



# Détection de fortes collisions pour robots humanoïdes : application au robot NAO

Vincent Hugel

Département GMP, IUT de Toulon,  
Laboratoire COSMER EA 7398 - since 2015

6 juin 2019



# Contexte

## Maintien de l'équilibre d'un robot humanoïde

- en position statique
- en dynamique, au cours de la marche

## Perturbations possibles

- dues à l'interaction avec le sol : lisse, meuble, irrégulier, etc.
- collisions avec l'environnement
  - obstacle imprévu non détecté :  
trébuchement, impact avec la partie supérieure du corps
  - exemple particulier de la robocup: attaquant contre attaquant



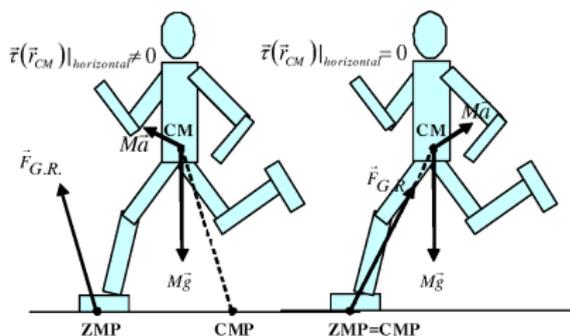
Extrait Finale German Open  
2018, Nao-Team HTWK vs.  
Nao Devils

# Réactions possibles suite à perturbation

- mouvement de la partie supérieure du corps
  - hanches, bras, colonne vertébrale
- mouvement de l'ensemble du corps, pieds au sol
  - haut du corps + chevilles
- changement d'appui au sol : pas réflexe
  - choix du pied
  - vers l'avant, vers l'arrière, latéral
  - mouvement très rapide avec impact au sol à amortir
- stratégie de chute : limiter les dommages
  - changement de direction
  - postures de recroquevillement
  - asservissement souple

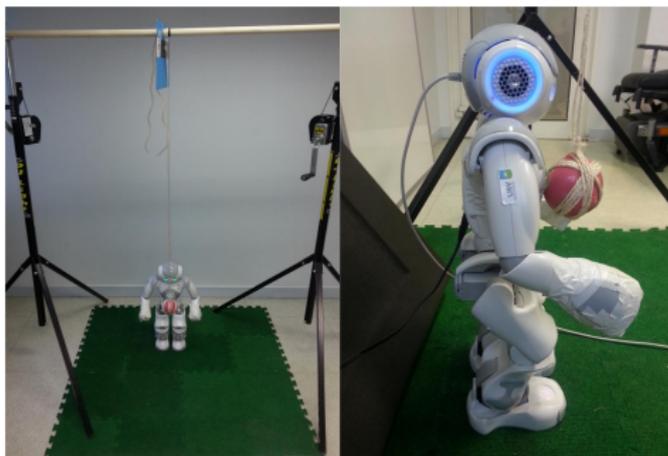
# Contrôle de l'équilibre

- ZMP : Zero Moment Point  
confondu avec le centre de pression : origine de la force de réaction au sol, lorsqu'il se trouve dans la zone de sustentation
- CMP : Centroidal Moment Pivot  
point au sol à l'intersection de la droite de direction celle de la force de réaction du sol, passant par le CM
- Critère de stabilité : CMP situé dans la surface de sustentation définie par les zones de contact des pieds au sol (éviter le basculement du pied).



Extrait [Popovic 2005]

# Dispositif expérimental



Expérimentation de collision à l'aide d'une balle de fitness ( $0.45 \text{ kg}$ ) suspendue lâchée d'un angle déterminé, hauteur d'attache :  $1.59 \text{ m}$ . Masse du robot NAO :  $5.3 \text{ kg}$ .

Coefficient de transmission du choc :  $0.9$ .

Angle de lâché (deg)	Energie potentielle (J)	Energie transmise (J)	Différence de hauteur (m)
23	0.56	0.50	0.126
33	1.13	1.02	0.257
40	1.64	1.48	0.372
47	2.23	2.01	0.506

# Détection des collisions

- 1 Comparaison du CMP avec le centre de pression (ZMP)
  - ZMP calculé à partir des 4 capteurs résistifs sous chaque pied
  - CMP calculé à partir de la position du CM et de la direction de l'accélération (accéléromètre 3 axes dans le torse)
  - position à l'équilibre statique (position debout), ZMP = CMP→ résultats satisfaisants mais présence de faux positifs.
- 2 Estimation de l'énergie cinétique
  - collision → échange d'énergie
  - estimation de l'énergie cinétique de rotation transmise au robot lors de l'impact

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m h^2 \dot{\theta}^2$$

$m$  : masse du robot,

$h$  : hauteur du CM

$V$  : vitesse linéaire du CM (robot rigide),

$\dot{\theta}$  : vitesse angulaire dans le plan sagittal.

# Détection des collisions : estimation de la vitesse angulaire

- mesures du gyromètre bruitées au moment de l'impact  
→ utilisation des angles articulaires et du modèle cinématique direct (hypothèses : pieds au sol juste, articulations rigides juste après l'impact)
- utilisation du gyromètre après un laps de temps de qq ms après l'impact.
- filtrage des deux vitesses angulaires

$$\dot{\theta}_{filter}^2 = K\dot{\theta}_{gyro}^2 + (1 - K)\dot{\theta}_{dkm}^2$$

$\dot{\theta}_{gyro}$  : vitesse angulaire mesurée par le gyromètre

$\dot{\theta}_{dkm}$  : vitesse angulaire calculée par le modèle cinématique direct

$K$  coefficient du filtre, ajustable.

- détection de la collision sur dépassement de seuil de  $E_{cin}$  (1.2 J)  
estimation avec l'énergie potentielle de pesanteur de la balle de fitness lâchée à vitesse nulle de plusieurs hauteurs

# Résultats sur l'estimation de l'énergie cinétique

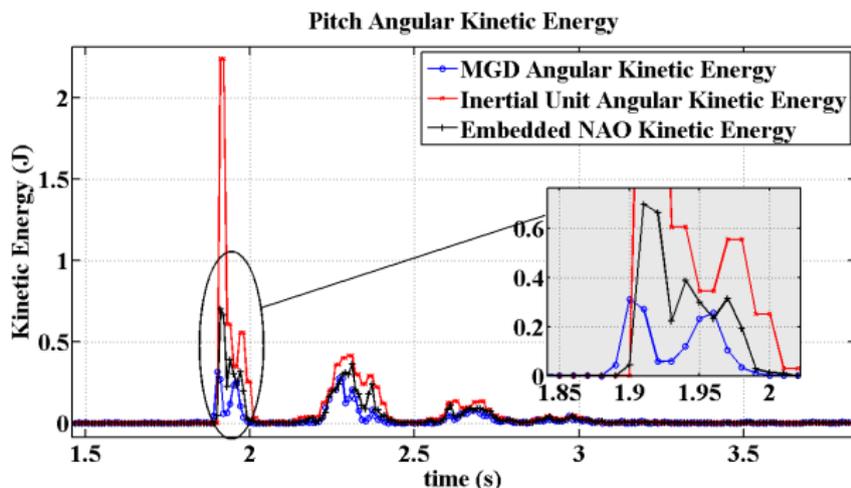


Figure : Energies cinétiques de rotation autour du pied

Angle de lâché ( <i>deg</i> )	détection ZMP/CMP ( <i>ms</i> )	détection $E_{cin}$ ( <i>ms</i> )
23	63	22
33	55	28
40	42	14
47	36	10

# Mouvement de réaction : hanches + chevilles

**Principe** : ré-injection de l'angle  $\delta\theta$  de basculement du torse lu par la centrale inertielle.

- 40% sur les hanches

$$\theta_{Hip} = -0.4.d\theta + \theta_{hip.init}$$

- 20% sur les chevilles

$$\theta_{Ankle} = -0.2.d\theta + \theta_{ankle.init}$$

**Objectifs** :

- 1 garder les pieds à plat au sol lors de l'impact
- 2 corriger ensuite la posture du torse



Figure : Décomposition du mouvement de réaction

# Mouvement de réaction : résultats

**Table :** Résultats expérimentaux avec et sans mouvement de réaction

Angle initial (°)	Sans mouvement				Avec mouvement			
	% chutes		Nb d'oscill. moy./10 essais		% chutes		Nb d'oscill. moy./10 essais	
	avt	arr	avt	arr	avt	arr	avt	arr
23	0%	0%	1.7	1.5	0%	0%	0.5	0.5
33	0%	0%	2.1	2.5	0%	0%	0.6	0.5
40	0%	0%	2.8	2.9	0%	0%	0.7	0.5
47	100%	0%	-	3.4	40%	0%	0.8	0.8

# Conclusions

- Temps de réaction : temps de détection + temps de déclenchement du mouvement
- Problème des jeux articulaires et de leur modélisation.
- Définition des mouvements réflexe, nouvel impact avec mouvement de pied

## Perspectives ?

- Pas réflexe
- Enveloppe sensorielle tactile
- Pieds flexibles, absorption des impacts lors des mouvements de pas réflexe

