

# Synthèse de comportements dynamiques - Application au robot iCub

Joseph Salini, Sébastien Barthélemy, Xu Han, Philippe Bidaud

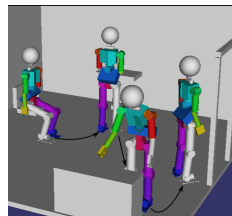
ISIR, 4 place jussieu, 75005 Paris France

June 9, 2010

# Contexte & Objectifs

## Contexte

- ① Un robot humanoïde: iCub
- ② Haute redondance cinématique
- ③ Un ensemble de tâches variées
- ④ Évolution non déterministe



## Objectif

Création d'un outil pour la commande  
Scénarii complexes, interaction, apprentissage...

- ① Synthétiser les différentes tâches dynamiques
- ② Enchaîner les tâches de manière continue

# Contrôleur Générique Fondé LQP

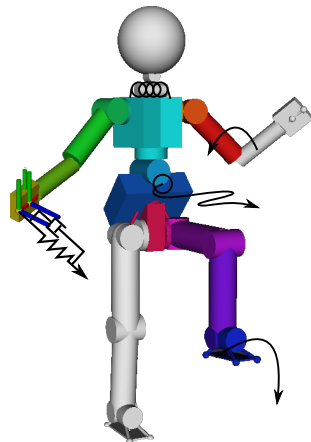
## Problématique

- 1 Contraintes physiques
- 2 Contacts et boucles cinématiques
- 3 Butées articulaires
- 4 Enchaînement et adaptation

## Réalisation de tâches dynamiques

Compromis entre les tâches  
Fonctionnelle:

$$F_{opti}(\mathbf{x}) = \sum (w_T \Delta_T(\mathbf{x}))^2$$

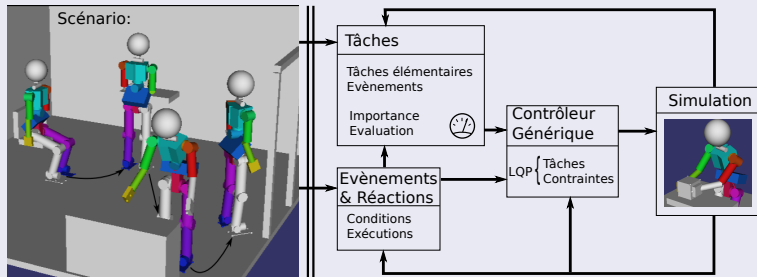


# Schéma de Contrôle

## Contrôle utilisant un LQP

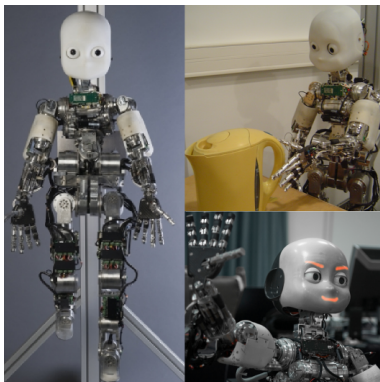
Colette [1], Kanoun [2], Abe [3]

- 1 Hiérarchie
- 2 Pondération



## Moyens

- 1 Simulation avec Arboris
- 2 Résolution avec CVXMOD



# Contrôleur Fondé LQP

## LQP générique

résoudre:  $x^* = \operatorname{argmin}_{(x)} (F_{opti}(x))$

sous contraintes: 
$$\begin{cases} Ax = b \\ Cx \leq d \end{cases}$$

## Lien avec notre formulation

$F_{opti}$  représente les tâches à effectuer

$A, b, C, d$  représentent les contraintes du système

$x$  est l'inconnue du problème

# Contraintes Physiques 1

## Modélisation du robot

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q})\dot{q} = G(q) + S\tau + J_c(q)^t f_c \quad (1)$$

$$\tau_{min} \leq \tau \leq \tau_{max} \quad (2)$$

$$q_{min} \leq q + \dot{q}h + \ddot{q}h^2/2 \leq q_{max} \quad (3)$$

$$\dot{q}_{min} \leq \dot{q} + \ddot{q}h \leq \dot{q}_{max} \quad (4)$$

$$\ddot{q}_{min} \leq \ddot{q} \leq \ddot{q}_{max} \quad (5)$$

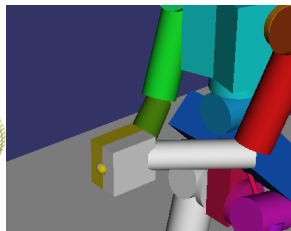
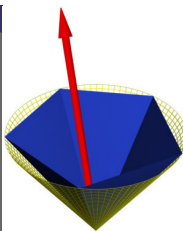
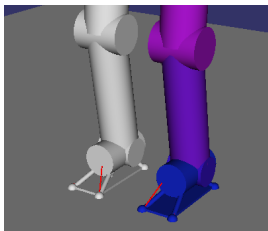
# Contraintes Physiques 2

## Modélisation des contacts

$$\text{contact: } \dot{x}_{ci} = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} J_{ci}(q)\ddot{q} + \dot{J}_{ci}(q, \dot{q})\dot{q} = 0 \\ C f_{ci} \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{décollement: } \dot{x}_{ci} \cdot n > 0 \quad \Rightarrow \quad (J_{ci}(q)\ddot{q} + \dot{J}_{ci}(q, \dot{q})\dot{q}) \cdot n > 0 \quad (7)$$

$$\text{fermeture cinématique: } \Rightarrow (J_1 - J_2)\ddot{q} + (\dot{J}_1 - \dot{J}_2)\dot{q} = 0 \quad (8)$$





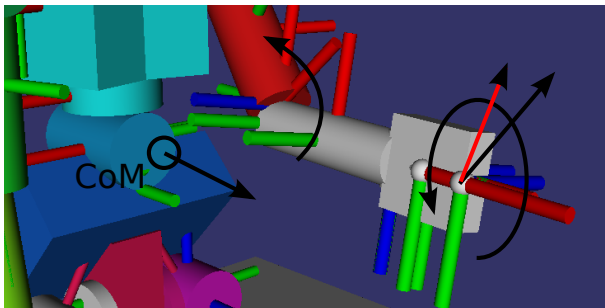
# Exemples de Tâches Élémentaires

## Définition d'une tâche

Soit une tâche  $T \Rightarrow J_T, \dot{J}_T, \dot{V}^{des}$

On définit  $\Delta_T(\ddot{q}) = J_T \ddot{q} + \dot{J}_T \dot{q} - \dot{V}^{des}$

Le but: minimiser  $(\Delta_T(\ddot{q}))^2$



# Contrôleurs de Tâches

## Contrôleur proportionnel dérivé

$$\dot{V}^{des} = K_p(P^{des} - P) + K_d(V^{des} - V)$$

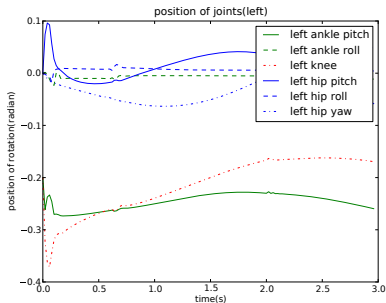
## Contrôleur prédictif

$$\begin{aligned}x_{k+1} &= Ax_k + Bu_k \\X_{[k \rightarrow k+N+1]} &= Pax_k + PbU_{[k \rightarrow k+N]} \\U^* &= \min((X - X^{ref})^2 + R(U)^2) \\\dot{V}^{des} &= f(U_{[k]}^*)\end{aligned}$$

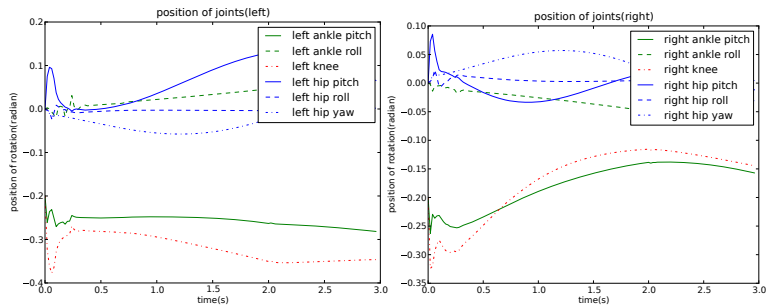
## Contrôleur en impédance



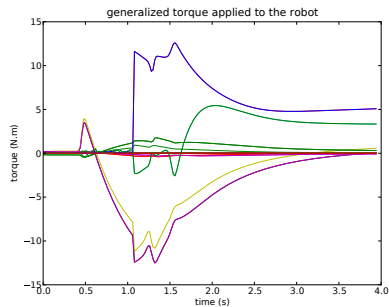
# Réagir à une Perturbation 1



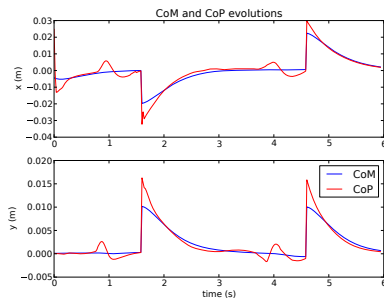
# Réagir à une Perturbation 2



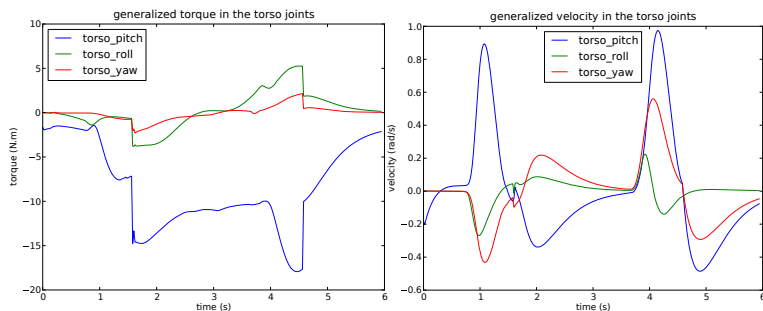
# Se Lever



# Déplacer une Boîte 1



# Déplacer une Boîte 2





# Marcher & Enchaînement

# Conclusion

## Conclusion

- ① Contrôleur générique
- ② Multi-tâches dynamiques sous contraintes
- ③ Enchaînement

## Perspectives

- ① Écriture haut niveau du scénario
- ② Application sur le robot iCub

# Bibliographie I

- [1] C. Colette. Commande dynamique d'humains virtuels : équilibre robuste et gestion de tâches. PhD thesis, Université Paris 6, 2009.
- [2] O. Kanoun. Prioritizing linear equality and inequality systems: application to local motion planning for redundant robots. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2009), Kobe (Japon), May 2009.
- [3] J. Popovic Y. Abe, M. da Silva. Multiobjective control with frictional contacts. In Eurographics/ACM siggraph, 2007.
- [4] J. Salini, S. Barthélemy, P. Bidaud. LQP controller design for generic whole body motion. Climbing and Walking Robot. Istanbul, Turquie, 2009.
- [5] J. Salini, S. Barthélemy, P. Bidaud. LQP-based controller design for humanoid whole-body motion. Advances in Robot Kinematics. Piran-Portorož, Slovenia, 2010.
- [6] P.-B. Wieber. Modélisation et Commande d'un Robot Marcheur Anthropomorphe. PhD thesis, École des Mines de Paris, 2000.
- [7] L. Sentis. Synthesis and Control of Whole-Body Behaviors in Humanoid Systems. PhD thesis, Stanford University, 2007.
- [8] J. Park. Control Strategies for Robots in Contact. PhD thesis, Stanford University, 2006.
- [9] S. Barthélemy and P. Bidaud. Stability measure of postural dynamic equilibrium based on residual radius. In 11th International Symposium of Advances in Robot Kinematics (ARK'08), 2008.
- [10] Kajita - Biped Walking Pattern Generation by using Preview Control of Zero-Moment Point. IEEE International Conference on Robotics & Automation Taipei, Taiwan, September 14-19, 2003.