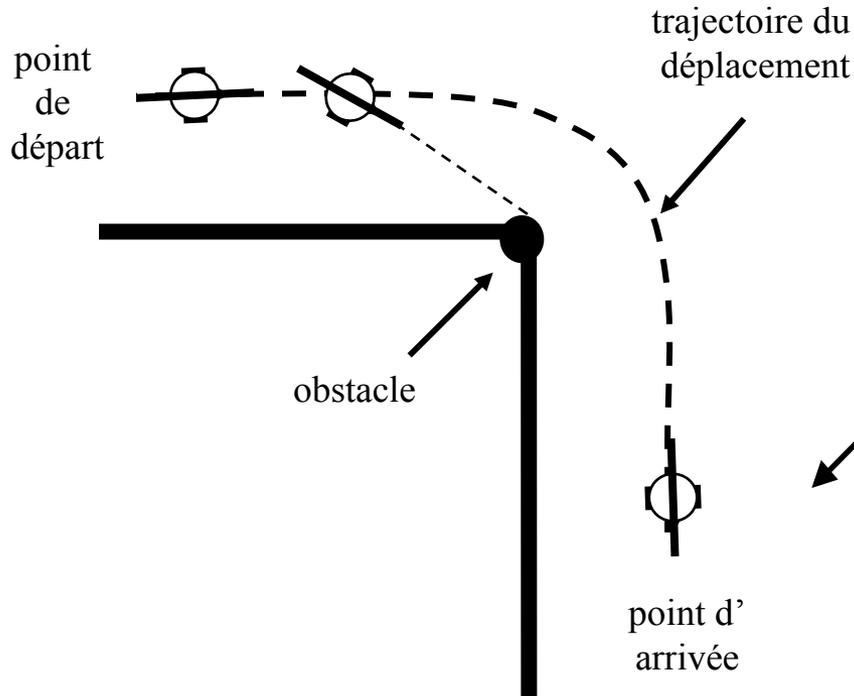
- ☞ les performances brutes les plus élevées sont systématiquement obtenues en condition anthropomorphique.
- ☞ plus les configurations s'éloignent de ce modèle humain, plus on observe une tendance générale à la diminution de ces performances.
- ☞ ces résultats semblent s'expliquer par la plus grande capacité de l'opérateur à intégrer le robot dans son schéma corporel, lorsque celui-ci présente une organisation anthropomorphique.

# **Dimension fonctionnelle**

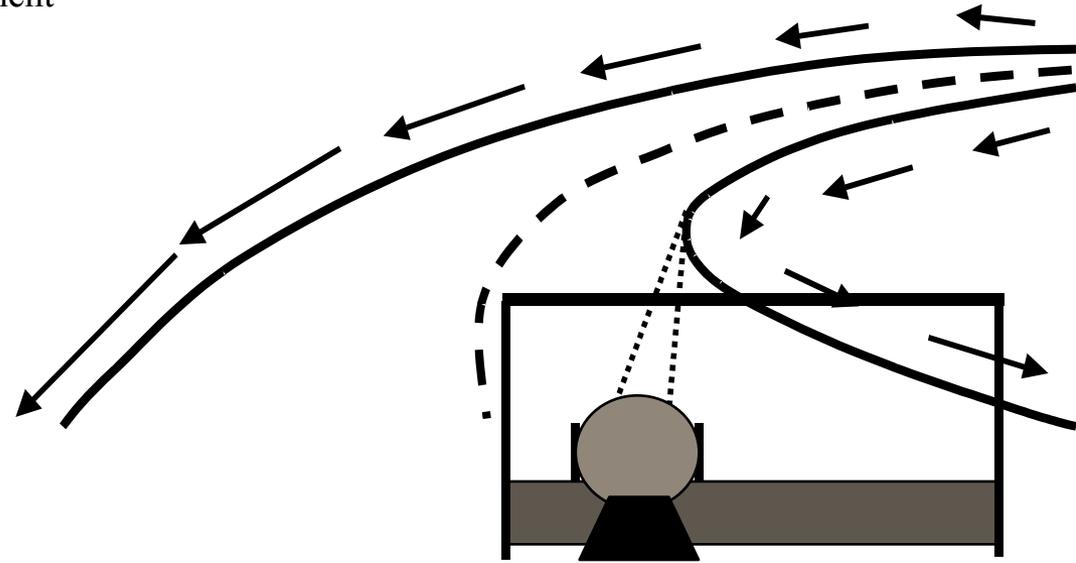


**Implémentation de mécanismes d'  
anticipation visuo-motrice**

# Comportement d'anticipation visuelle sur le déplacement

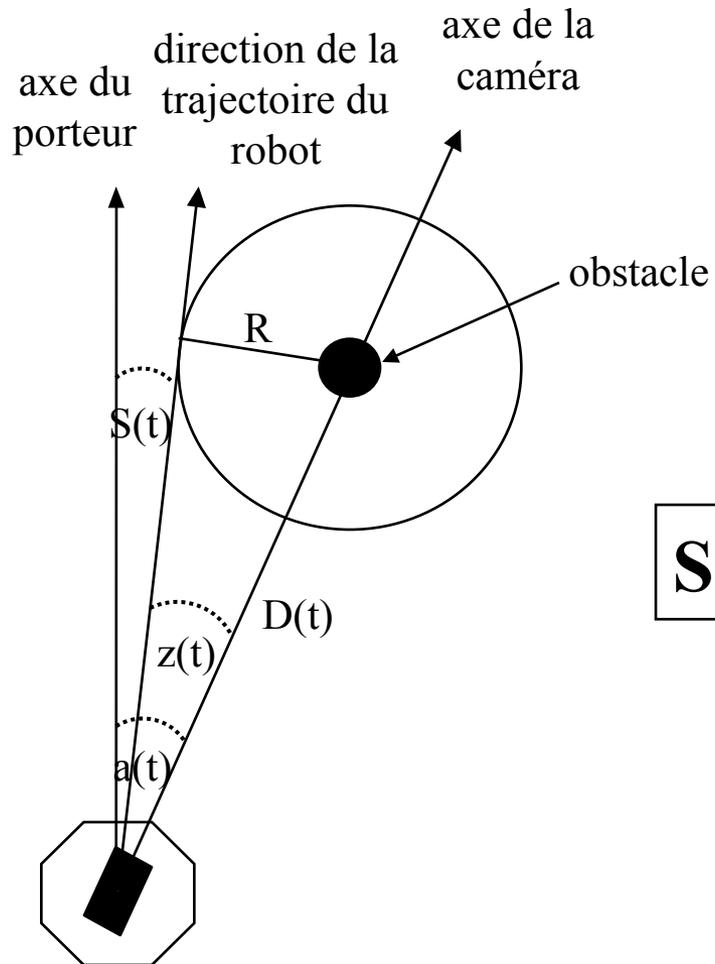


Grasso *et al.*, 1996



Land, 1998

# Modélisation “caméra”



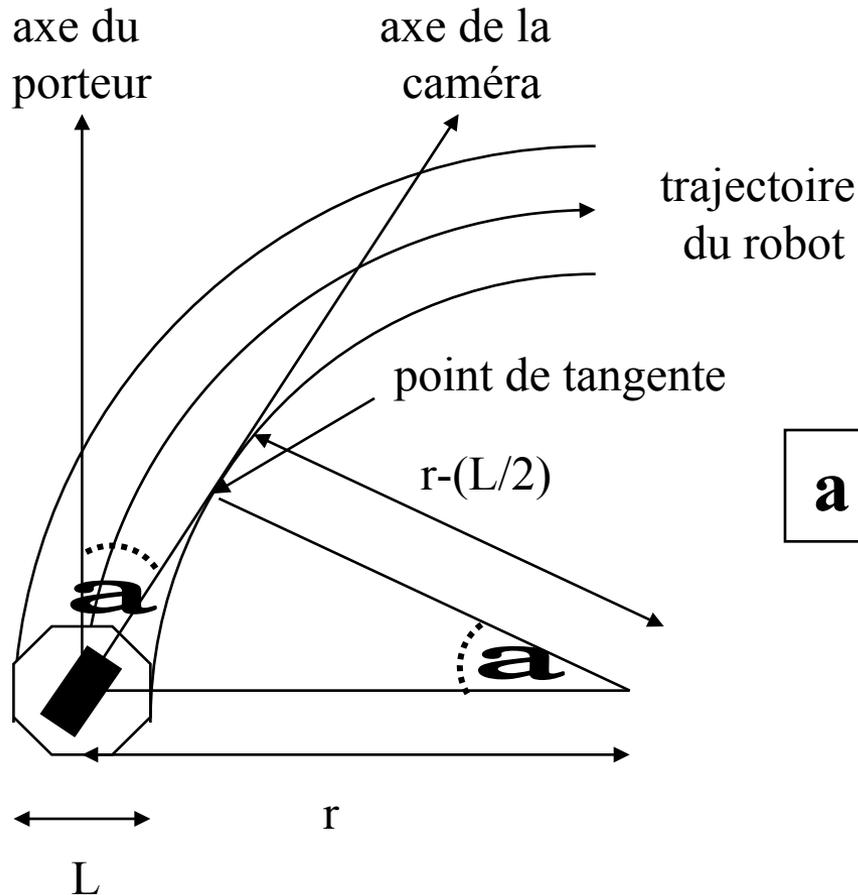
$$S(t) = a(t) - \arcsin(R/D(t))$$

$$\sin z(t) = R/D(t)$$

$$z(t) = \arcsin(R/D(t))$$

$$\text{avec : } D = (v/(da/dt)) \sin a$$

# Modélisation “plate-forme”



$$a = \arccos \left( 1 - \frac{L/2}{r} \right)$$

$$\begin{aligned} \cos a &= \frac{r - (L/2)}{r} \\ &= 1 - \frac{L/2}{r} \end{aligned}$$

avec :  $r = v/w$

# Hypothèse



Lorsque le couplage visuo-locomoteur suit une organisation temporelle de type humain, l'appropriation devrait s'effectuer par un processus à dominante assimilatrice

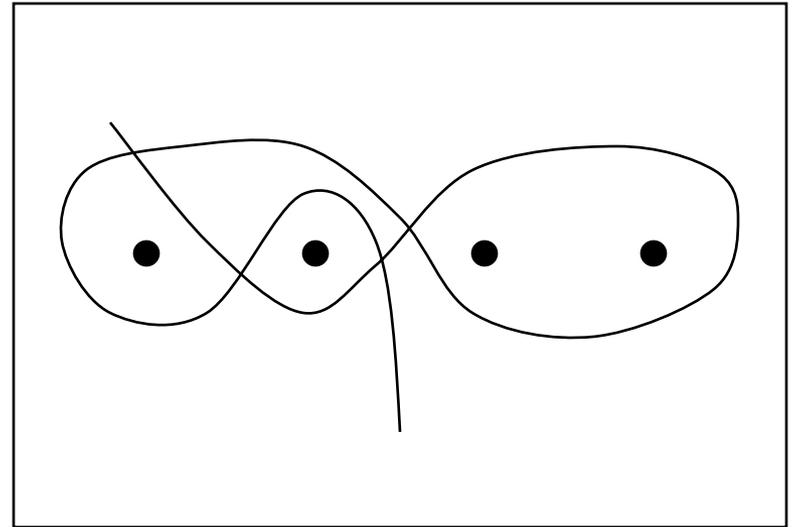
# Protocole expérimental

Anthropofonctionnalité

- condition « caméra »

- condition « plate-  
forme »

- condition « fixe »



# Evaluation (1)

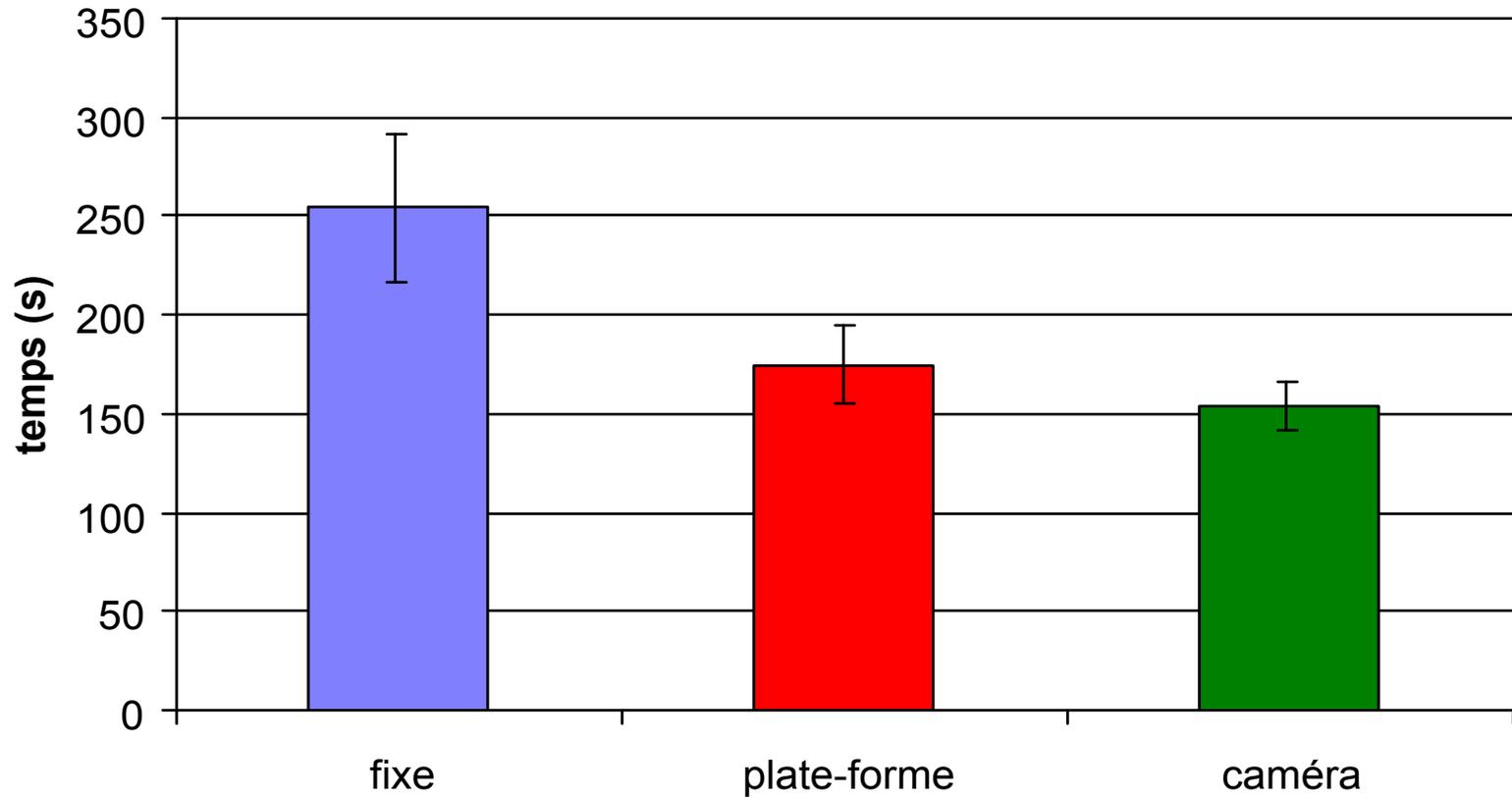


## Performances brutes :

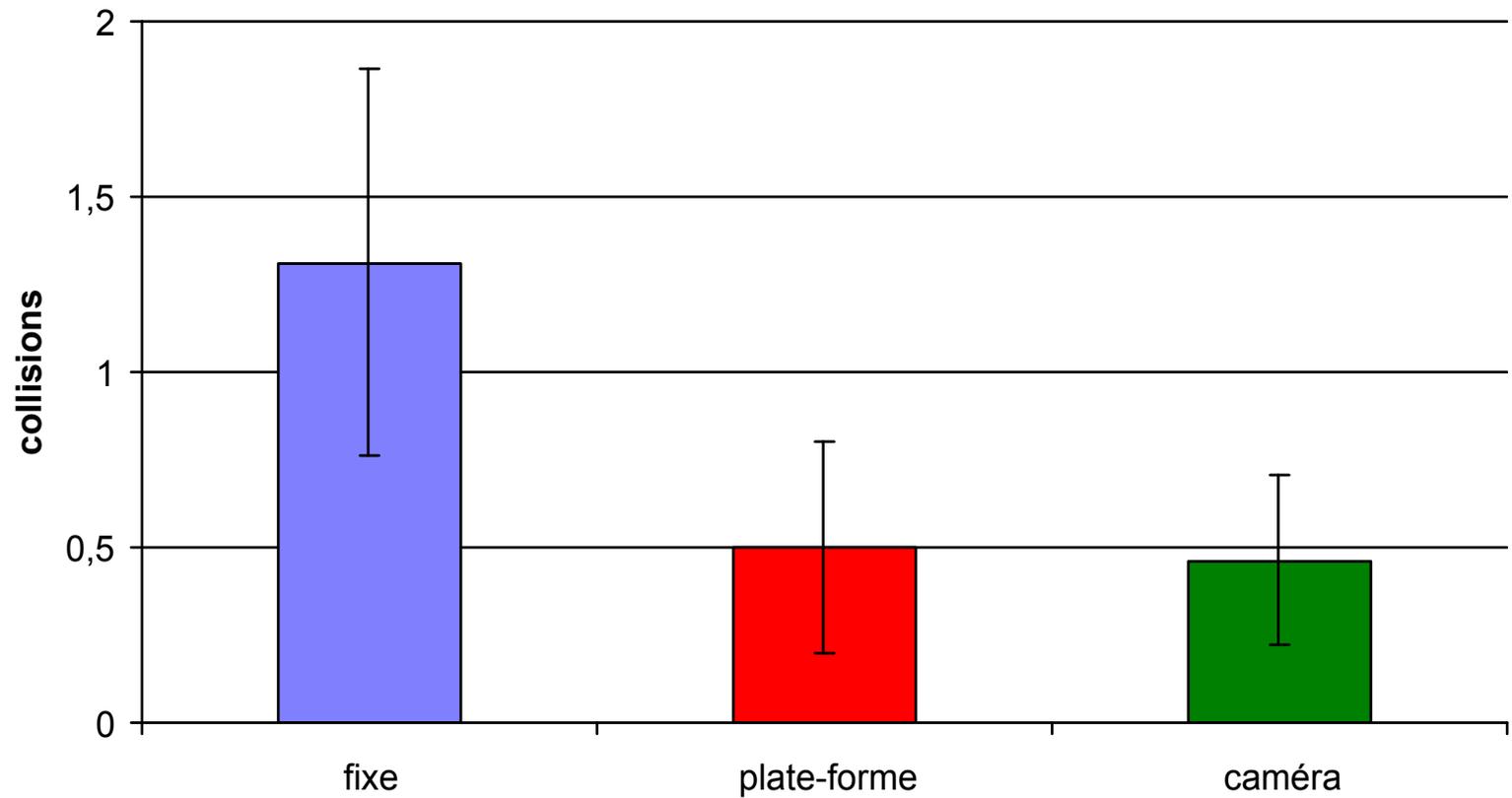
☞ temps d'exécution du parcours.

☞ nombre de collisions contre les obstacles.

# Temps moyen d'exécution du parcours



# Nombre moyen de collisions



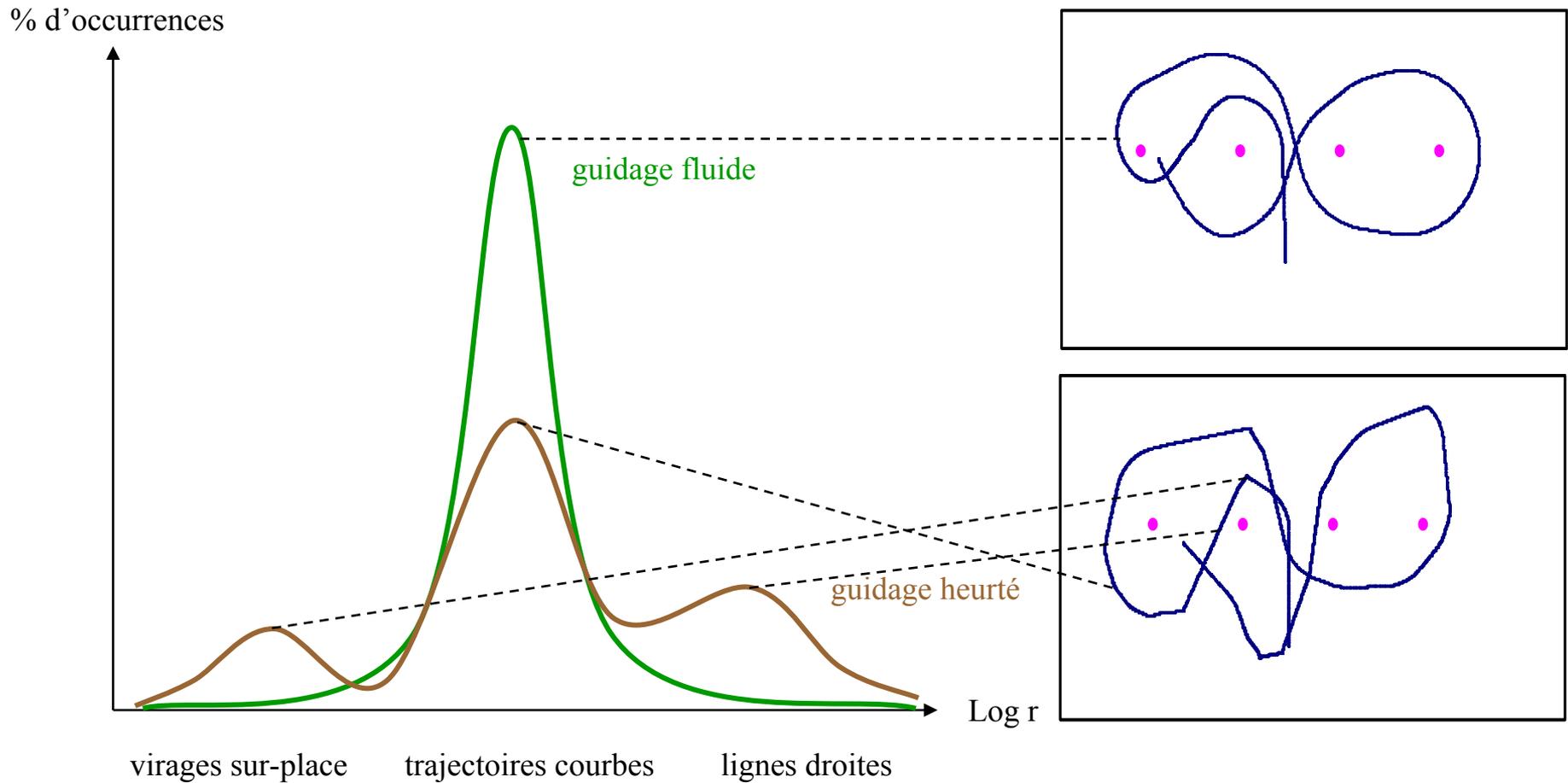
# Evaluation (2)



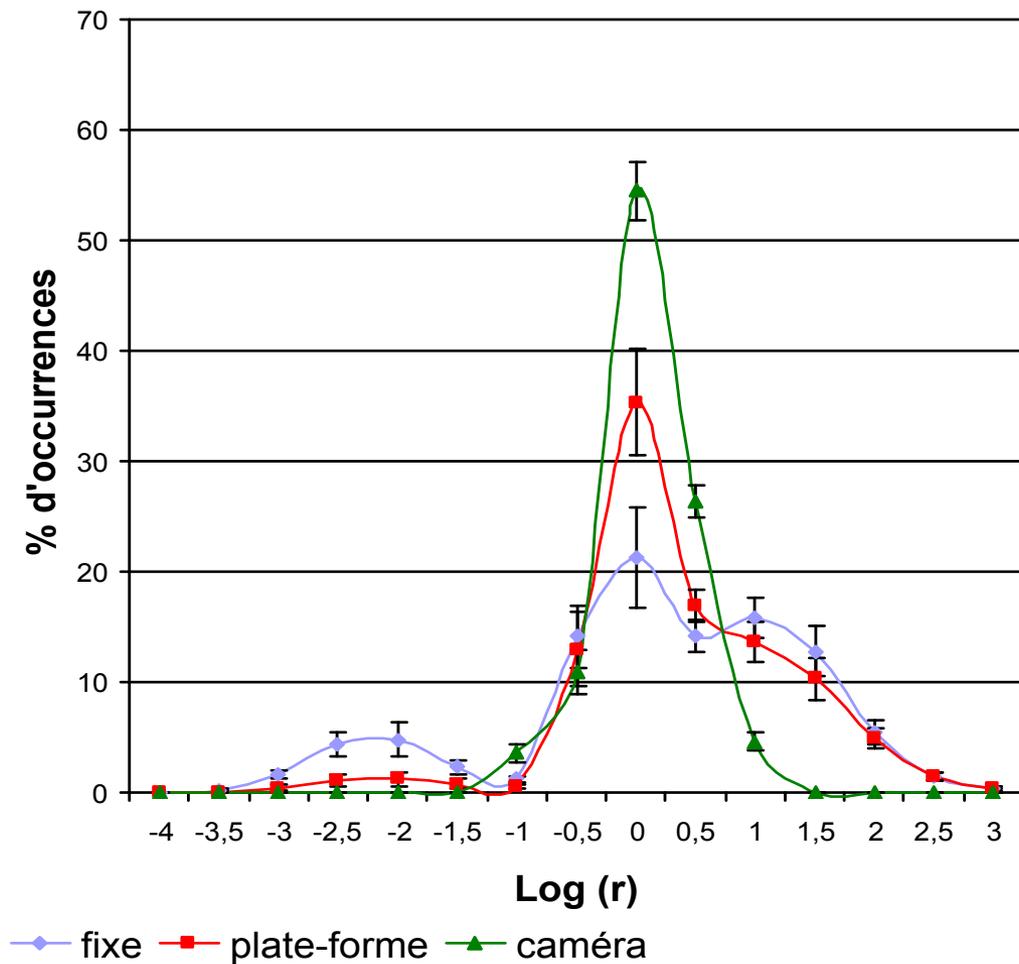
## Indices comportementaux :

- ☞ lissage des trajectoires.
- ☞ loi de puissance reliant la géométrie à la cinématique du mouvement.

# Lissage des trajectoires

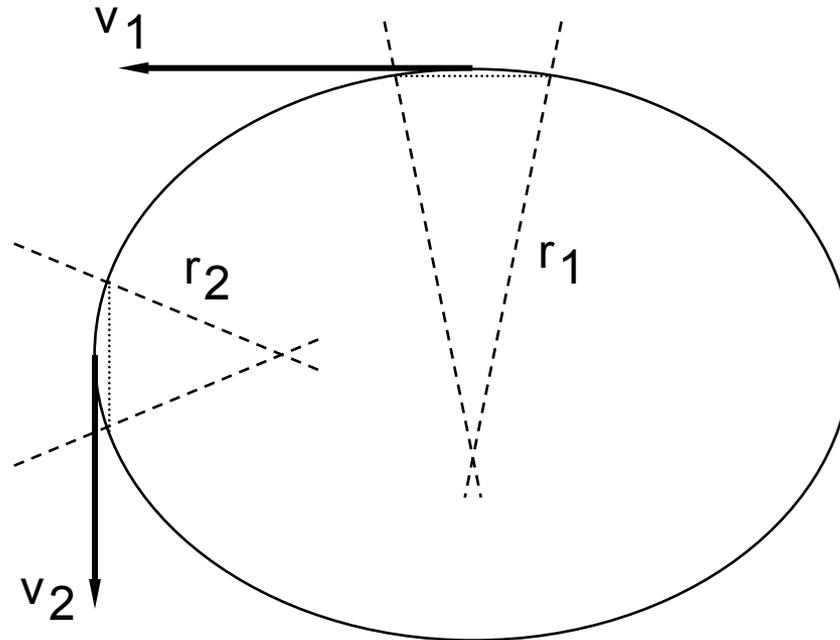


# Résultats



# Loi de puissance

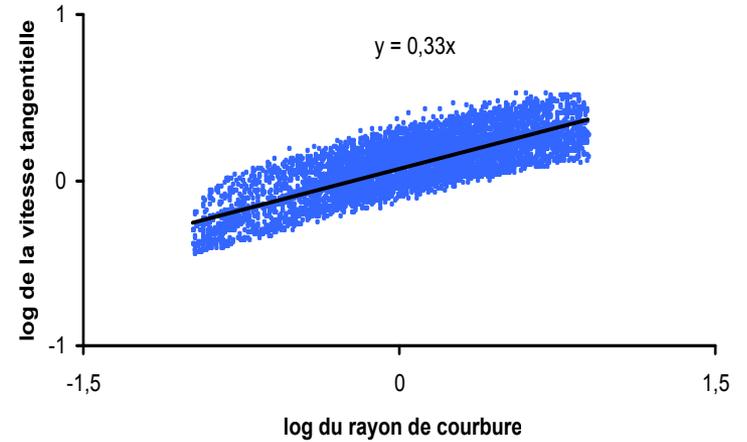
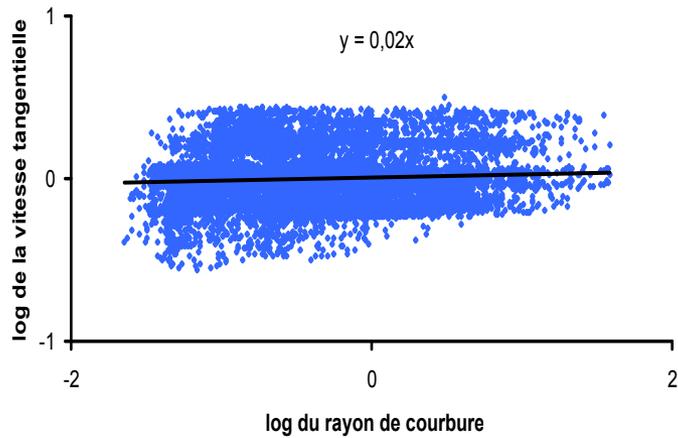
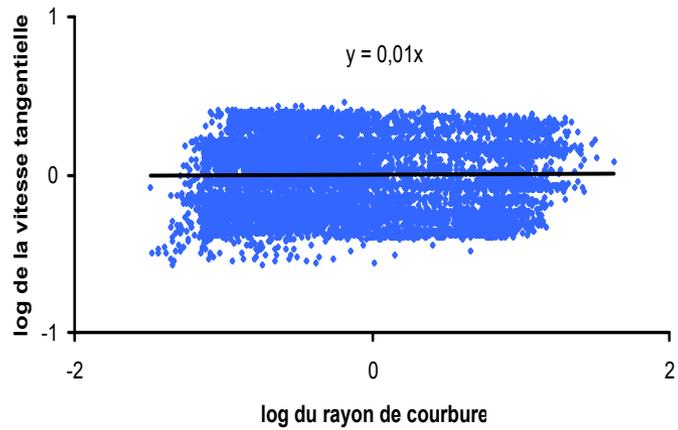
(Lacquaniti *et al.*, 1983)



$$v = k \cdot r^{1/3}$$

$$\log v = 1/3 \log r + K$$

# Résultats : vitesse/courbure



# Conclusions



- ☞ efficacité accrue lorsque l'opérateur commande un robot disposant d'un mécanisme d'anticipation visuelle sur le déplacement d'inspiration biologique.
- ☞ performance brute identique entre une anticipation implémentée selon un modèle de “type-humain” et “non-humain”.
- ☞ indices comportementaux révèlent un processus d'adaptation à dominante différente :
  - assimilatrice en anthropocentrisme ;
  - accommodatrice en non-anthropocentrisme.

# Conclusions générales



- ☞ l'approche anthropocentrique semble améliorer l'appropriation d'un système de téléopération par l'opérateur humain.
- ☞ cette démarche paraît être aussi pertinente sur le plan de l'architecture structurale que fonctionnelle de la machine.
- ☞ l'avantage de l'anthropocentrisme s'expliquerait par :
  - respect des lois de contingences sensori-motrices humaines ;
  - favorisation d'une adaptation par processus à dominante assimilatrice.