

# Symposium pour l'électronique & le numérique durables

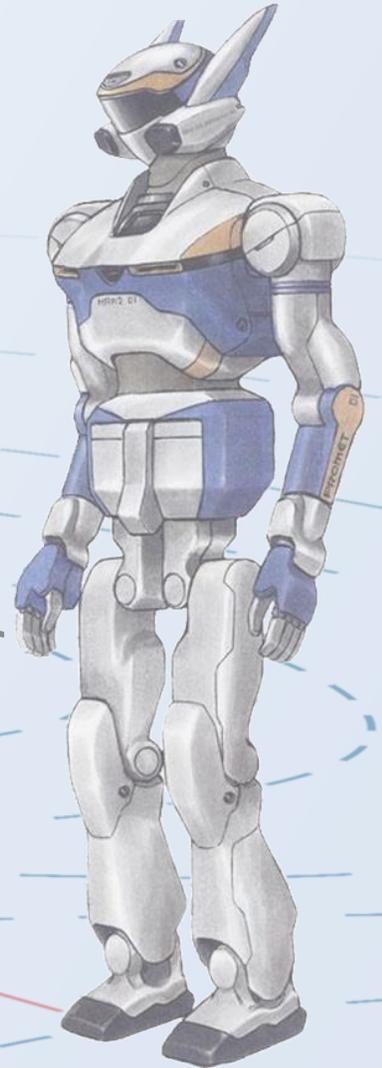
Le 12 décembre 2024, Grenoble

AVEC  
**tech&fest**



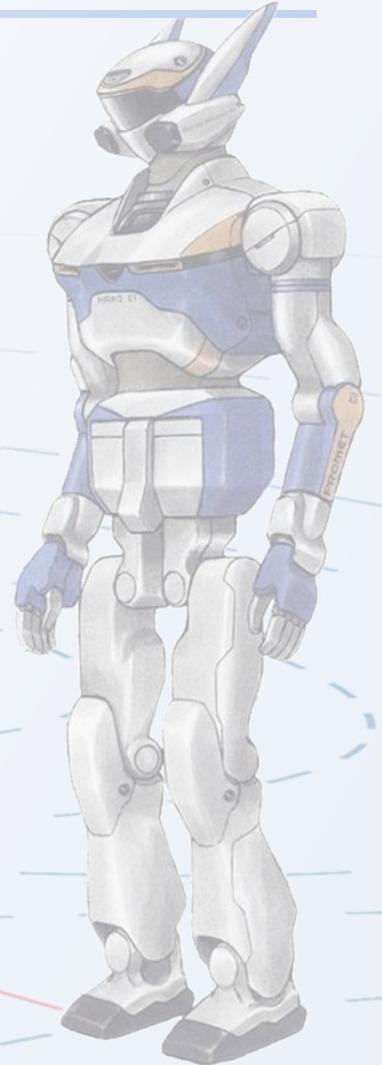
# Contrôle frugal de robot

Adrien Escande, Sélim Chefchaouni, Pierre-Brice Wieber



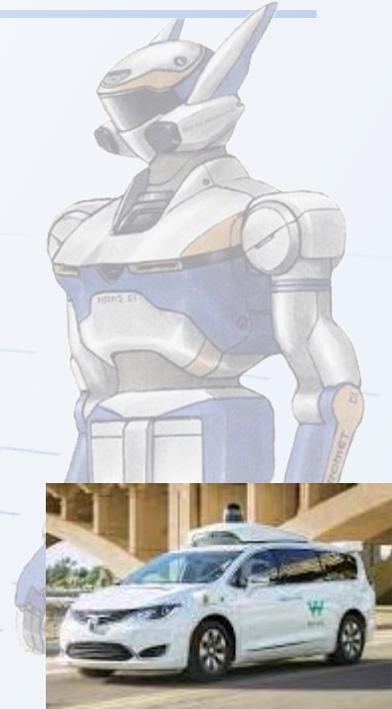
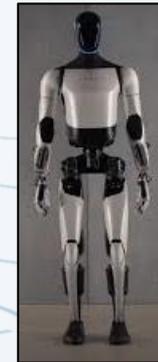
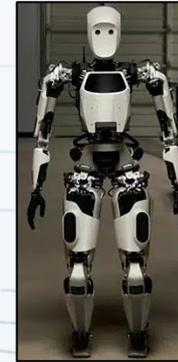
# Plan

- Contexte robotique
- Contrôle basé optimisation
- Exemple de frugalité de calcul

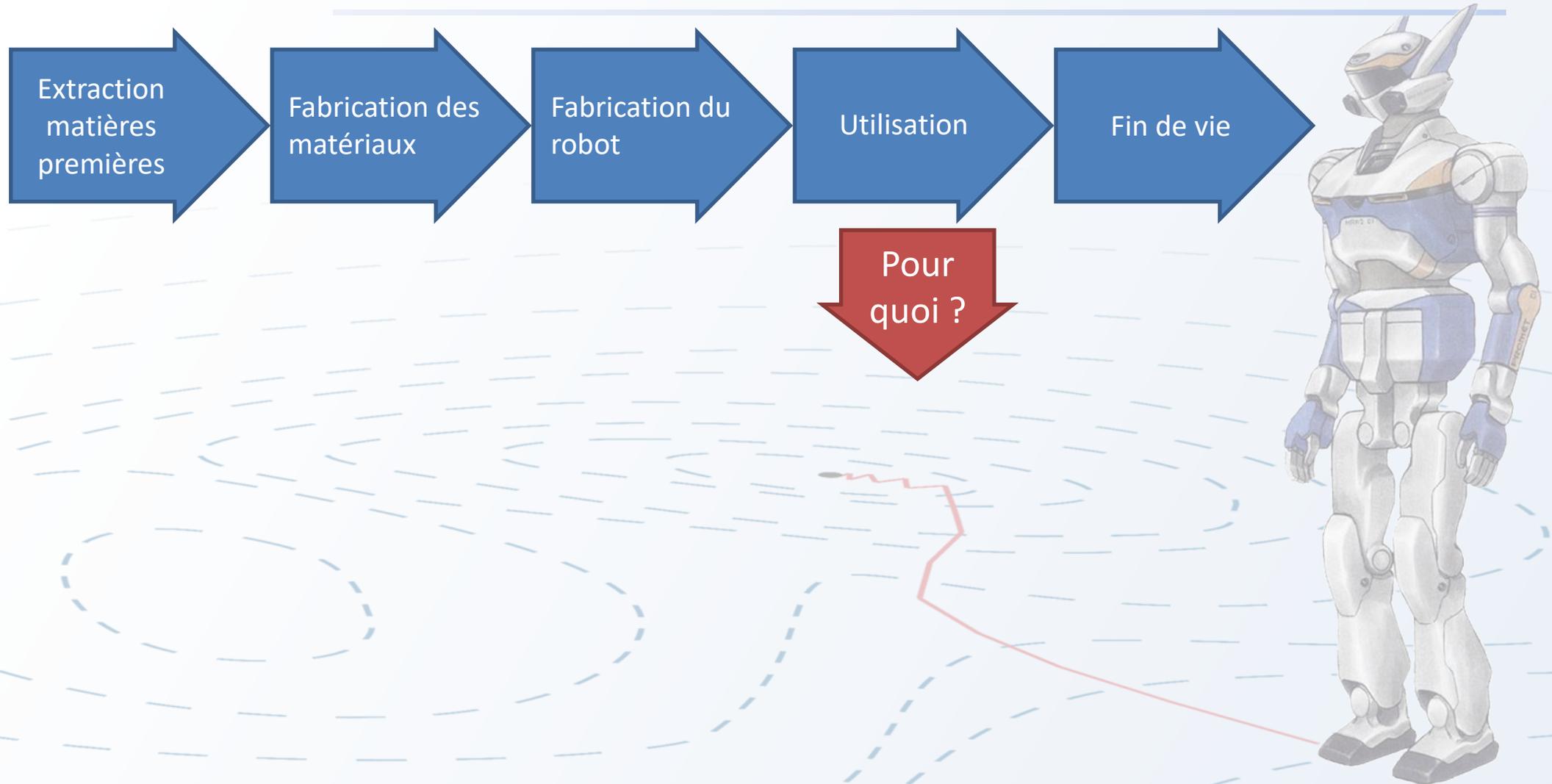


# Plus de robots

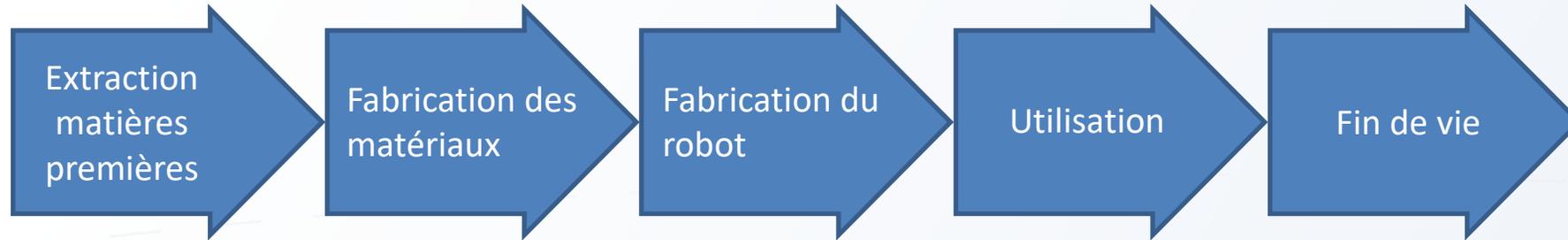
- Augmentation en nombre [*“How robots change the world”, Oxford Economics, June 2019*]
  - x 3 sur 2000 – 2020
  - x 9 prévu sur 2020 – 2030
- Objectifs récents (bulle humanoïde)
  - Wandercraft: 2 millions d’unités
  - Apptronik: 8 millions d’unités
  - Tesla: 8 or 20 milliards d’unités
- Ignore les limites d’approvisionnement
- Diversification, complexification
- Besoin de faire diminuer l’impact à l’unité



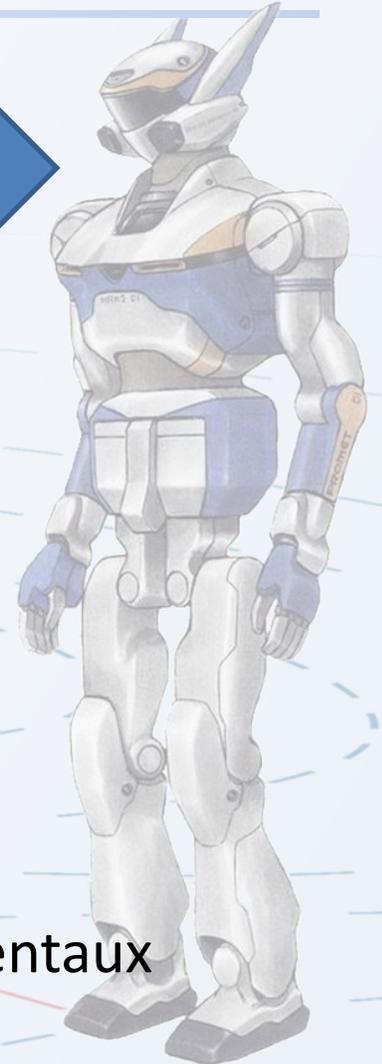
# Impacts indirects



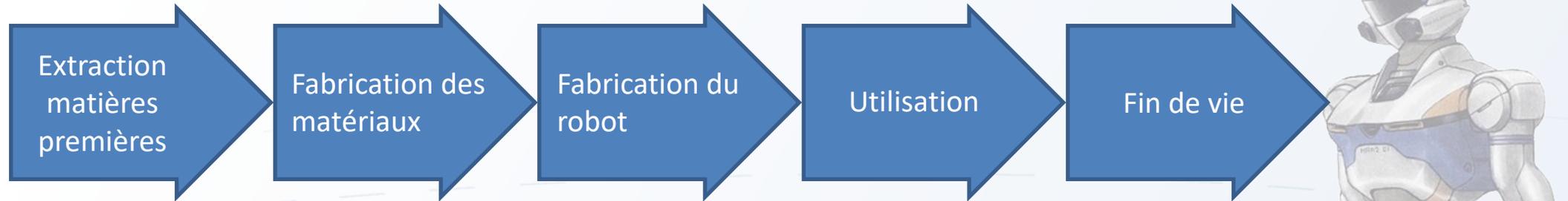
# Impacts indirects



- Voitures vs robots
  - 500 000 nouveaux robots par an
  - 80 000 000 nouvelles voitures
- Coût environnemental des robots << voitures
- Mais pas de robot → beaucoup moins de voiture
- Usage massif des robots : élément important de dommages environnementaux
- Question de l'accompagnement vers des usages bénéfiques

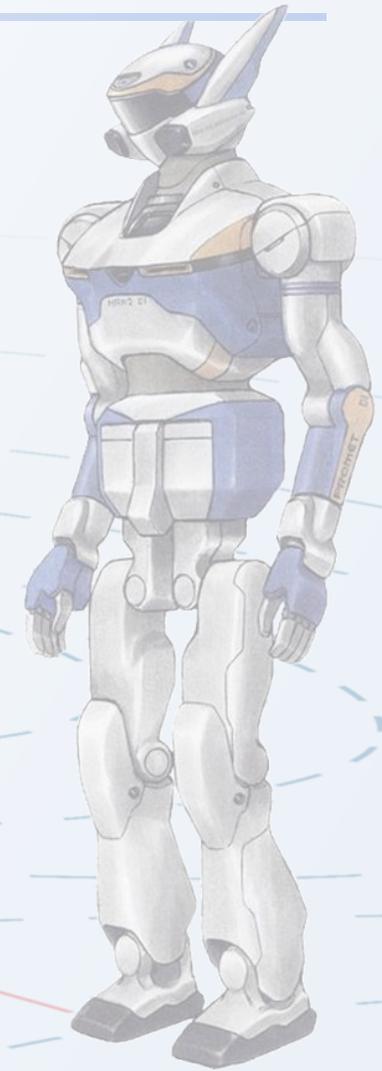
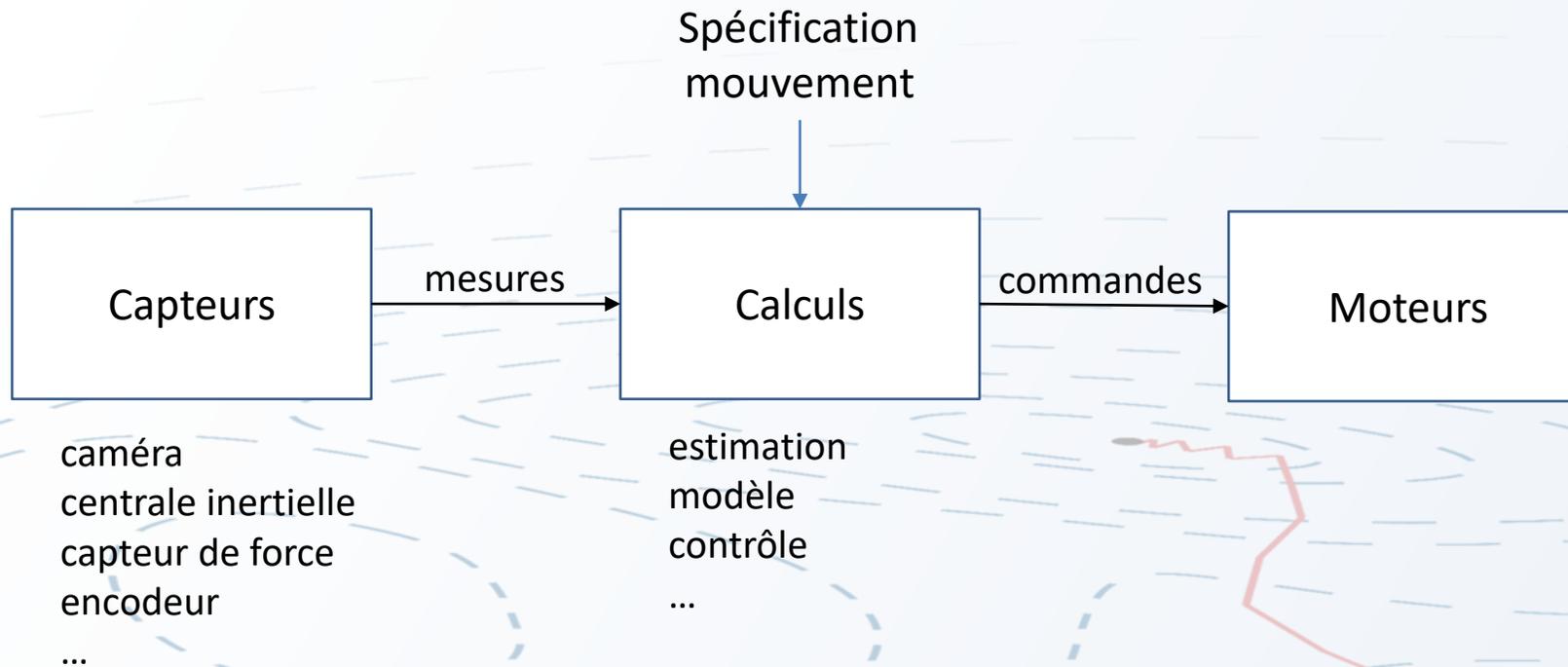


# Impacts directs

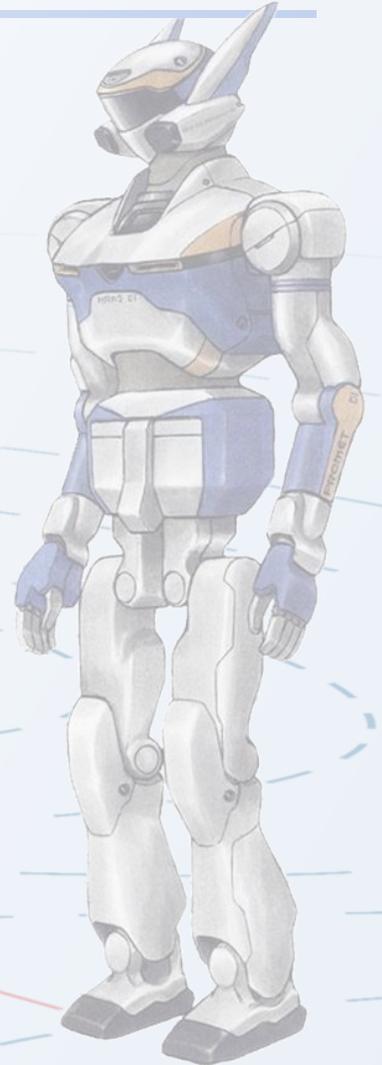
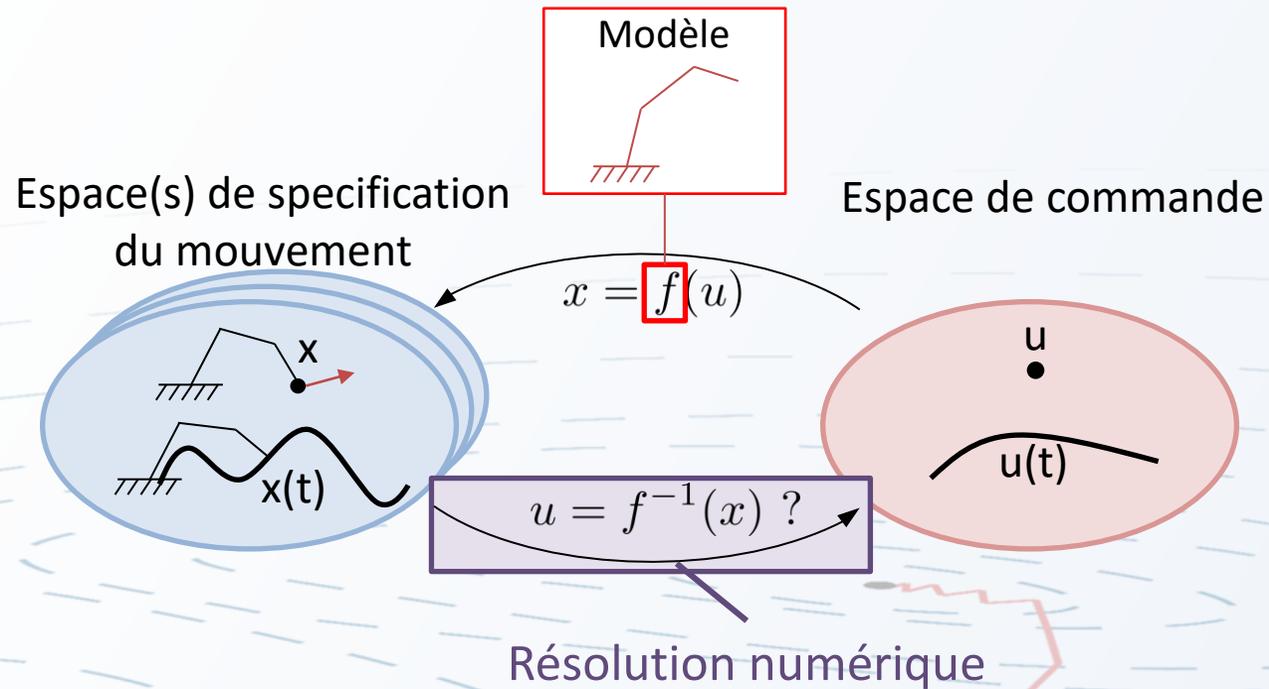


- ACV
  - Quasiment aucune étude, peu de données
  - Inclut l'électronique
- Utilisation
  - Réparation
  - Énergie consommée
    - Peu de chiffres, mais % non négligeable pour le contrôle

# Schéma de contrôle

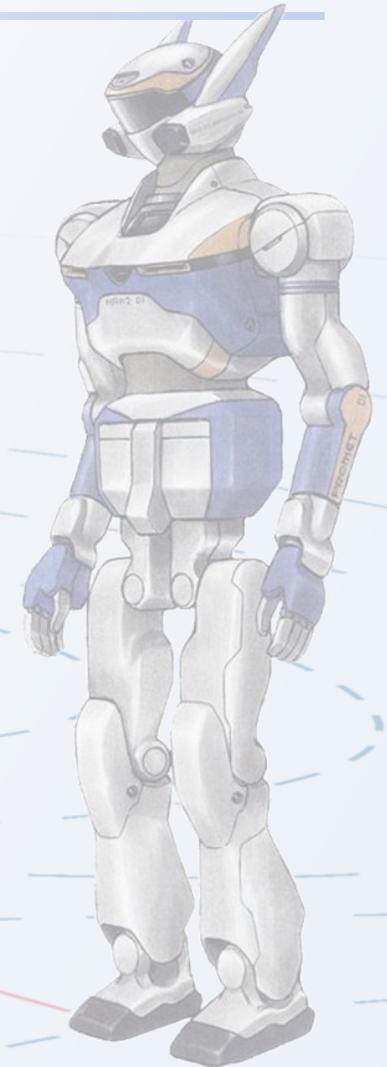
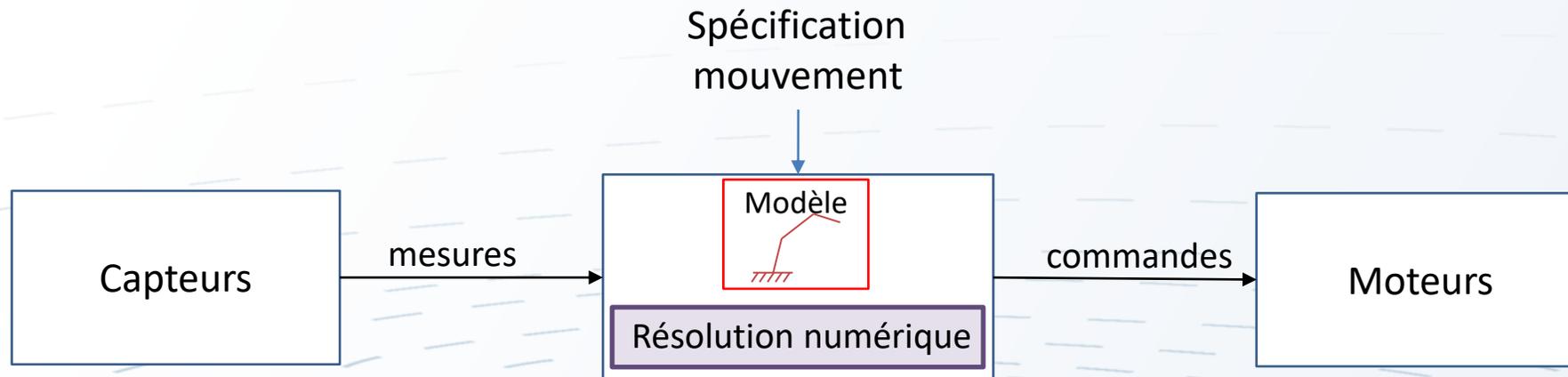


# Contrôle par optimisation basée modèle

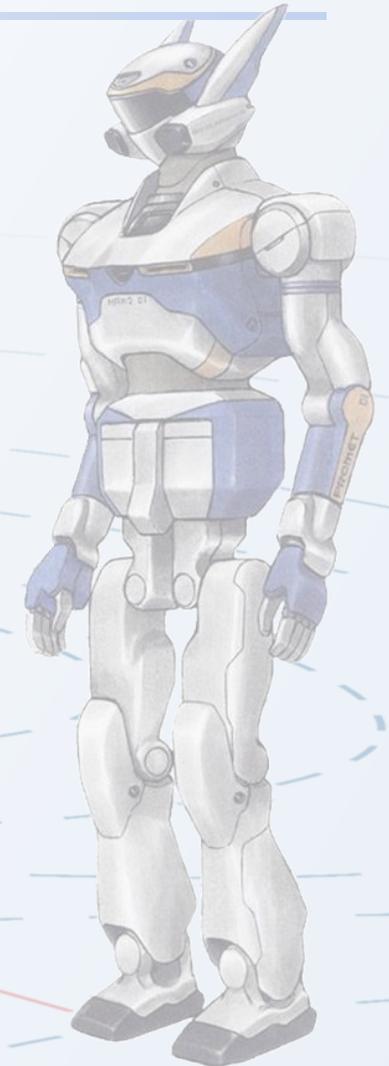
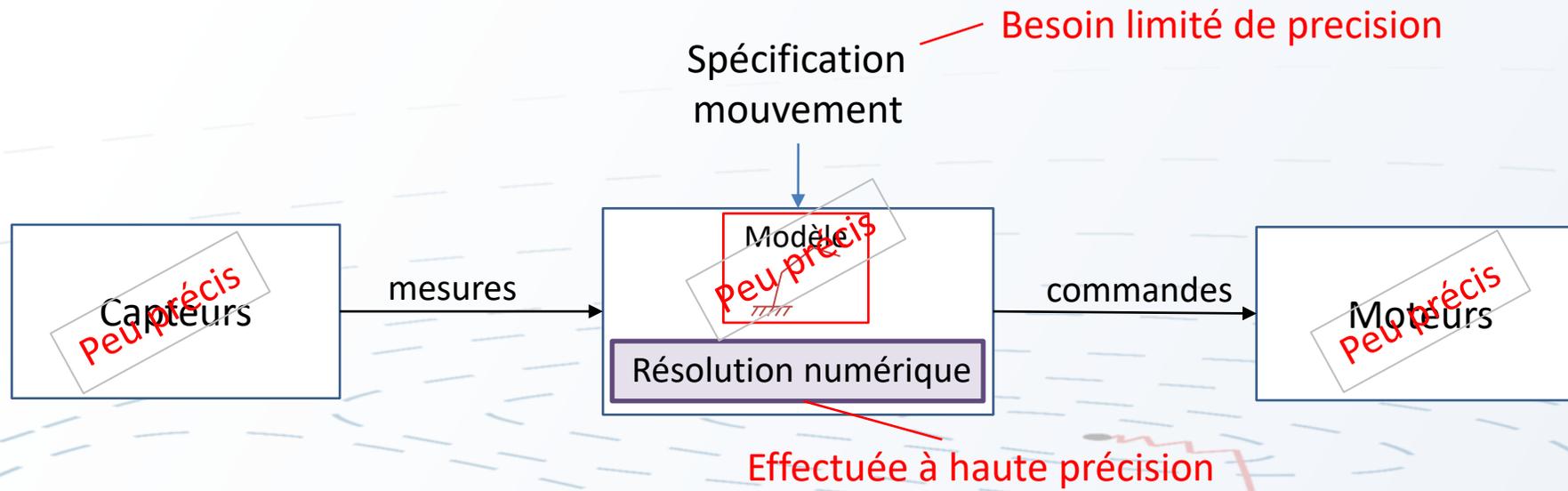


- Difficile de raisonner dans l'espace de commande
- Spécification du mouvement dans des espaces plus intuitifs
- Résolution numérique: optimisation, apprentissage
  - Fréquence typique: 10-1000 Hz

# Précision et contrôle



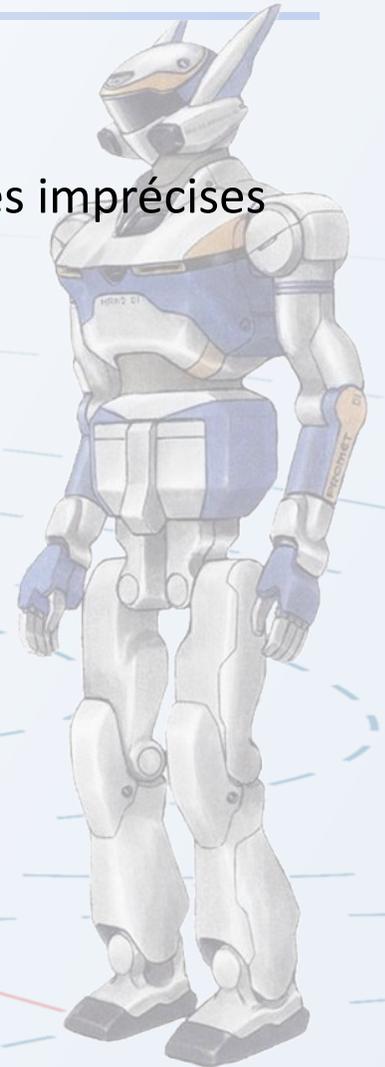
# Précision et contrôle



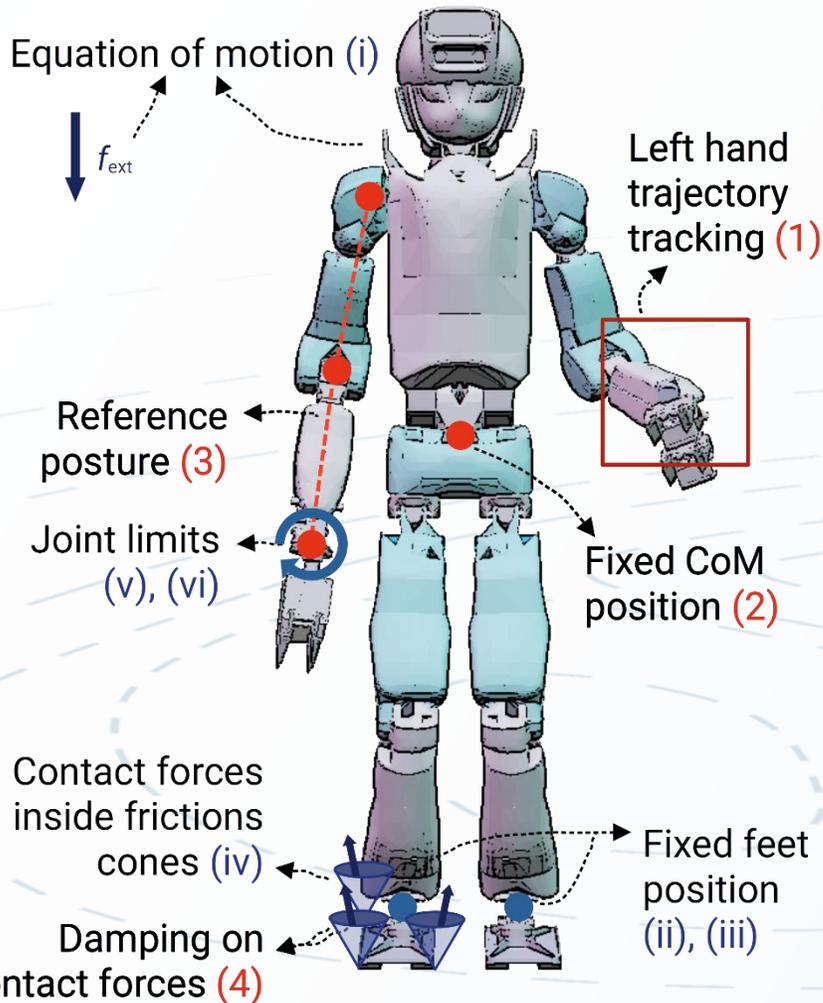
- A quel point y a-t-il besoin de calculs précis ?

# Le projet ANR Inexact

- Hypothèses de travail
  - (H1) Il est possible d'obtenir les mêmes performances avec des solutions numériques imprécises
  - (H2) Ces solutions imprécises peuvent s'obtenir à un coût calculatoire moindre
- Objectifs
  - (O1) Développement de benchmarks variés pour évaluer des contrôleurs
  - (O2) Analyse d'impact de la précision numérique d'une solution ou d'un modèle
  - (O3) Développement de solveurs numériques efficaces dédiés au contrôle inexact
- Moins de calculs
  - Moins de dépenses énergétiques
  - Possibilité d'utiliser un hardware moins puissant



# Contrôle corps complet



min. tâches (1)-(4)  
 $\ddot{q}, f, \tau$

s.t. faisabilité physique (i)

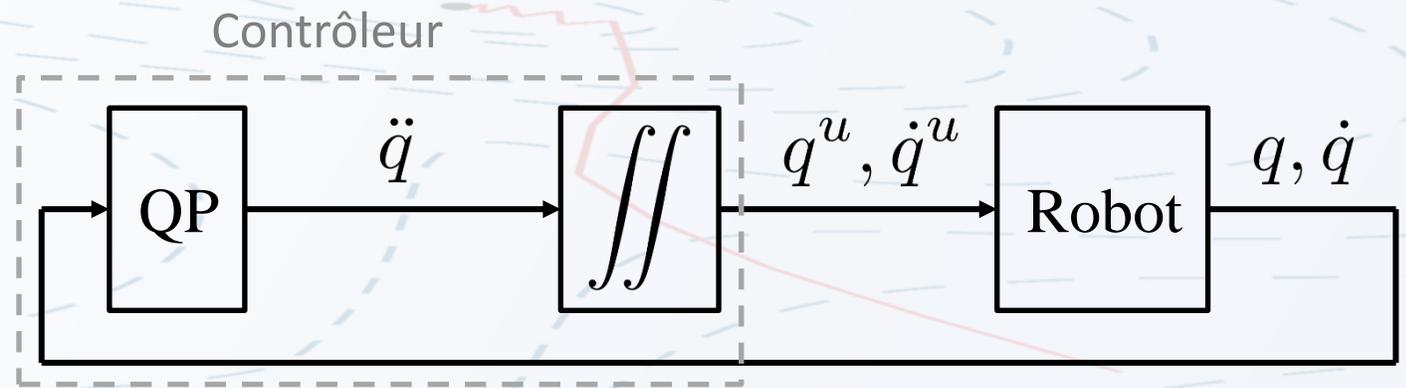
contacts fixes (ii)-(iv)

limites du robot (v), (vi)

$$\min_x \frac{1}{2} x^T P x + q^T x$$

$$\text{s.t. } l \leq Cx \leq u$$

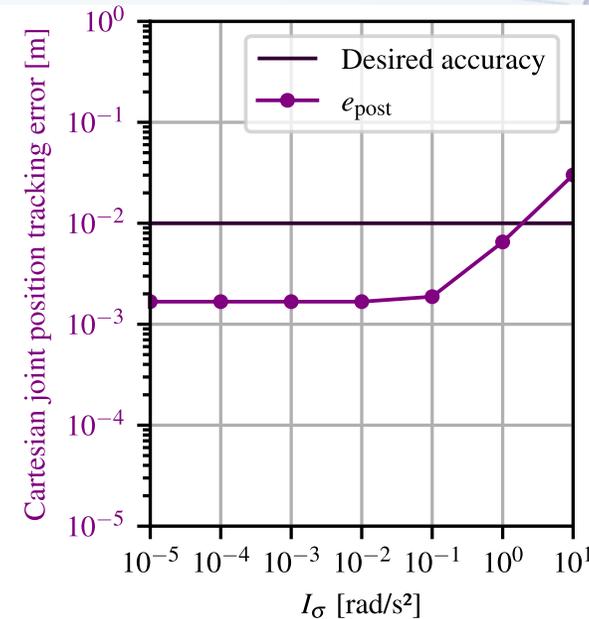
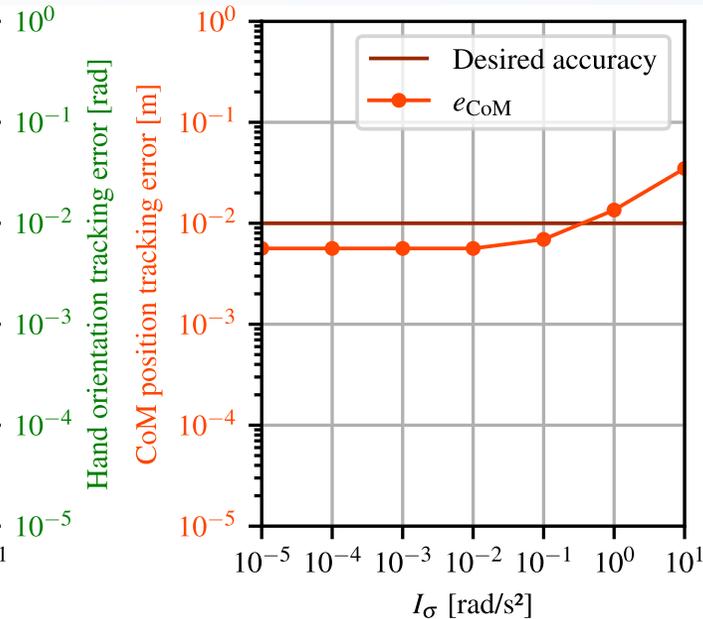
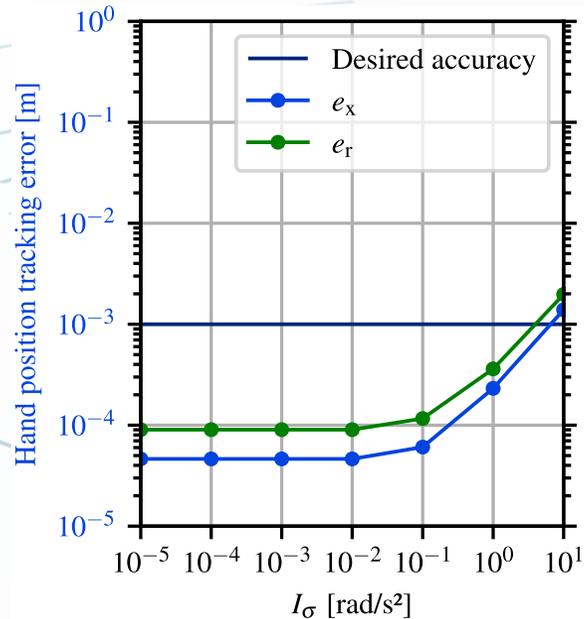
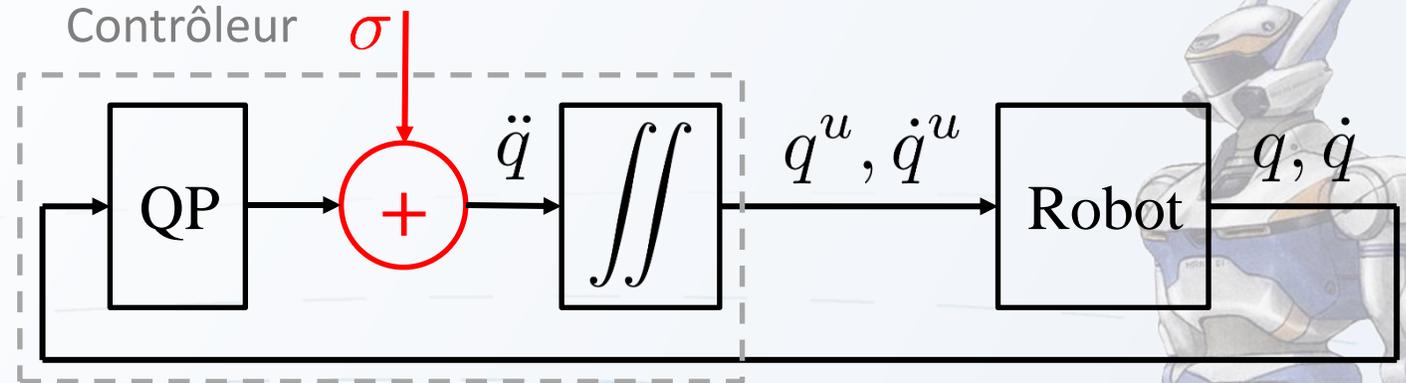
Programme Quadratique (QP)



Boucle à  $f = 200$  Hz

# Perturbation de la sortie

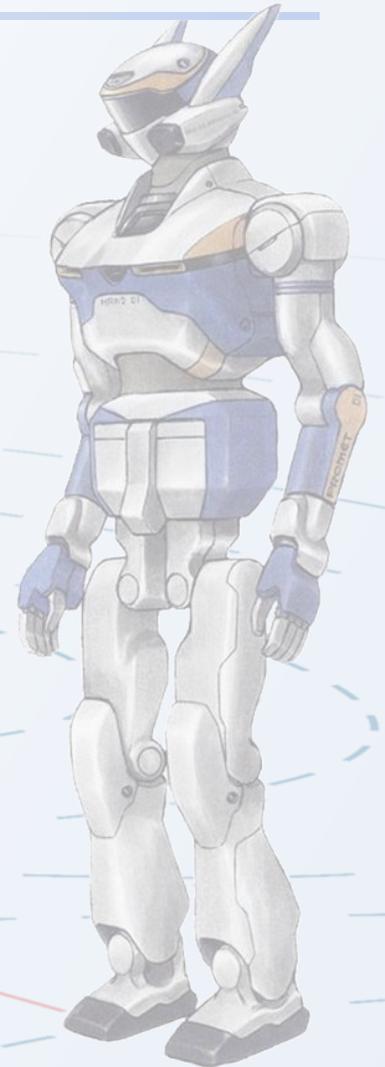
- Ajout d'un bruit uniforme  $\sigma$
- Variation d'amplitude  $I_\sigma$
- Précision suffisante même avec un bruit élevé



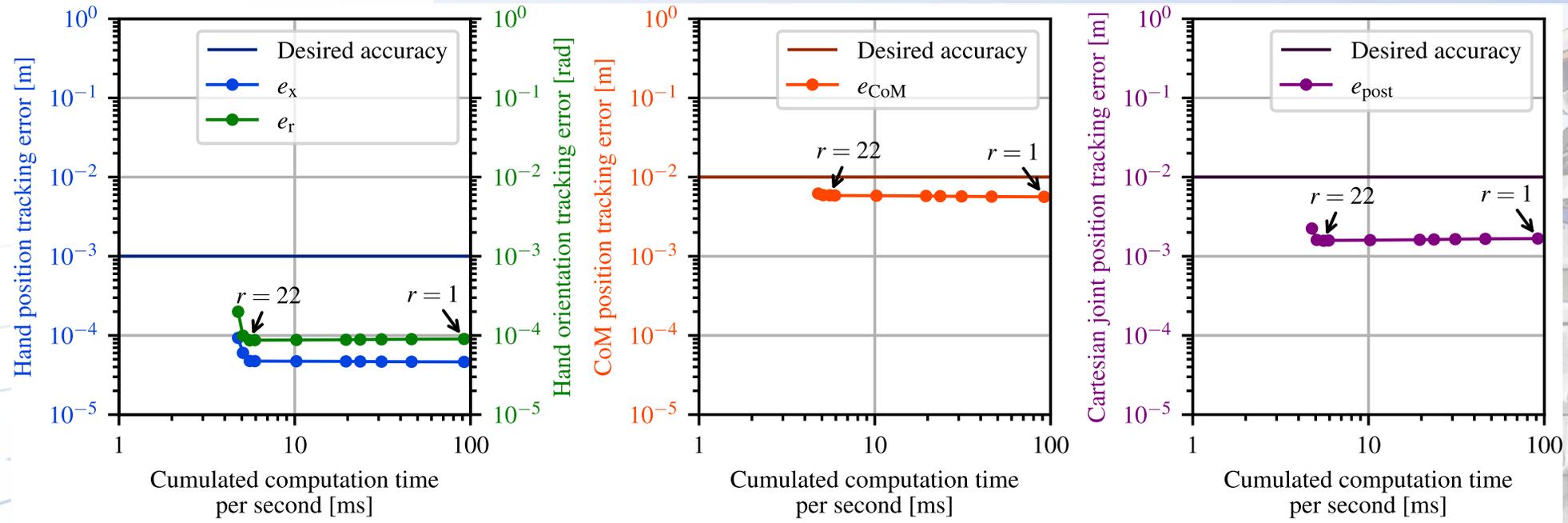
# Fréquence de mise à jour

$$\begin{aligned} \min_x \quad & \frac{1}{2} x^T P x + q^T x \\ \text{s.t.} \quad & l \leq C x \leq u \end{aligned}$$

- Opérations coûteuses dans le solveur: opérations sur  $P$  et  $C$ 
  - Décompositions matricielles
  - Multiplications matricielles
- Idée:
  - Mettre à jour  $P$  et  $C$  moins souvent (fréquence  $f_u$ )
  - Solveur adapté pour éviter le recalcul des opérations sur  $P$  et  $C$

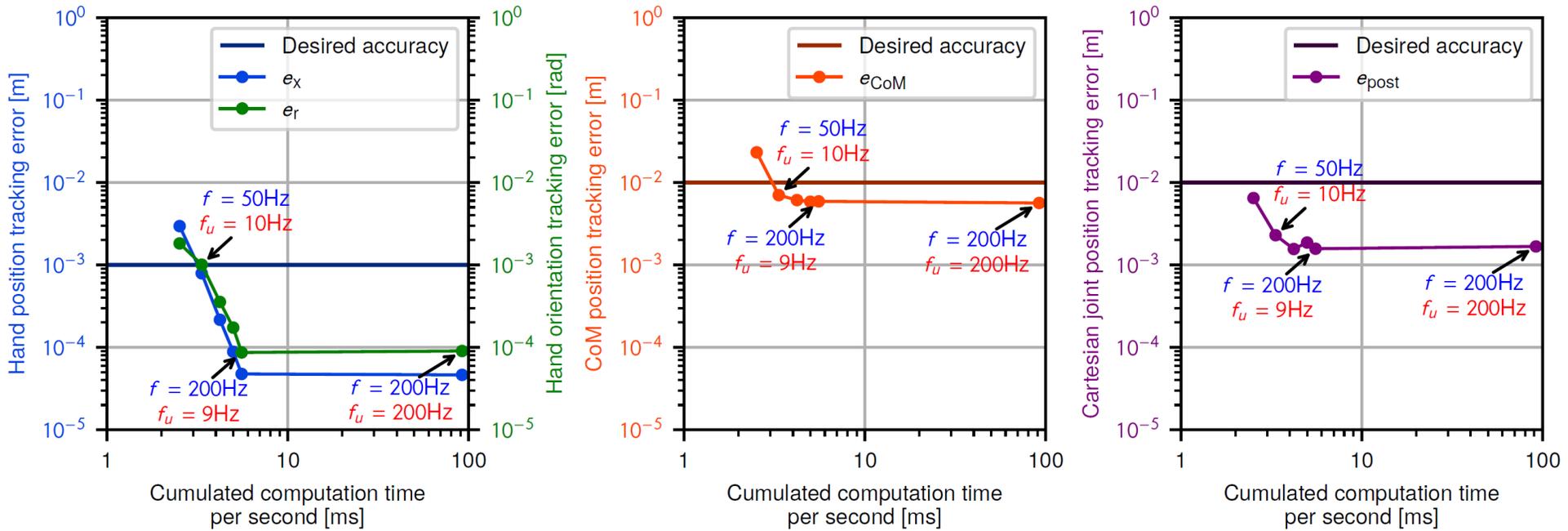


# Résultats (1)



- Diminution de  $f_u$  :
  - Pas de difference notable entre 200Hz et 9Hz (division par 22)
  - Division du temps de calcul par 15

# Résultats (2)

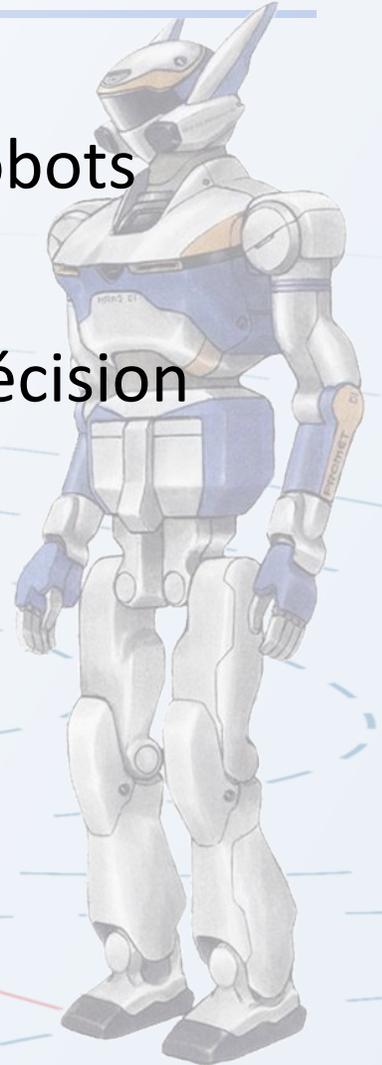


- Diminution combinée de  $f$  (contrôle) et  $f_u$  (matrices) :
  - Précision suffisante pour  $f=50\text{Hz}$  et  $f_u=10\text{Hz}$
  - Division du temps de calcul par 27

Article complet : S. Chefchaoui et al, Motion Accuracy and Computational Effort in QP-based Robot Control, Humanoids 2024

# Conclusion

- Besoin d'efficacité dans le contrôle pour baisser l'impact des robots
- Un axe d'amélioration est de tirer partie du faible besoin de précision pour diminuer les calculs nécessaires
- Étude sur un contrôleur basé QP
  - Qualité du contrôle maintenue
  - Forte diminution du temps de calcul
  - Exemple limité



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

