

Symposium pour l'électronique & le numérique durables

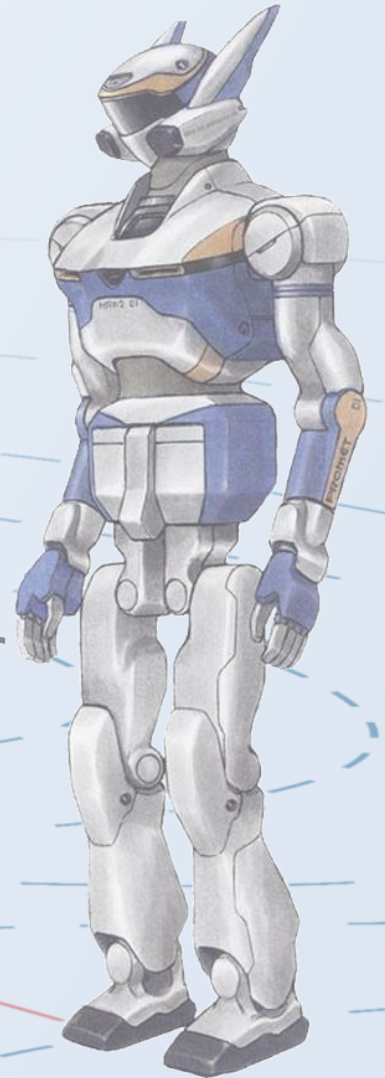
Le 12 décembre 2024, Grenoble

AVEC
tech&fest



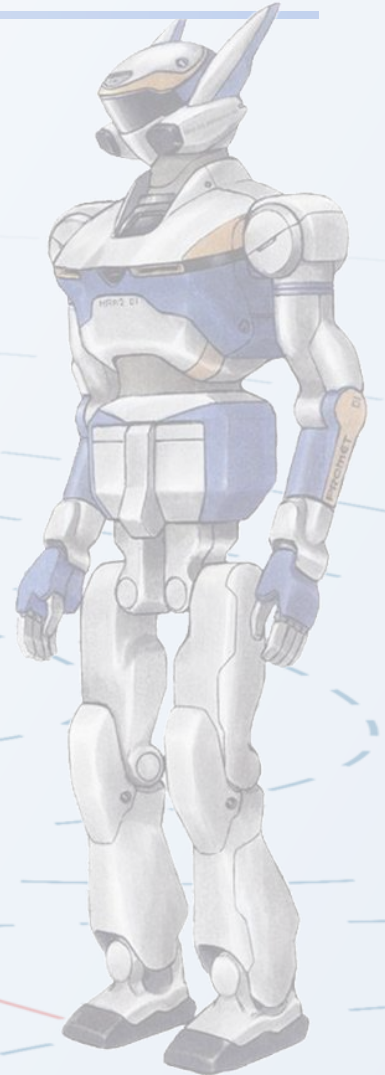
Contrôle frugal de robot

Adrien Escande, Sélim Chefchaoui, Pierre-Brice Wieber



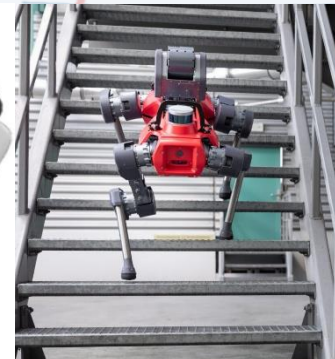
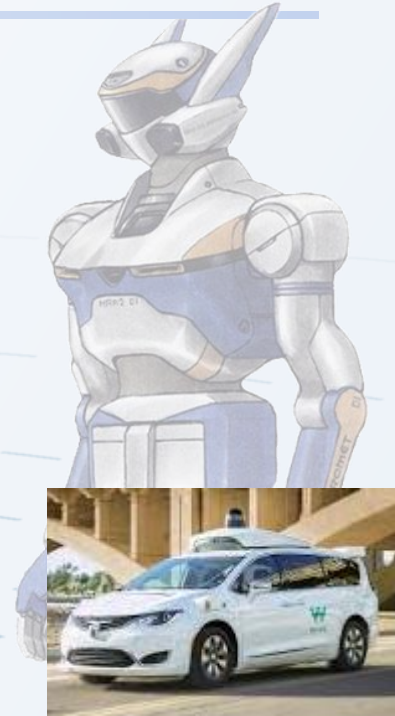
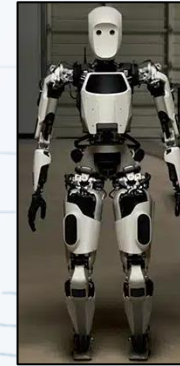
Plan

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

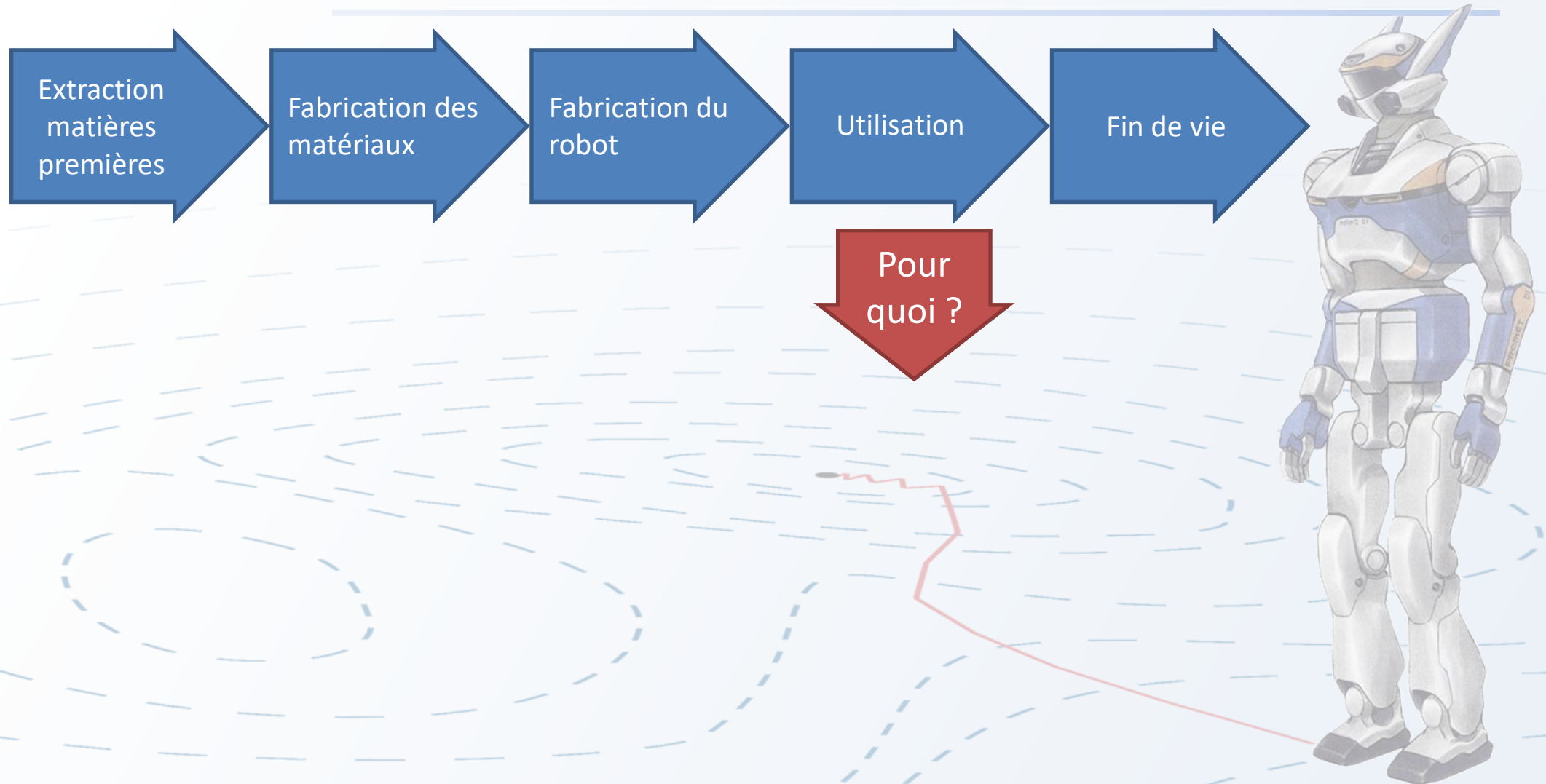


Plus de robots

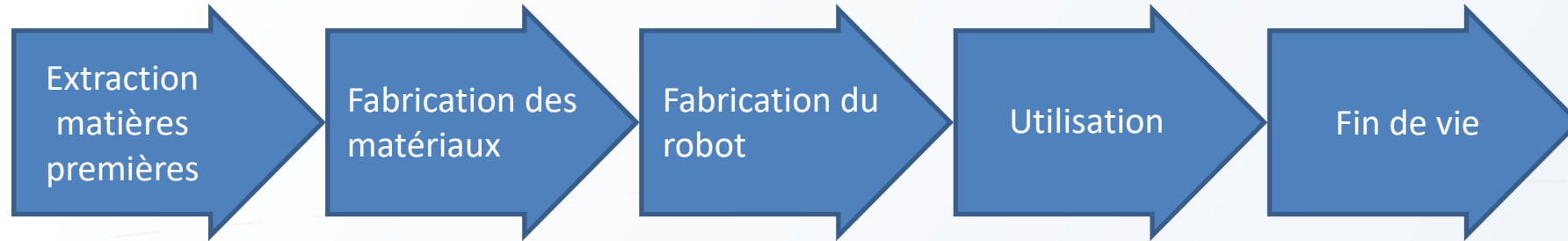
- Augmentation en nombre [*“How robots change the world”, Oxford Economics, June 2019*]
 - x 3 sur 2000 – 2020
 - x 9 prévu sur 2020 – 2030
- Objectifs récents (bulle humanoïde)
 - Wandercraft: 2 millions d’unités
 - Apptronik: 8 millions d’unités
 - Tesla: 8 or 20 milliards d’unités
- Ignore les limites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



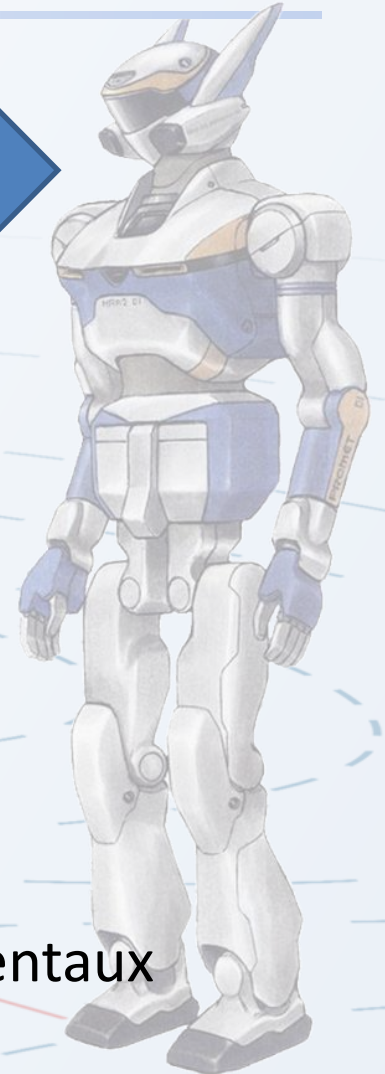
Impacts indirects



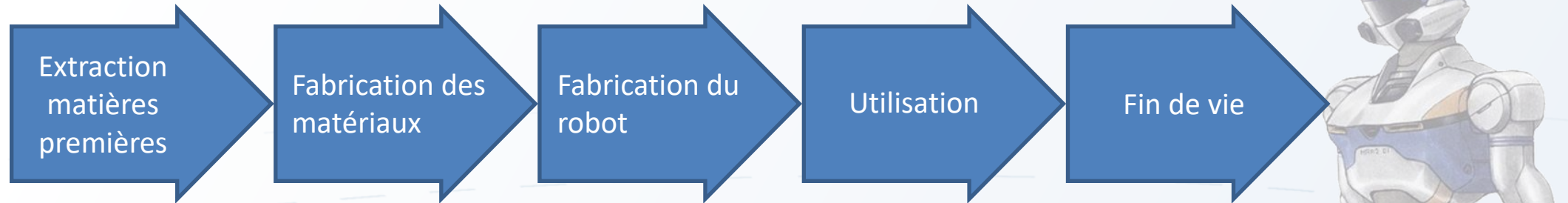
Impacts indirects



- 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

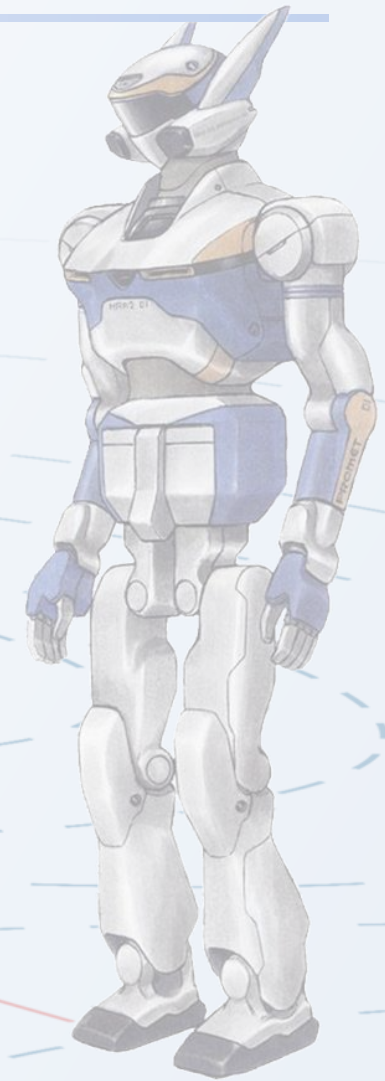
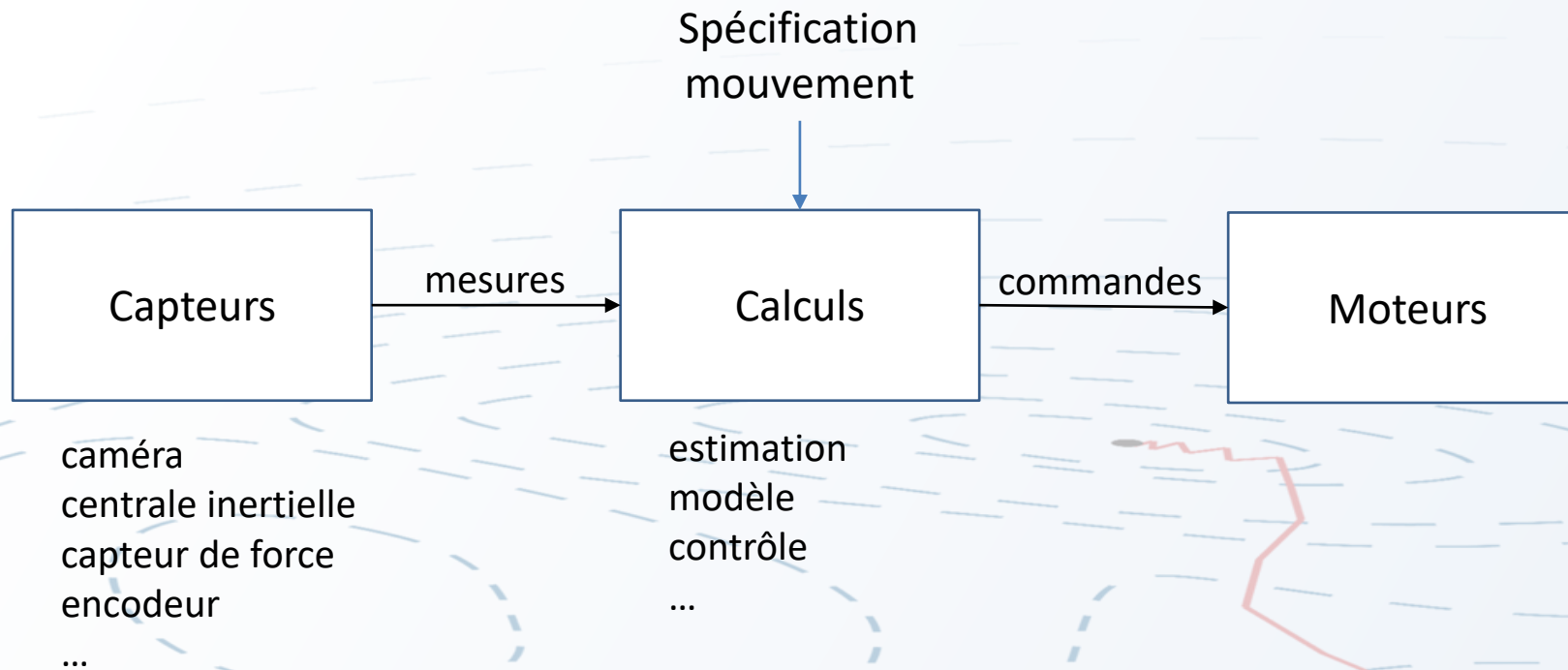


Impacts directs

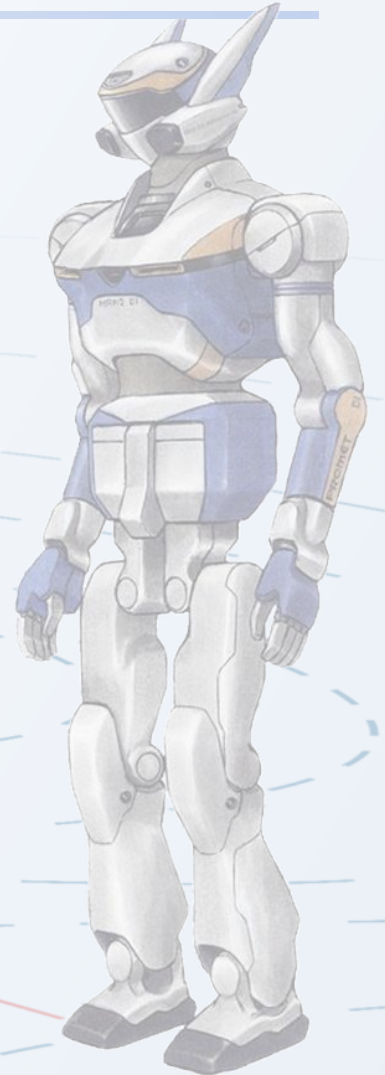
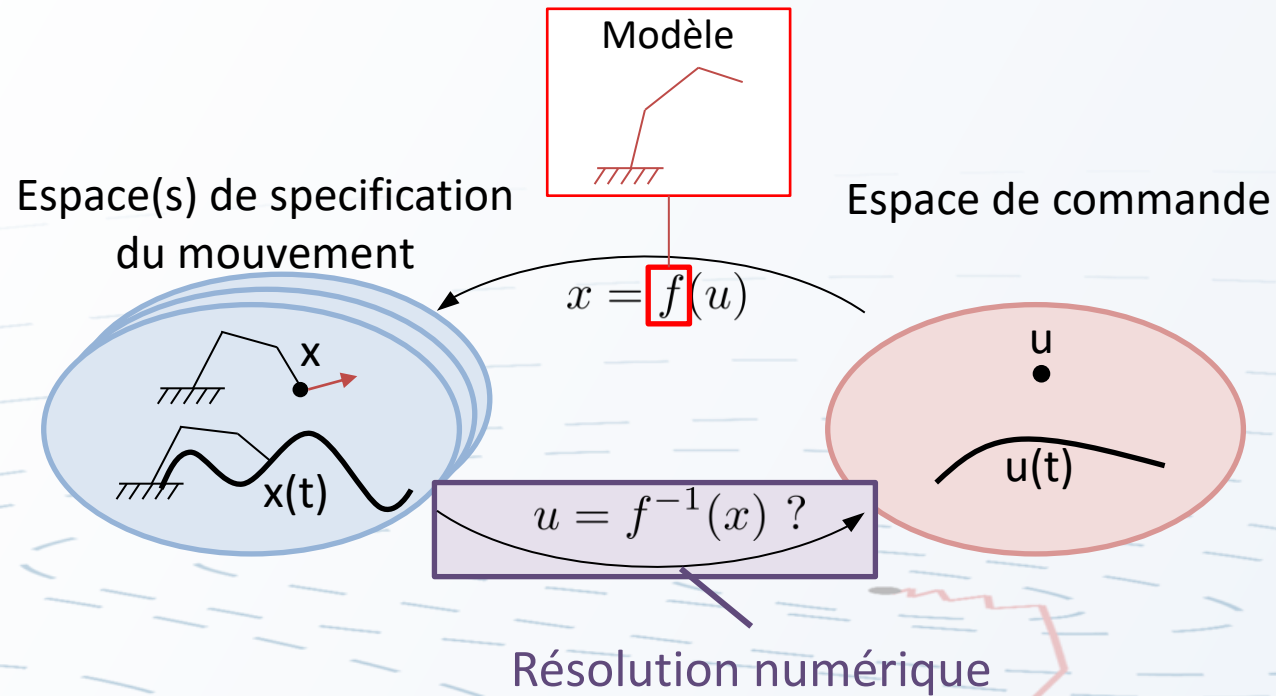


- ACV
 - Quasiment aucune étude, peu de données
 - Inclut l'électronique
- Utilisation
 - Réparation
 - Énergie consommée
 - Peu de chiffres, mais % non négligeable pour le contrôle

Schéma de contrôle

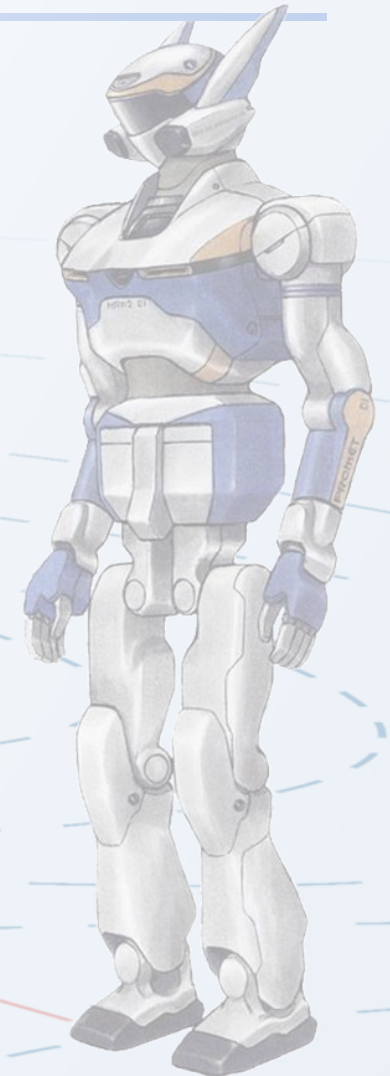
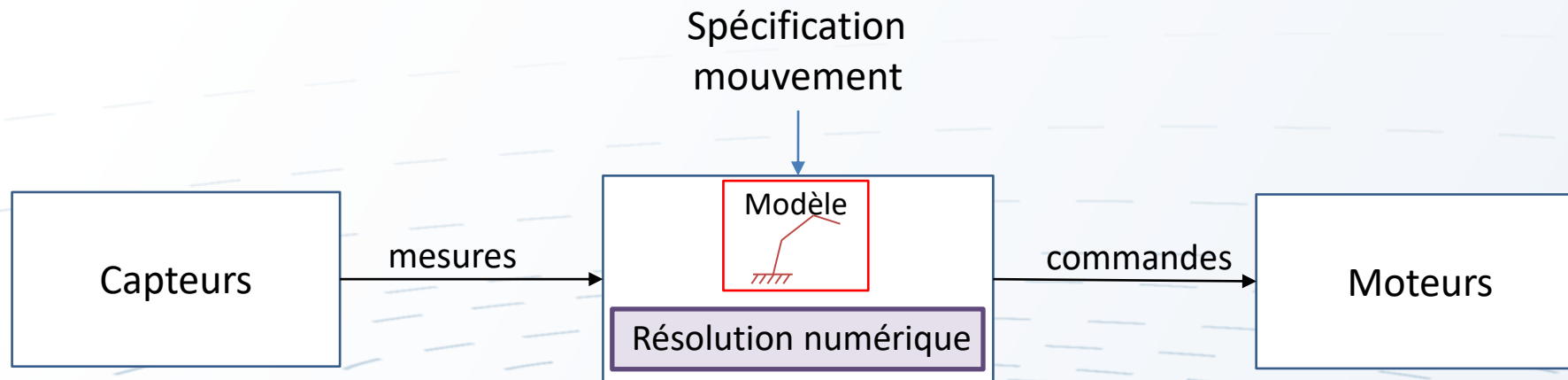


Contrôle par optimisation basée modèle

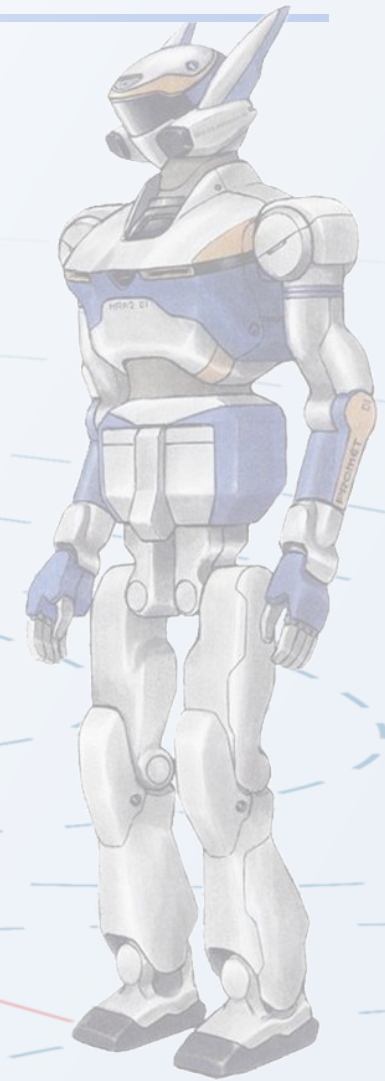
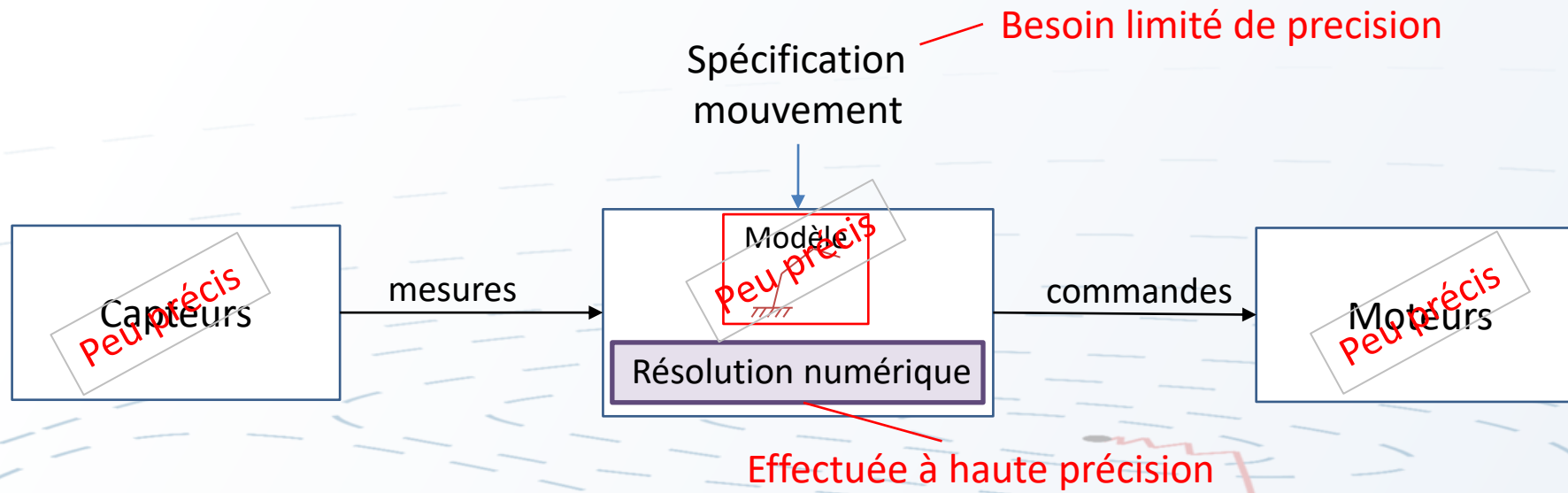


- Difficile de raisonner dans l'espace de commande
- Spécification du mouvement dans des espaces plus intuitifs
- Résolution numérique: optimisation, apprentissage
 - Fréquence typique: 10-1000 Hz

Précision et contrôle



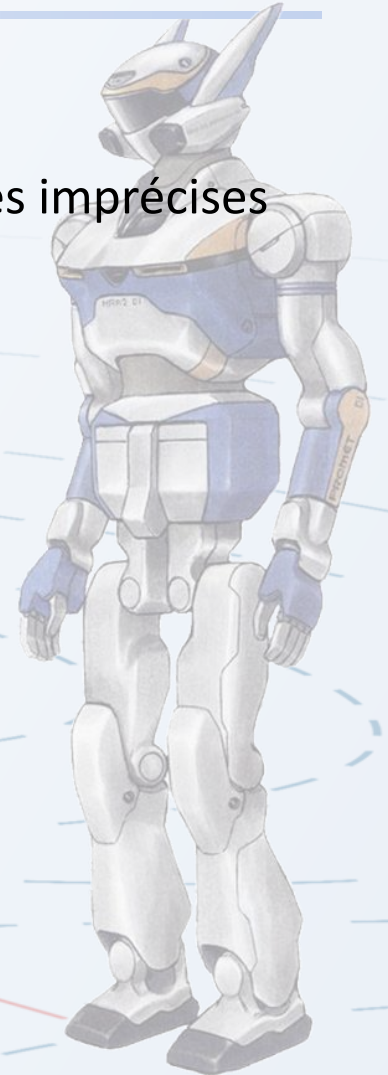
Précision et contrôle



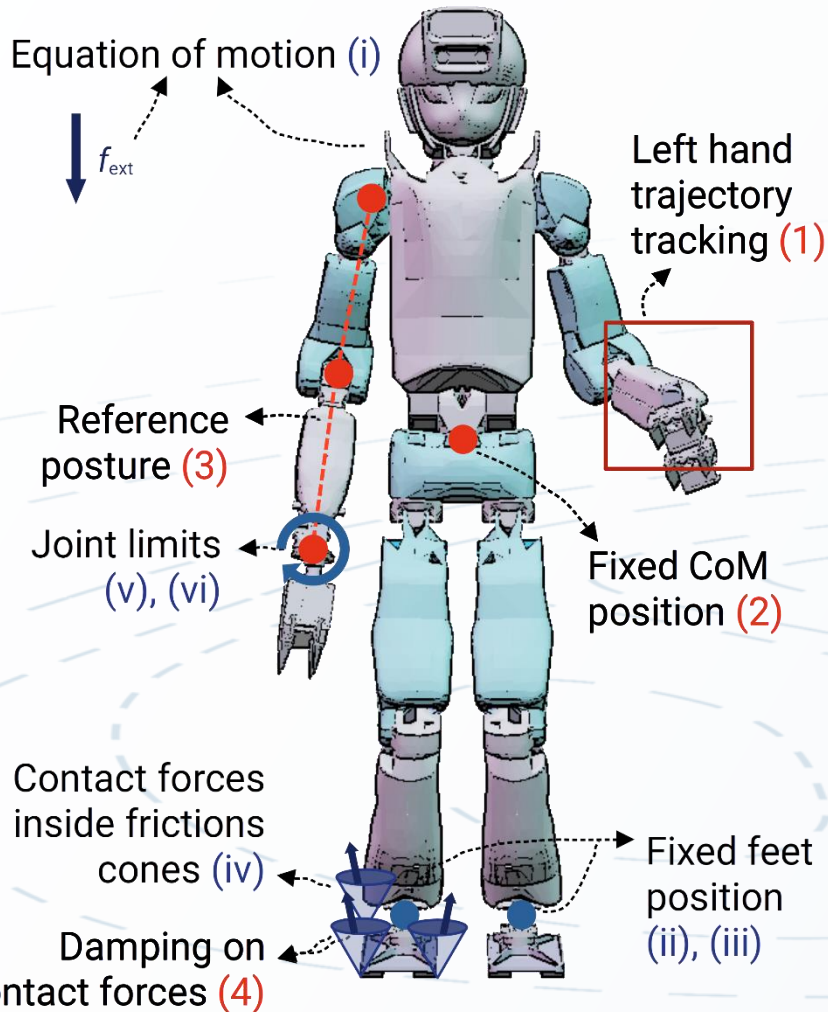
- A quel point y a-t-il besoin de calculs précis ?

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, τ

s.t. faisabilité physique (i)

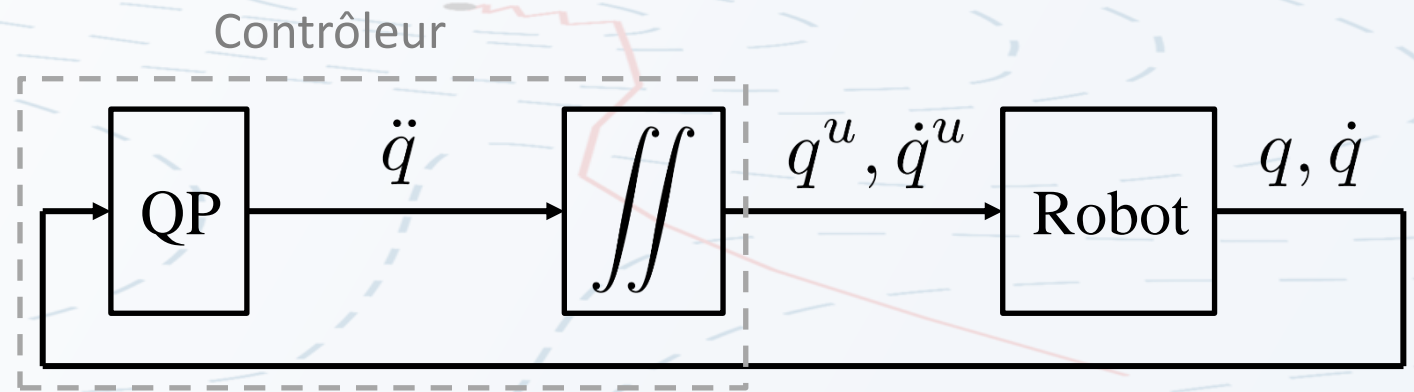
contacts fixes (ii)-(iv)

limites du robot (v), (vi)

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

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

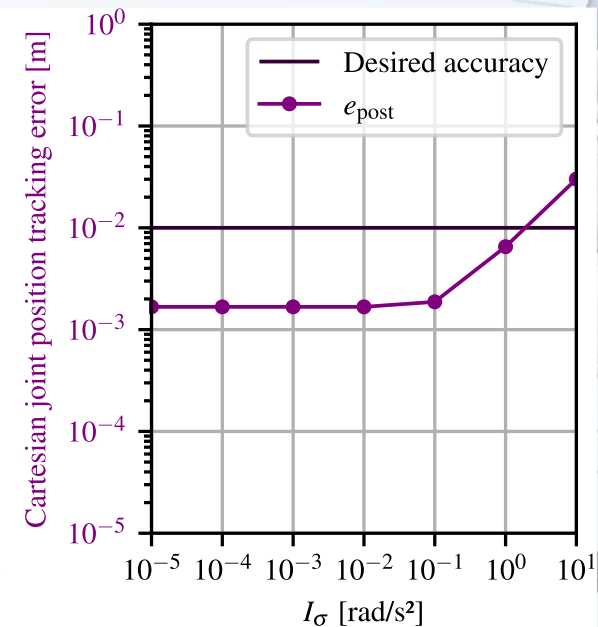
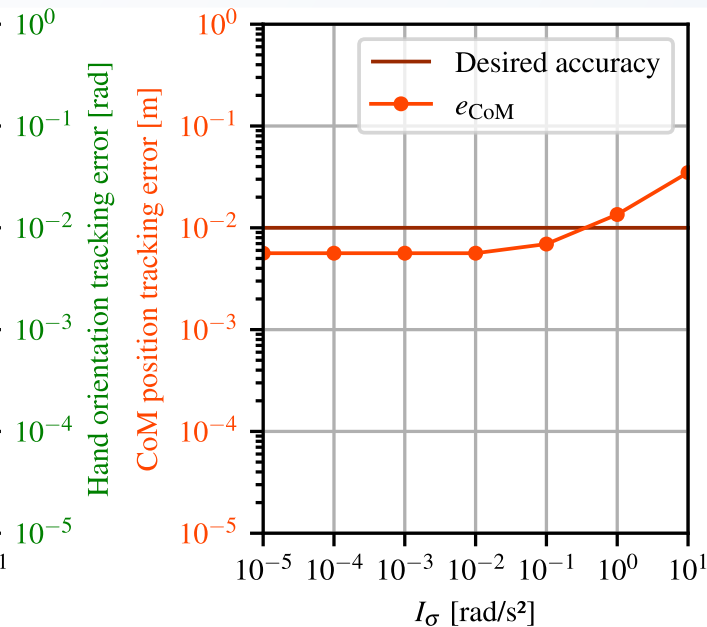
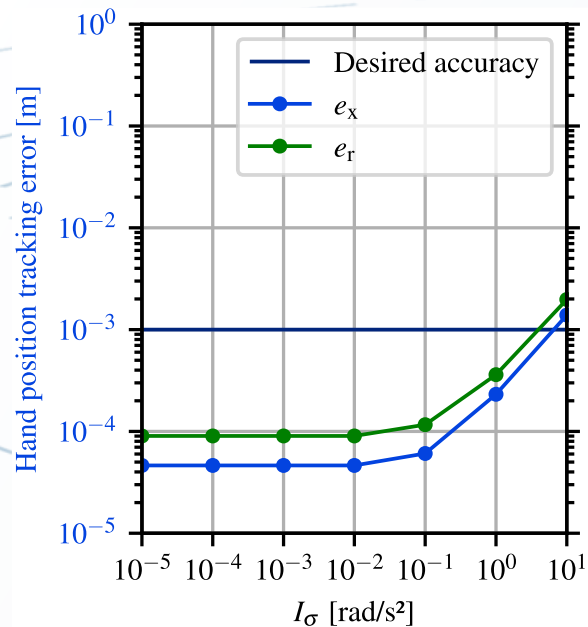
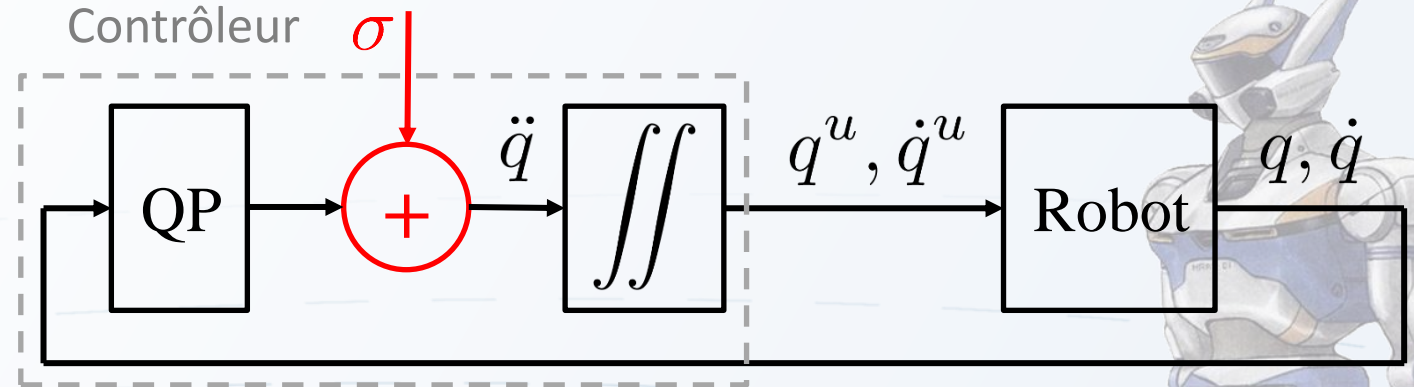
Programme Quadratique (QP)



Boucle à $f = 200$ Hz

Perturbation de la sortie

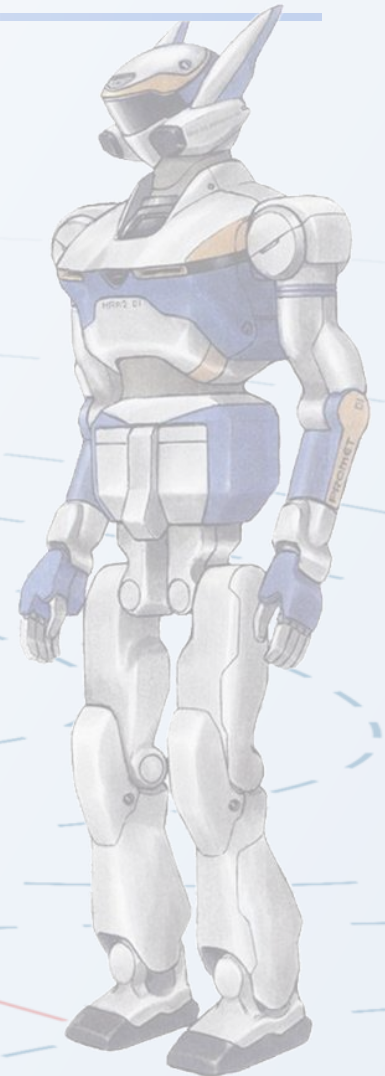
- Ajout d'un bruit uniforme σ
- Variation d'amplitude I_σ
- Précision suffisante même avec un bruit élevé



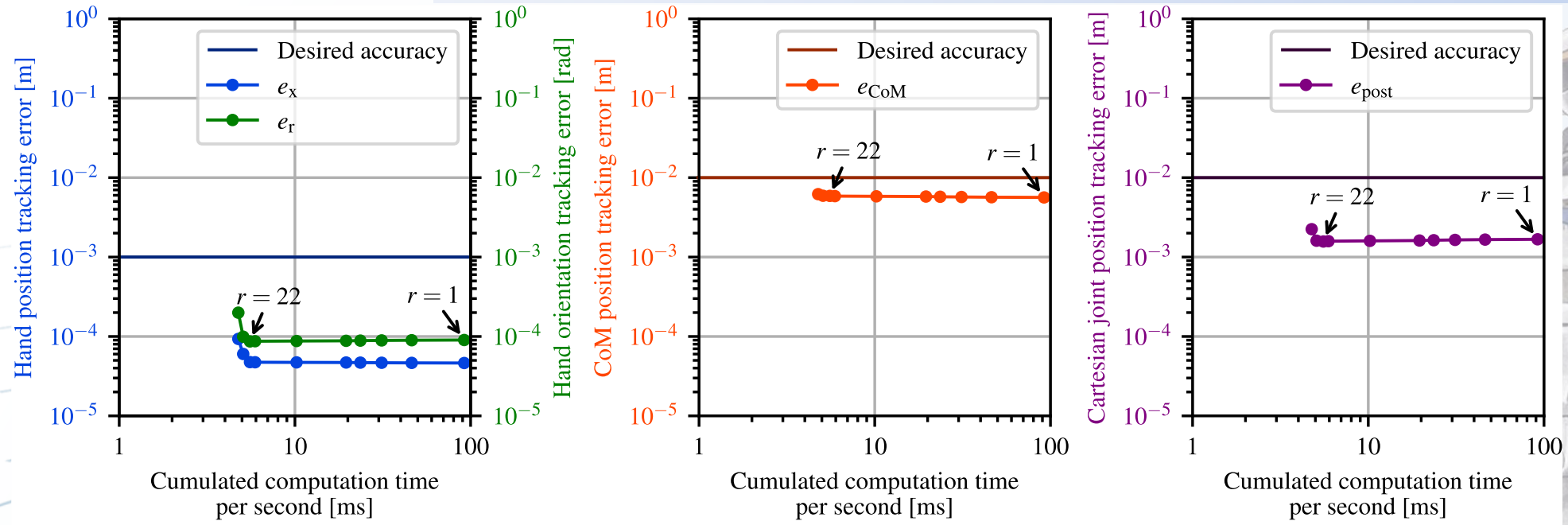
Fréquence de mise à jour

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

- 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

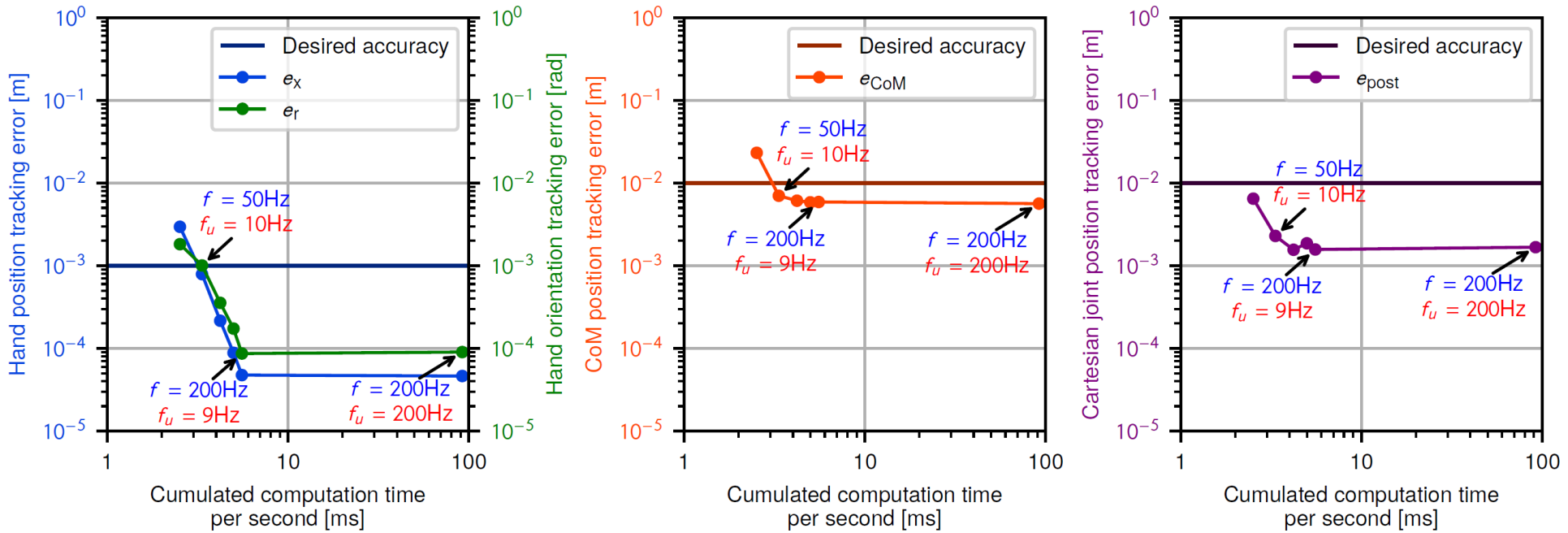


Résultats (1)



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

Résultats (2)

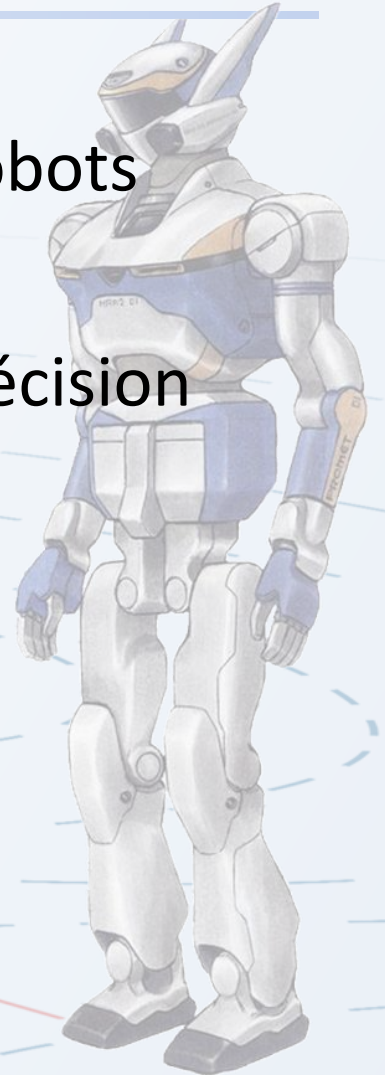


- Diminution combinée de f (contrôle) et f_u (matrices) :
 - Précision suffisante pour $f=50\text{Hz}$ et $f_u=10\text{Hz}$
 - Division du temps de calcul par 27

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

