

# Vers l'asservissement visuel de la marche



C. Dune, A. Herdt, O. Stasse, P-B. Wieber, E. Yoshida  
CNRS-AIST JRL, UMI 3218/CRT  
INRIA Rhone Alpes, Bipop



CNRS-AIST JRL, UMI3218/CRT



# Nécessité de la boucle visuelle

---

Next Best View  
Planning  
For Object Reconstruction

2010, May

T. Foissotte, O. Stasse, P.-B. Wieber, A. Kheddar  
CNRS-AIST JRL, UMI 3218/CRT

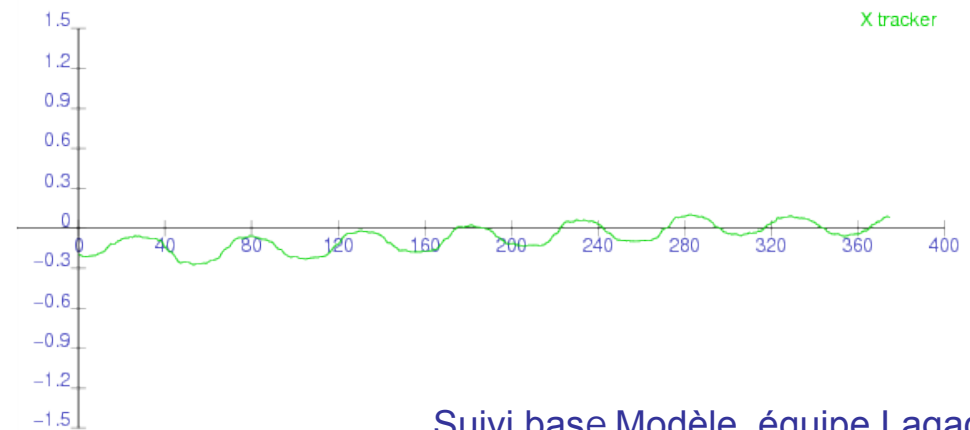
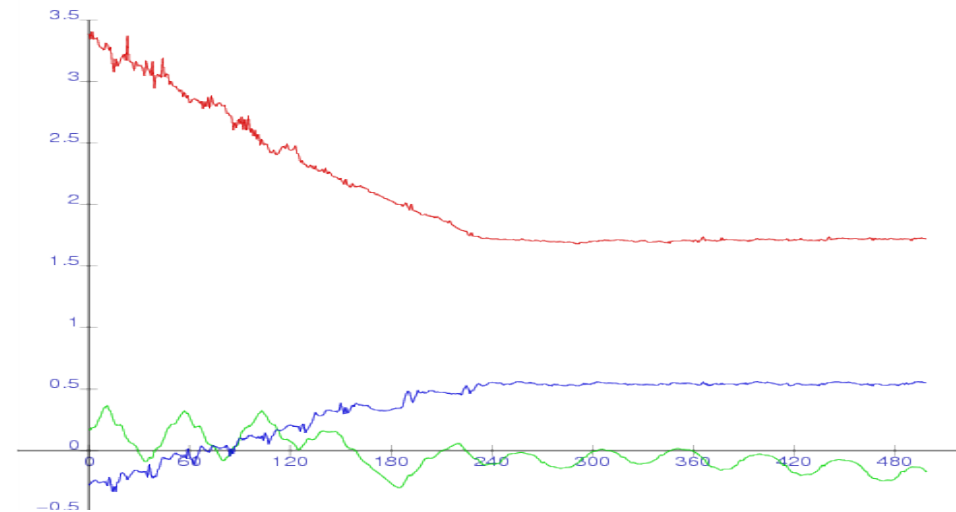
Courtesy T. Foissotte

## Marche réactive référencée vision

---

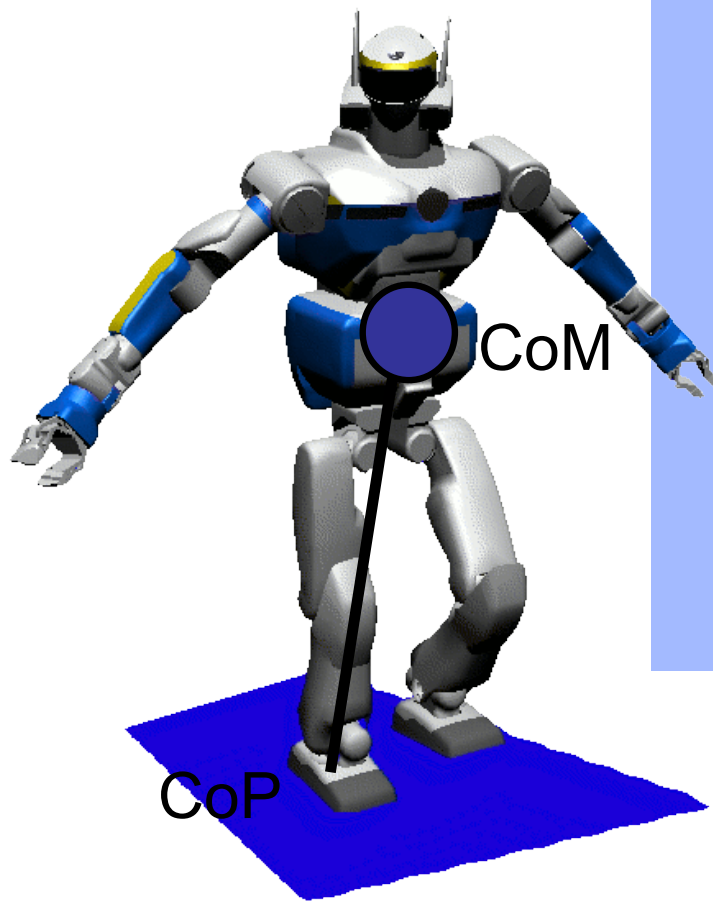
- Les outils visuels permettent de
  - se localiser
  - localiser un objet
  - localiser un obstacle
- Pour atteindre une position désirée
  - en compensant les perturbations (ex. glissements des pieds)
  - en étant robuste aux erreurs de modélisation
- Pour suivre un objet en mouvement sans délai
  - Notamment en marchant...

# Suivi d'un objet en cours de marche



Suivi base Modèle, équipe Lagadic

# Commande dynamique de la marche



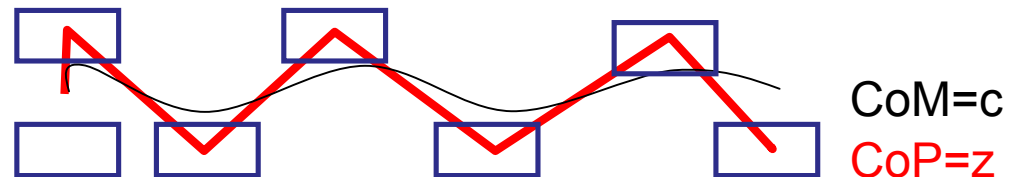
Jerk du CoM

Etat courant du CoM

$$\min_{\ddot{\mathbf{C}}} f(\ddot{\mathbf{C}}, \hat{\mathbf{c}})$$

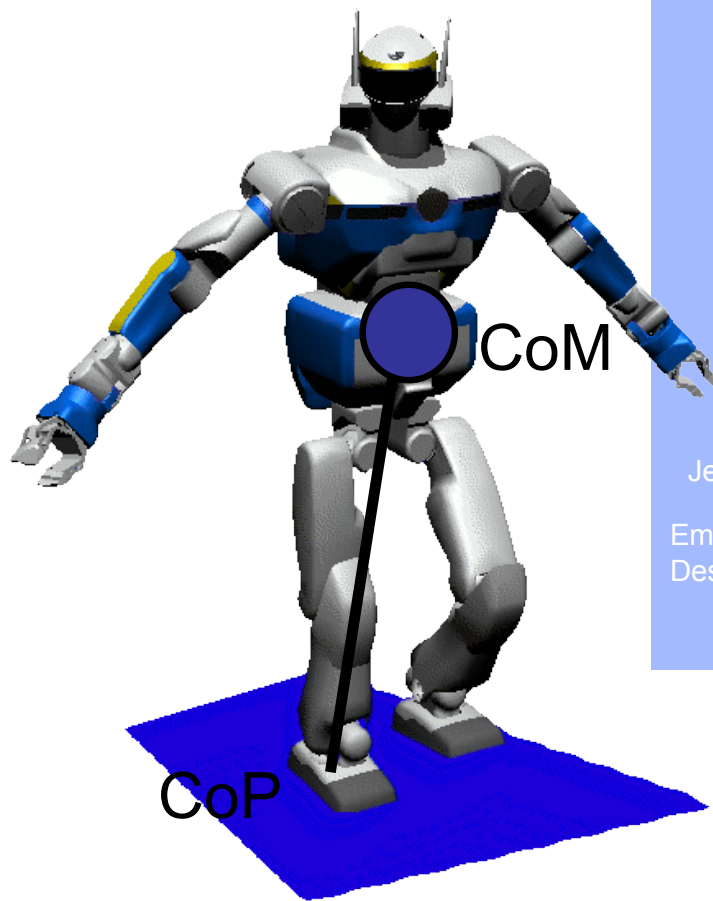
Jerk du CoM

$$g_i(\ddot{\mathbf{C}}_{i+1}, \hat{\mathbf{c}}_i) < 0 \quad \leftarrow \text{Contraintes d'inegalites}$$

$$g_e(\ddot{\mathbf{C}}_{i+1}, \hat{\mathbf{c}}_i) = 0 \quad \leftarrow \text{Contraintes d'egalites}$$


# Marcher en suivant une vitesse de référence

[Herdt et al]



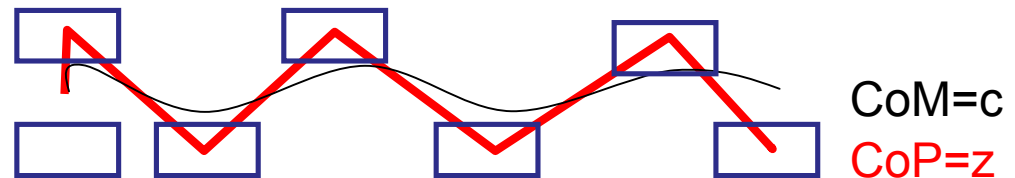
Vitesse Estimées du CoM      Vitesse de Reference du CoM      Jerk du CoM

$$\min_{\ddot{\mathbf{C}}, \bar{\mathbf{F}}} \alpha \left\| \dot{\mathbf{C}}_i - \dot{\mathbf{C}}_i^* \right\| + \beta \left\| \ddot{\mathbf{C}}_i \right\|$$

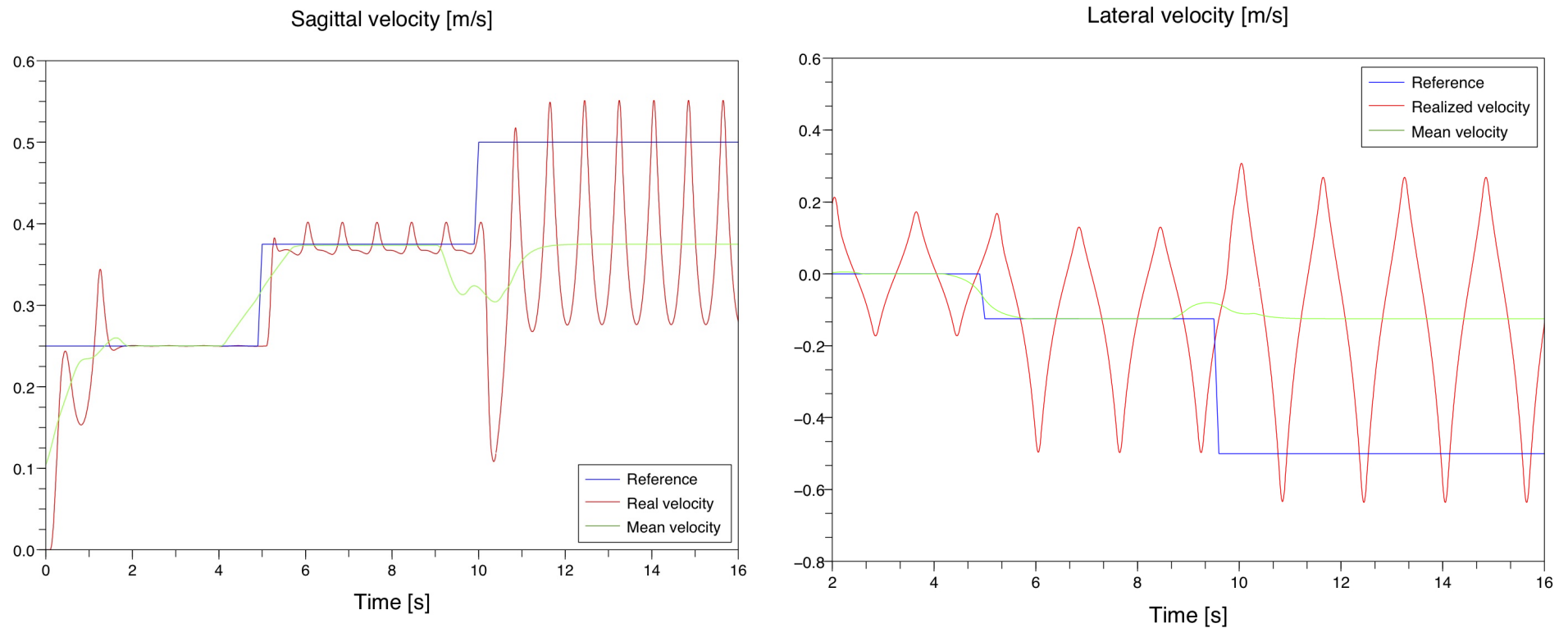
Jerk du CoM

Emplacement Des pieds

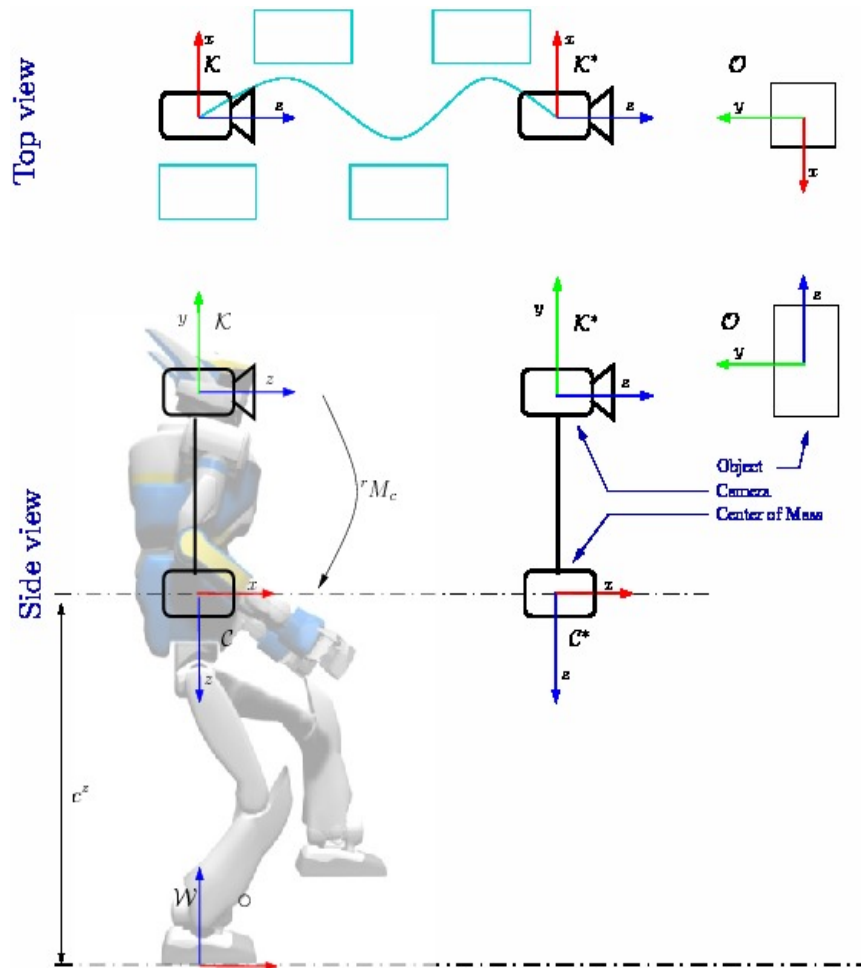
$$f_i(\ddot{\mathbf{C}}_{i+1}, \bar{\mathbf{F}}_{i+1}, \hat{\mathbf{c}}_i) < 0 \leftarrow \text{Contraintes d'inegalites}$$



# Marche réactive référencée vision



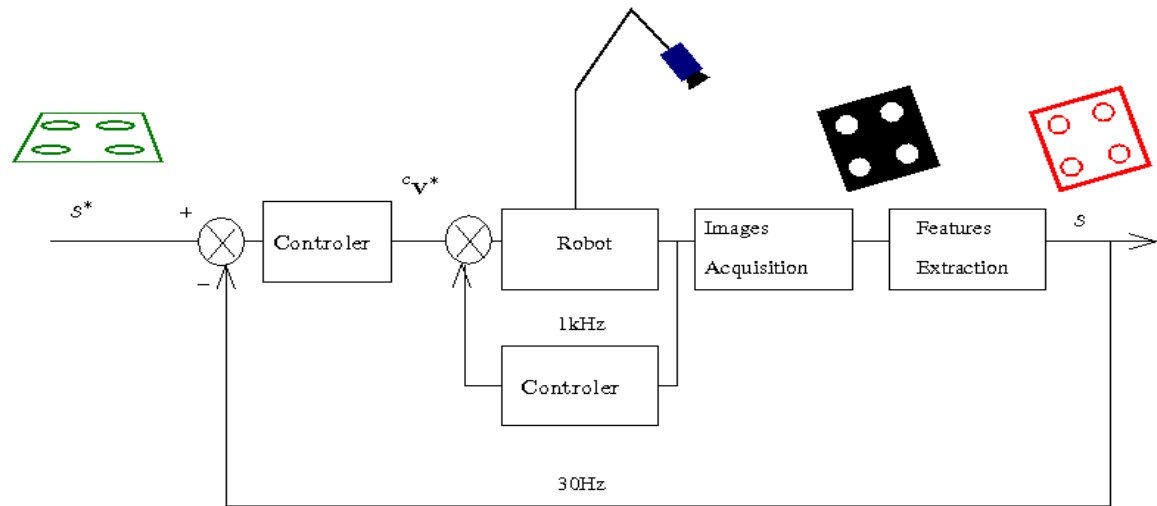
# Asservissement visuel de la marche



- Fonction de coût :
  - vitesse de référence du CoM
- 3 degrés de liberté
  - Translation X,Y
  - Rotation Z
- Transformation rigide entre la caméra et le CoM



# Loi de commande classique



Vitesse de la caméra

gain

Pseudo inverse de la  
matrice d'interaction

$$\begin{cases} \dot{k} = -\lambda \hat{L}^+ e \\ e = s - s^* \end{cases}$$

Erreur visuelle

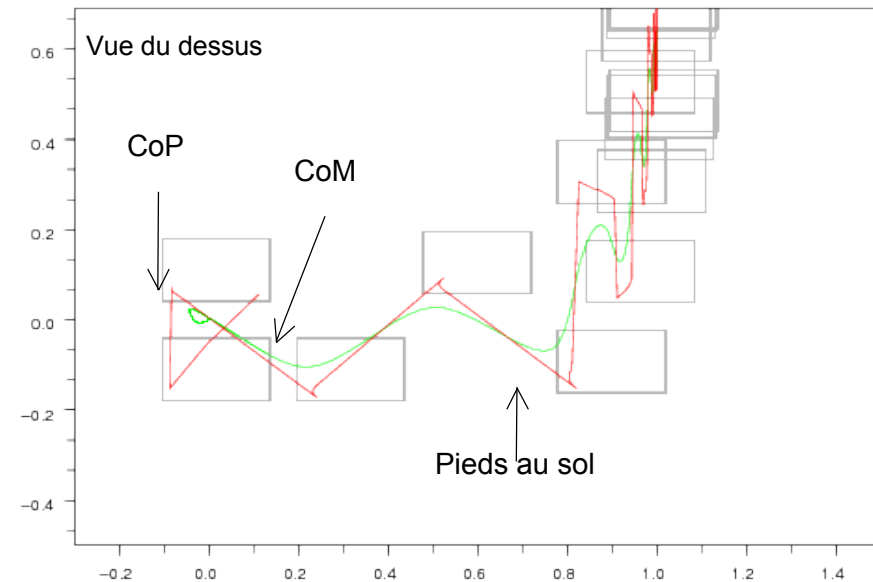
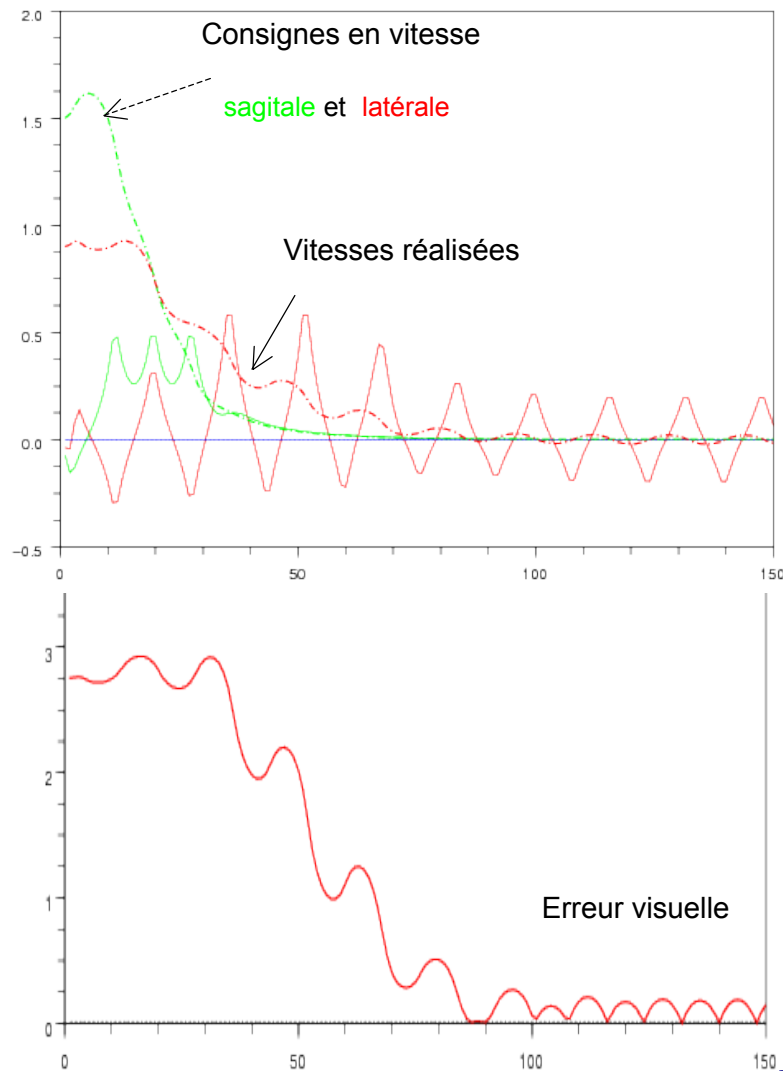
Indice visuel  
courant

Indice visuel  
courant

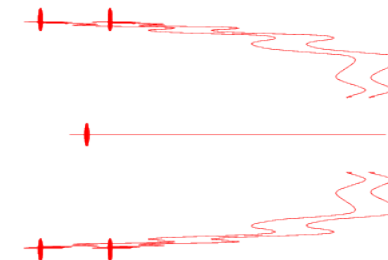
avec  $\dot{s} = L\dot{k}$

et  $\dot{e} = -\lambda e$

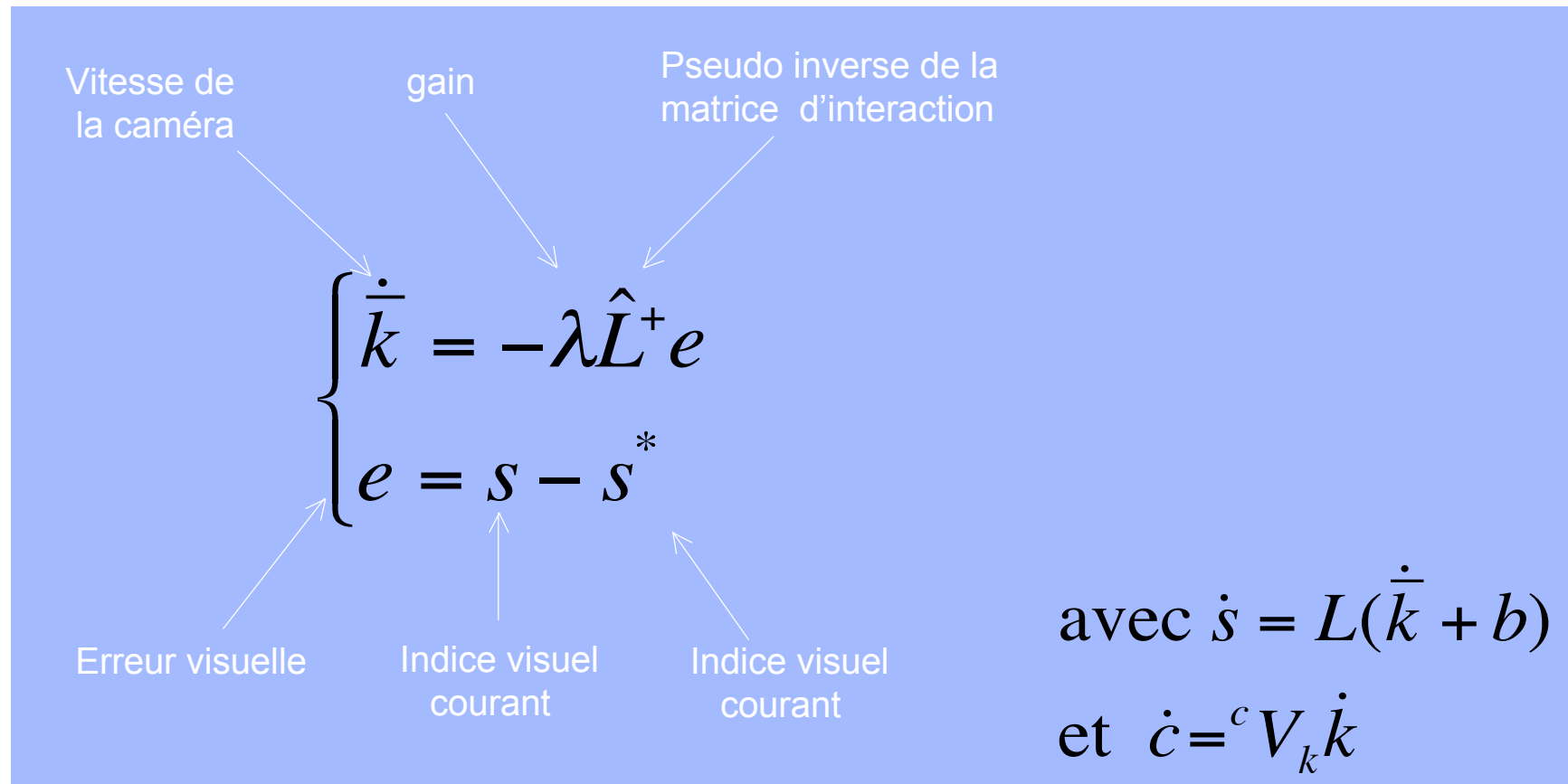
# Asservissement visuel de la marche



Trajectoire des points dans l'image



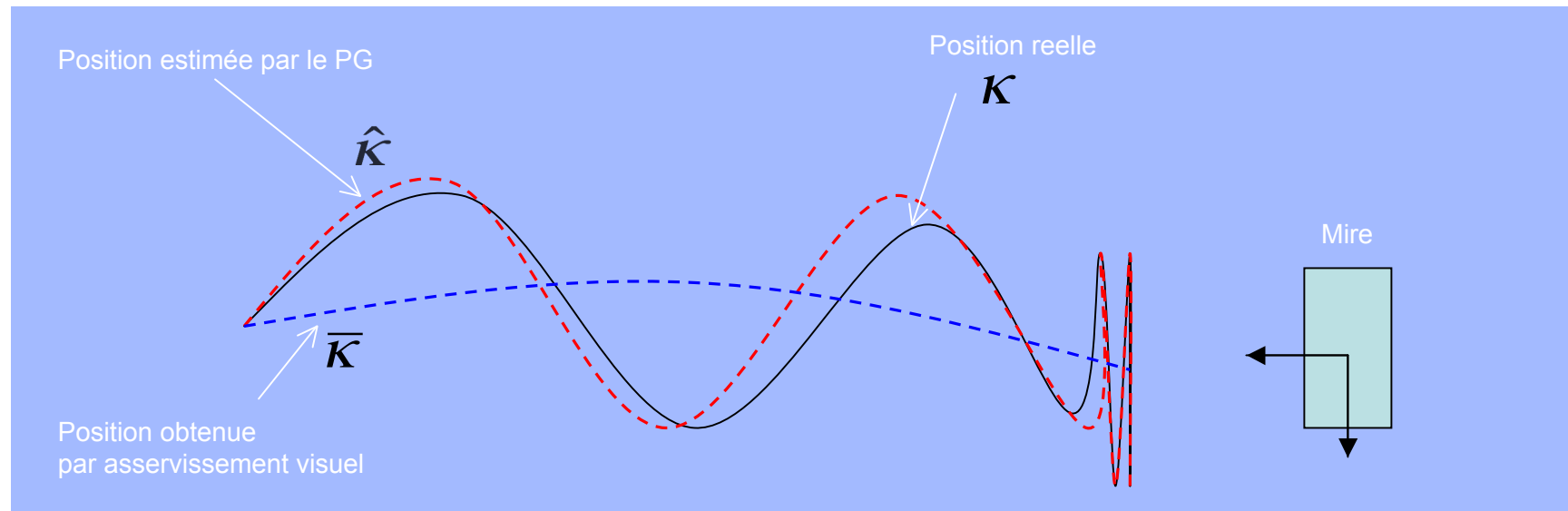
# Compensation du balancement



$$\begin{cases} \dot{\vec{k}} = -\lambda \hat{L}^+ e \\ e = s - s^* \end{cases}$$

avec  $\dot{s} = L(\dot{\vec{k}} + b)$   
et  $\dot{c} = {}^c V_k \dot{k}$

# Compenser le balancement



- Repères caméra intermédiaires
  - pattern generator
  - asservissement visuel
- Si le robot est à l'arrêt aux instants  $t=0$  et  $t=T$ , ces deux repères sont supposés confondus
- L'AV classique régule
- Nous proposons de réguler

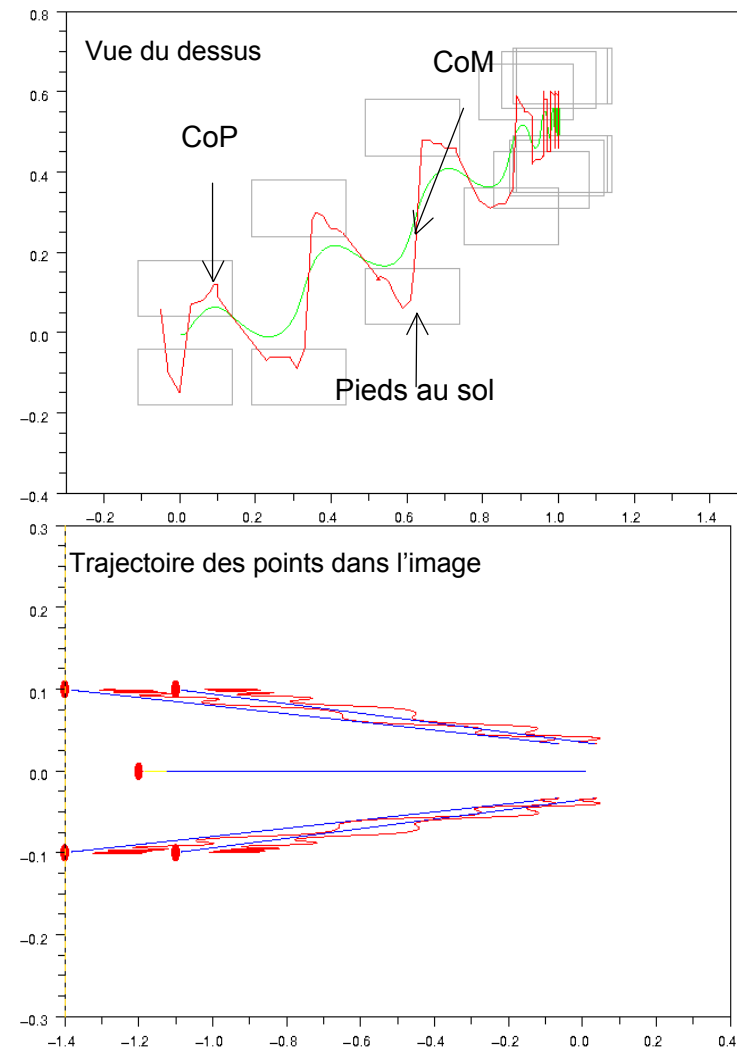
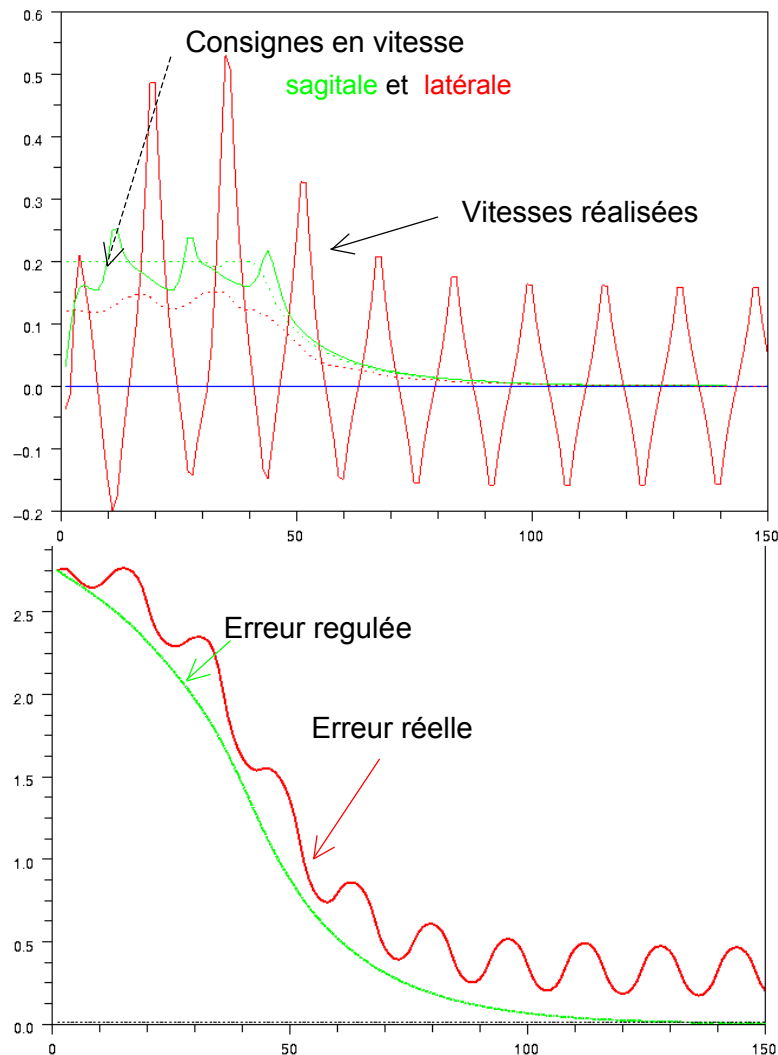
$$\hat{k}^* M_{\bar{k}^*} = \hat{k} M_{\bar{k}}$$

$$\begin{cases} \bar{k}(0) = \hat{k}(0) \\ \bar{k}(T) = \hat{k}(T) \end{cases}$$

$$e = s(k) - s(\bar{k}^*)$$

$$e = s(k) - s(\hat{k}^*)$$

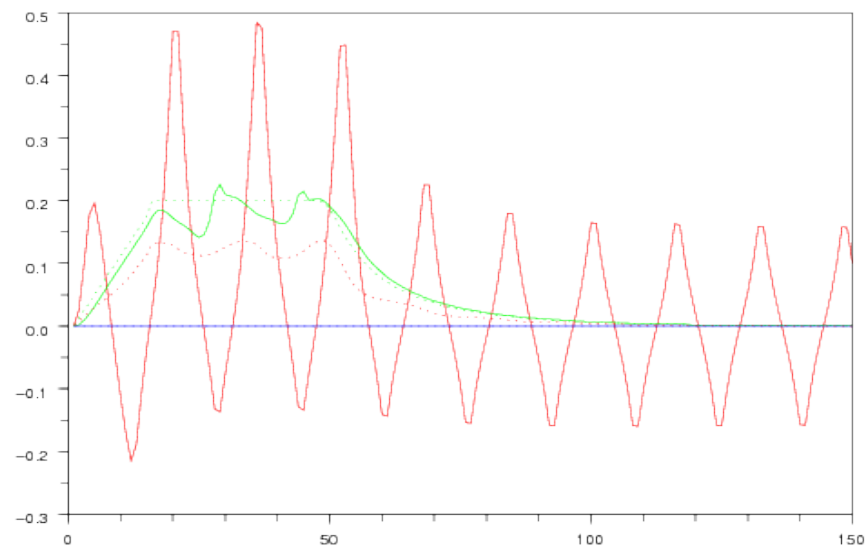
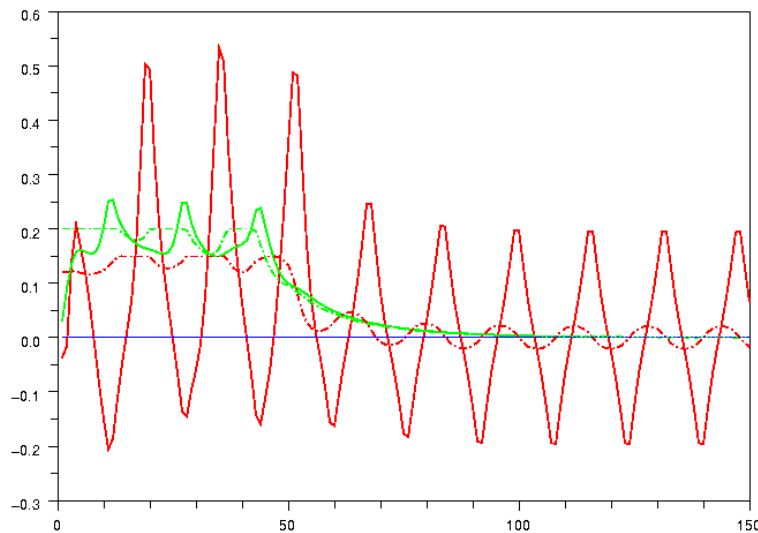
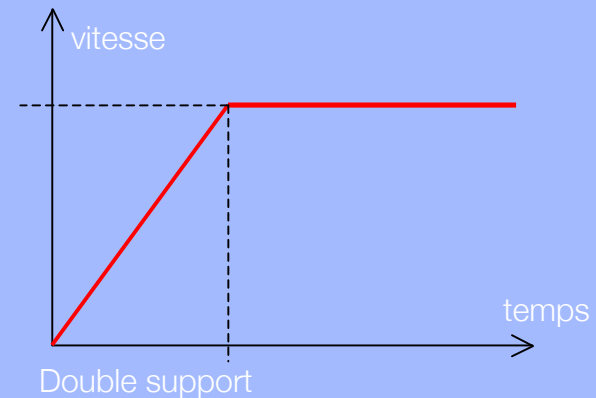
# Compensation du balancement



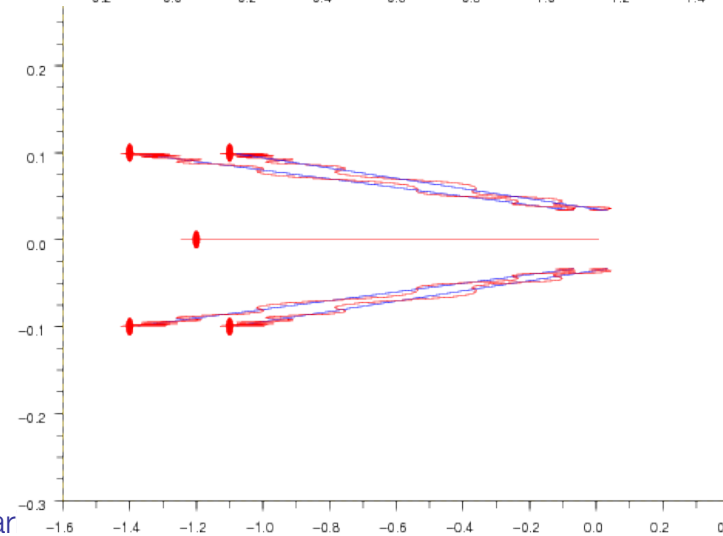
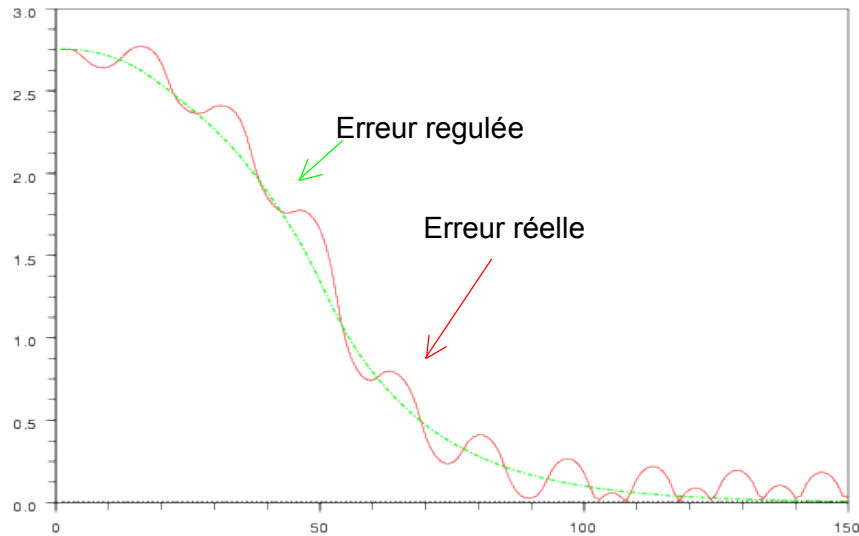
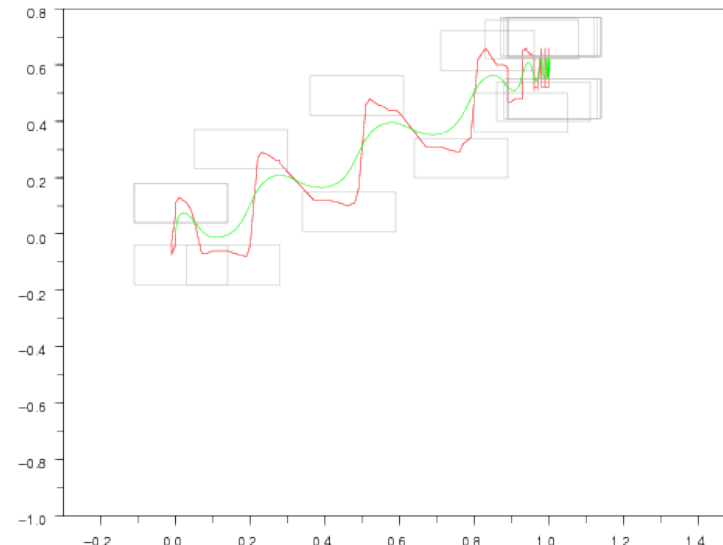
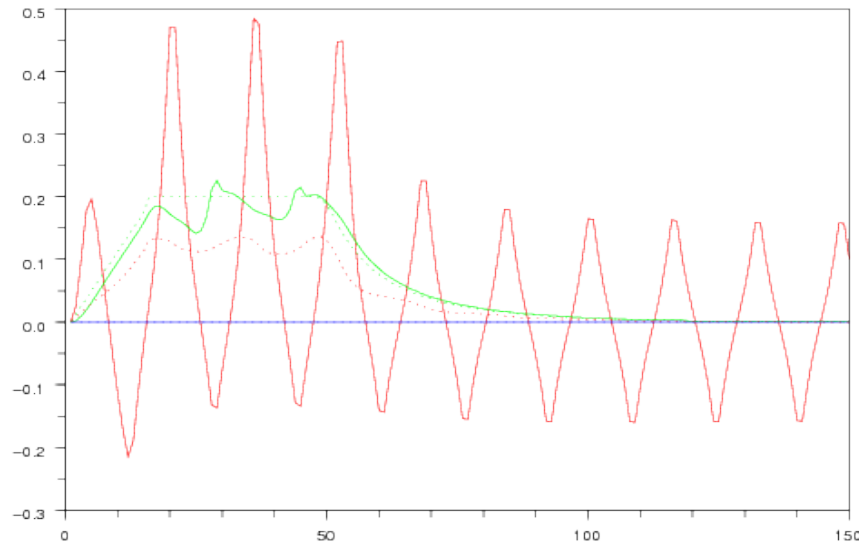
# Limiter les vitesses en entrée

$$\begin{cases} \dot{c}_{transitoire} = \frac{t}{2\tau_{step}} \dot{c}_{max}, \text{ si } t < 2\tau_{step} \\ \dot{c}_{permanent} = \dot{c}_{max}, \text{ sinon} \end{cases}$$

avec  $\dot{c}_{max} = [0.2, 0.2, 0.15]^T$



# Limitation de la vitesse



## Discussion

---

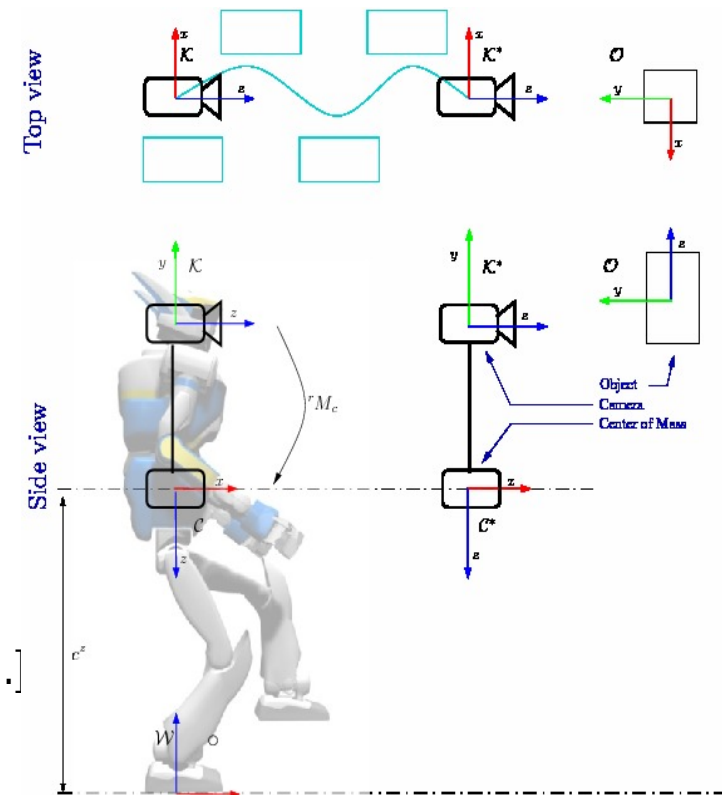
- Contrainte de la méthode :
  - la vitesse de référence doit être parfaitement suivie,
- Sinon
  - contraintes de la marche activées
  - un biais apparaît
- Solution : nouvelle fonction de coût

$$\min_{\ddot{C}, \bar{F}} \alpha \|S - S_i^*\| + \beta \|\ddot{C}_i\|$$
$$f_i(\ddot{C}_{i+1}, \bar{F}_{i+1}, \hat{c}_i) < 0$$
$$f_e(\ddot{C}_{i+1}, \bar{F}_{i+1}, \hat{c}_i) = 0$$



# Asservissement visuel prédictif : modélisation des informations visuelles

- Trajectoire de la caméra
  - Jerk du CoM constant par morceau  
 ${}^w M_c$
  - Transformation caméra/CoM  
 ${}^c M_k$
- Trajectoire des indices visuels
  - Si  $s = pr_{\xi}({}^c M_o, {}^o P)$  immédiat
  - Sinon,  $\dot{s} = L\dot{k}$ 
    - Euler :  $s_{i+1} = s_i + \tau L\dot{k}$  [Allibert et al.]
    - Runge Kutta :  $s_{i+1} = g(s_i, \dot{k}_i)$



## Conclusion

---

- Asservissement visuel de la marche
  - Commander les déplacements du robot pour minimiser une erreur visuelle
  - Compensation du balancement si la vitesse de référence est suivie
- Travaux futurs
  - Intégrer l'erreur visuelle dans la fonction de coût de la commande prédictive
    - Modélisation des informations visuelles
    - Optimisation non-linéaire (temps de calcul, linéarisation)
  - Asservir le haut du corps
    - Hiérarchie de tâches
    - Déplacement du centre de masse et dynamique