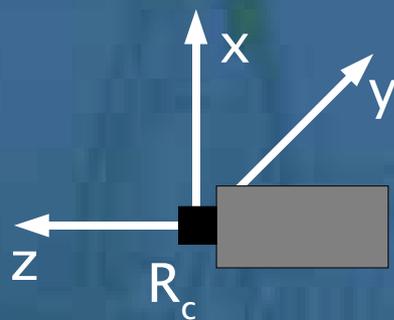


Modélisation et commande

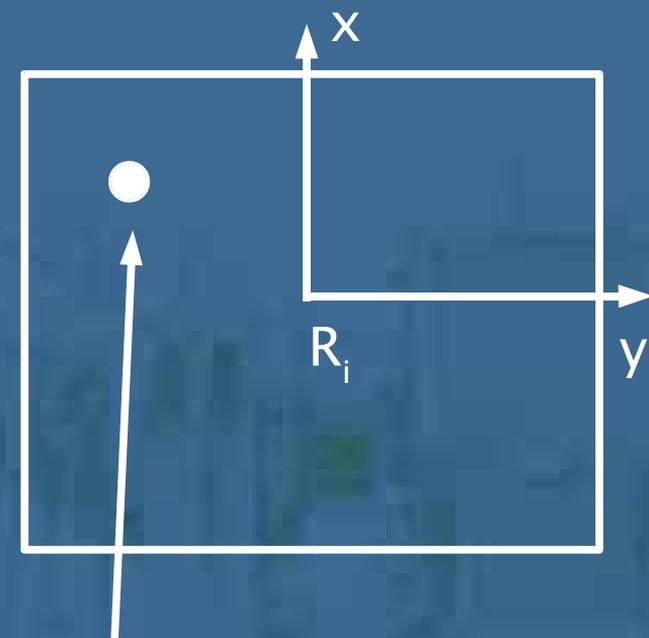
2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation - matrice d'interaction


 ${}^cP = [X \ Y \ Z]^T$
 Coordonnées du point P exprimées dans R_c (en mètres).



$T = [V_x \ V_y \ V_z \ \omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$
 Torseur cinématique du repère de la caméra par rapport à un repère de base exprimé dans le repère caméra (R_c).



${}^c p = [x \ y \ z]^T$
 Coordonnées du projeté de P exprimées dans R_i (en pixels).

Projection perspective $\left\{ \begin{array}{l} x = G_x \frac{Z}{z} \\ y = G_y \frac{Z}{z} \end{array} \right.$

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – matrice d'interaction

On a :

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{G_x}{Z} & 0 & \frac{x}{Z} & \frac{xy}{G_y} & -\frac{G_x^2 + x^2}{G_x} & y \frac{G_x}{G_y} \\ 0 & -\frac{G_y}{Z} & \frac{y}{Z} & \frac{G_y^2 + y^2}{G_y} & -\frac{xy}{G_x} & -x \frac{G_y}{G_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation - matrice d'interaction

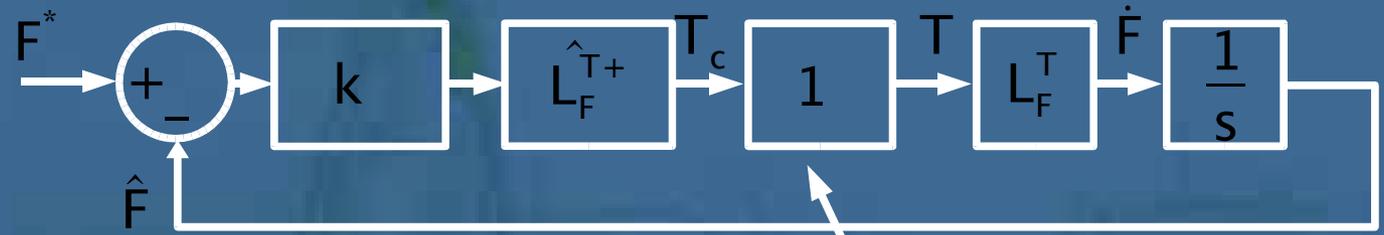
Pour plusieurs points : $\dot{\mathbf{F}} = \mathbf{L}_F^T \mathbf{T}$

avec $\mathbf{L}_F^T =$
$$\begin{bmatrix} \frac{-G_x}{Z_1} & 0 & \frac{x_1}{Z_1} & \frac{x_1 y_1}{G_y} & -\frac{G_x^2 + x_1^2}{G_x} & y_1 \frac{G_x}{G_y} \\ 0 & \frac{-G_y}{Z_1} & \frac{y_1}{Z_1} & \frac{G_y^2 + y_1^2}{G_y} & \frac{-x_1 y_1}{G_x} & -x_1 \frac{G_y}{G_x} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{-G_x}{Z_n} & 0 & \frac{x_n}{Z_n} & \frac{x_n y_n}{G_y} & -\frac{G_x^2 + x_n^2}{G_x} & y_n \frac{G_x}{G_y} \\ 0 & \frac{-G_y}{Z_n} & \frac{y_n}{Z_n} & \frac{G_y^2 + y_n^2}{G_y} & \frac{-x_n y_n}{G_x} & -x_n \frac{G_y}{G_x} \end{bmatrix}$$
 et $\dot{\mathbf{F}} =$
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \\ \vdots \\ \dot{x}_n \\ \dot{y}_n \end{bmatrix}$$

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – asservissement visuel cinématique

Asservissement 2D cinématique :



Modèle simplifié du robot

Approximation (3 points d'intérêt) : $L_F^T L_F^{T+} = I$

Comportement du premier ordre : $\hat{F} = F^* (1 - e^{-kt})$

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – acquisition d'image

- Caméra analogiques : jusqu'à 50 Mpixels/s
- Caméras numériques :
 - LVDS : liaison parallèle, 160 Mo/s max
 - CamLink : liaison série, 533 Mo/s max
 - USB2 : 60 Mo/s max.
 - FireWire : 100 Mo/s max.
- Carte d'acquisition :
 - PCI : jusqu'à 133 Mo/s en modebus master.
 - PCI express : jusqu'à 8 Go/s

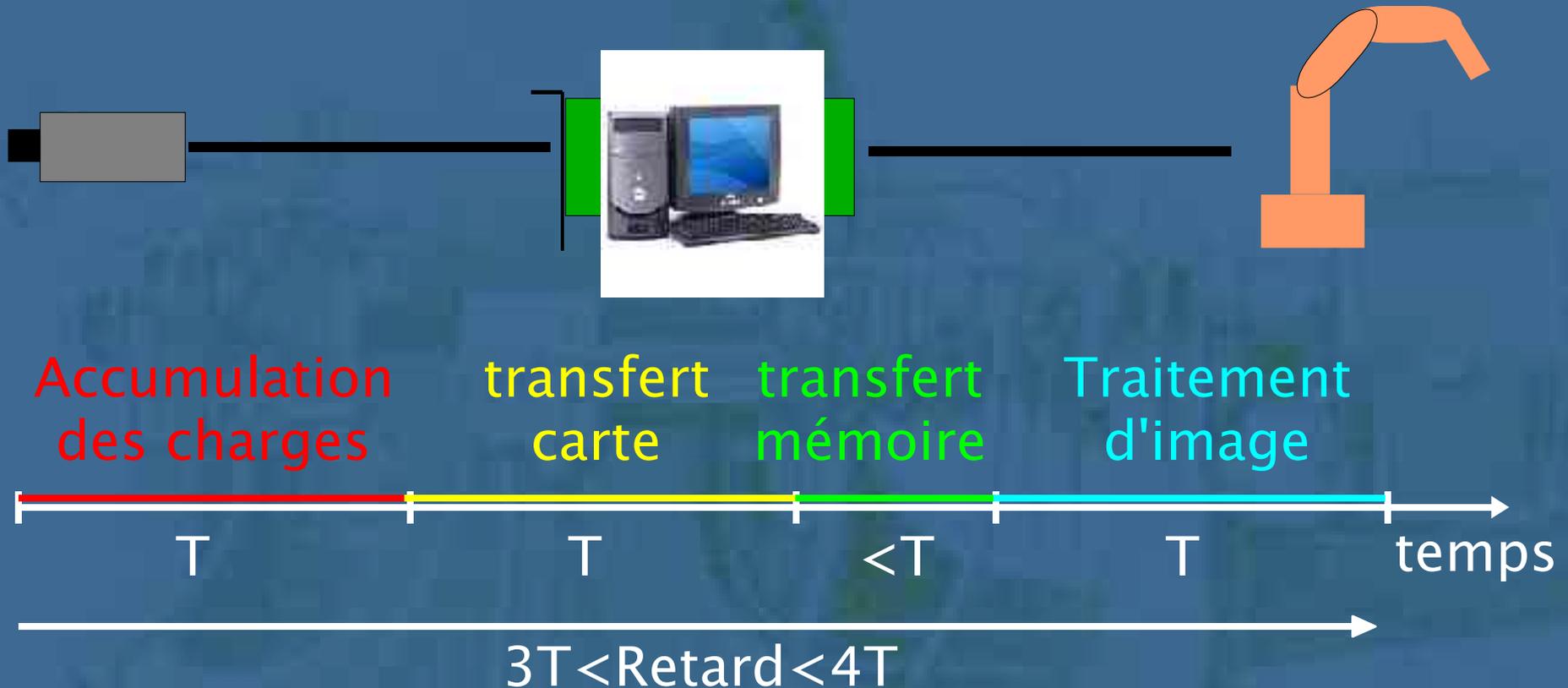
2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – acquisition d'image

- Exemple :
 - Image 256 niveaux de gris 640x480
 - Taille : $640 \times 480 = 307200$ octets
 - F_{\max} en analogique : $50 \times 10^6 / 307200 = 162$ images/s
 - F_{\max} avec Firewire : $100 \times 1024^2 / 307200 = 341$ i/s
 - F_{\max} avec CamLink : $533 \times 1024^2 / 307200 = 1819$ i/s

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – acquisition d'image



T = période d'échantillonnage (e.g. 2ms avec caméra 500 im/s)

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation - manipulateur

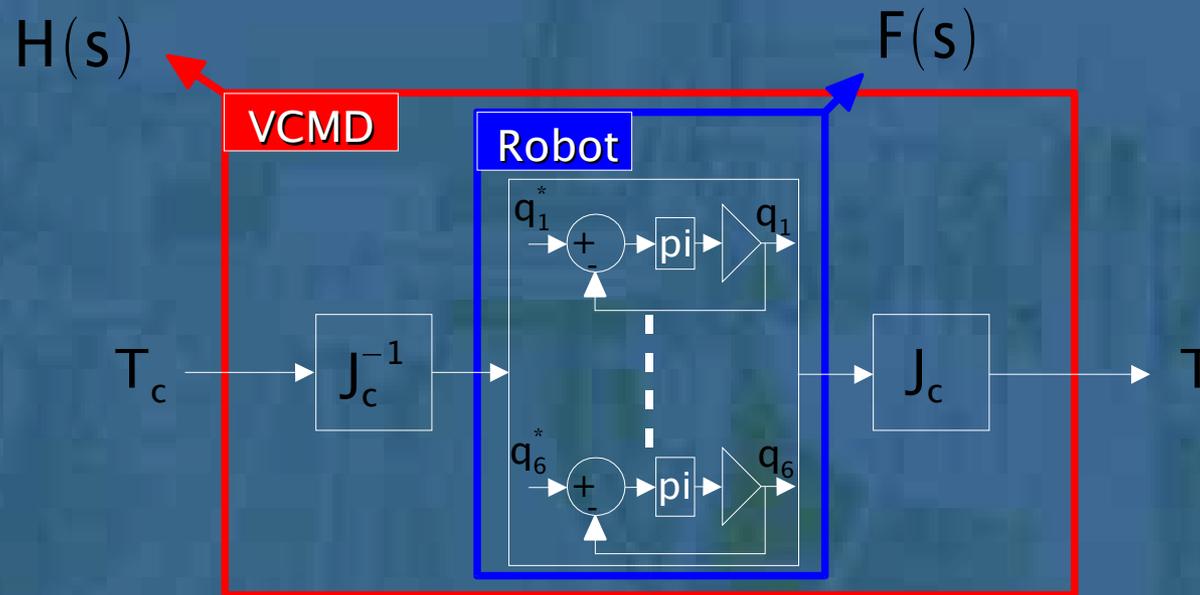
- Hypothèse : axes du manipulateur asservis en vitesse
 - Simplifications du modèle dynamique :
 - Forces centrifuges
 - Forces de Coriolis
 - Forces de gravité
 - Frottements secs
- } Considérés comme des perturbations

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation - manipulateur

Modèle du robot virtuel

Modèle du robot asservi en vitesse



J_c : Jacobien du robot

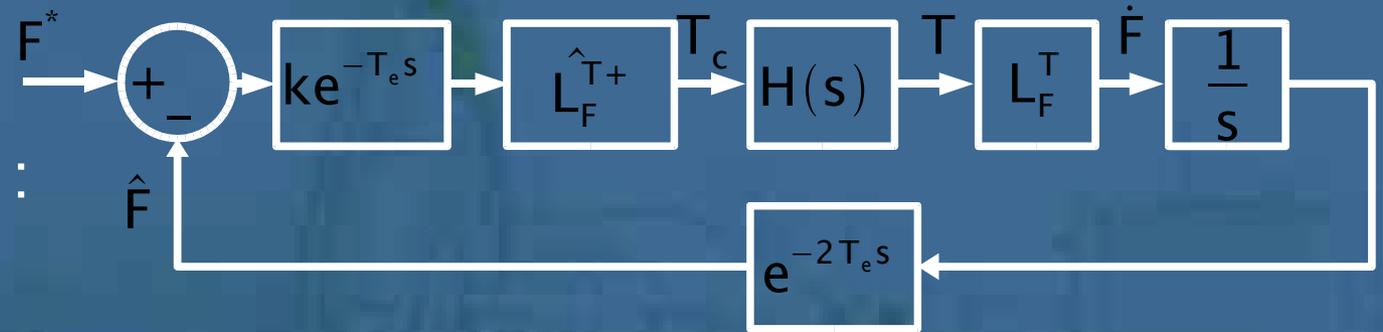
T_c : torseur cinématique désiré

T : torseur cinématique mesuré

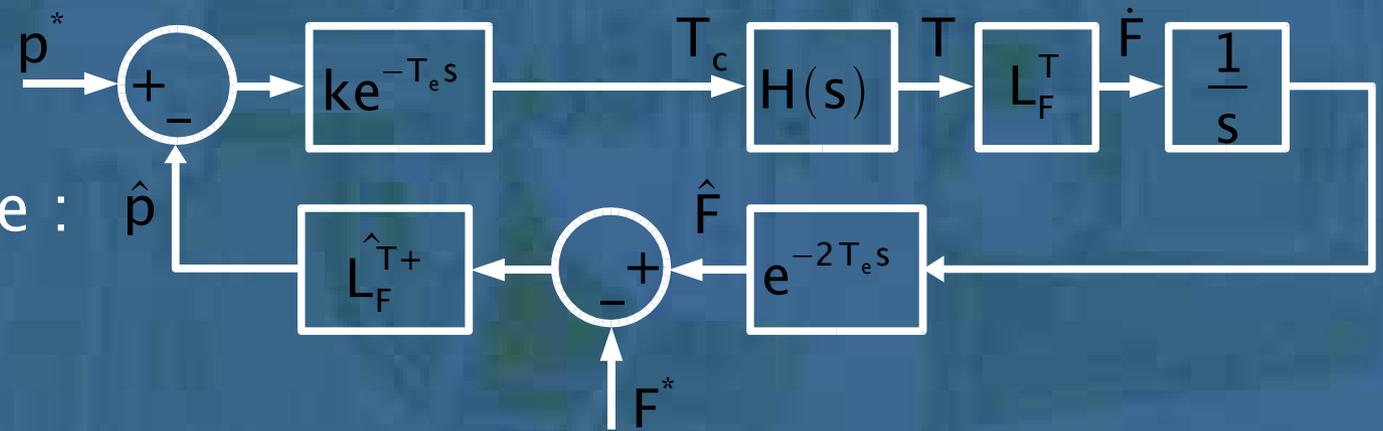
2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – boucle 2D

Boucle 2D typique :



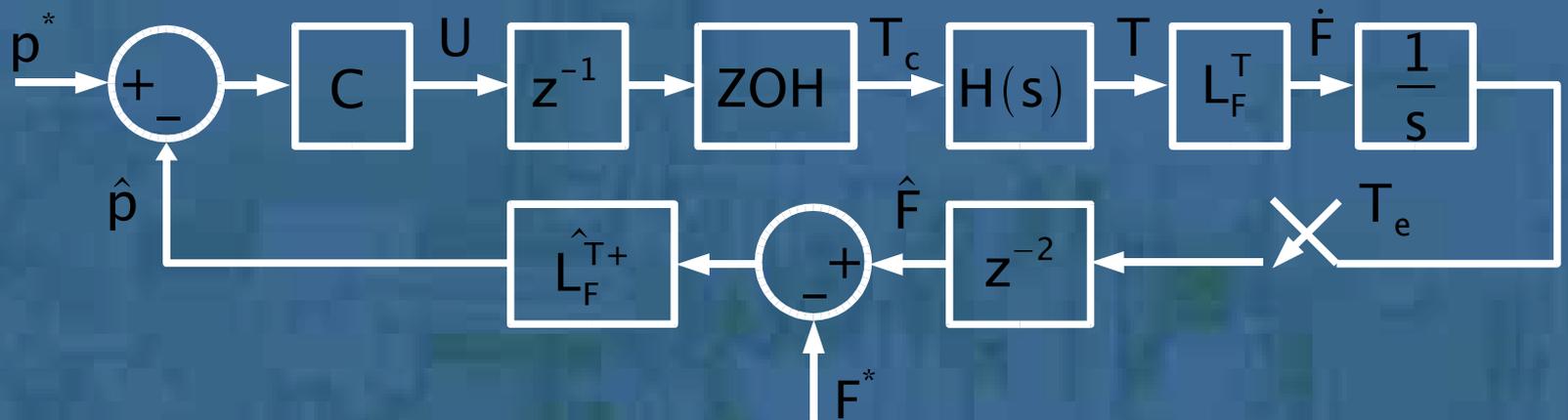
Boucle 2D modifiée :



2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – boucle 2D

Boucle 2D échantillonnée :

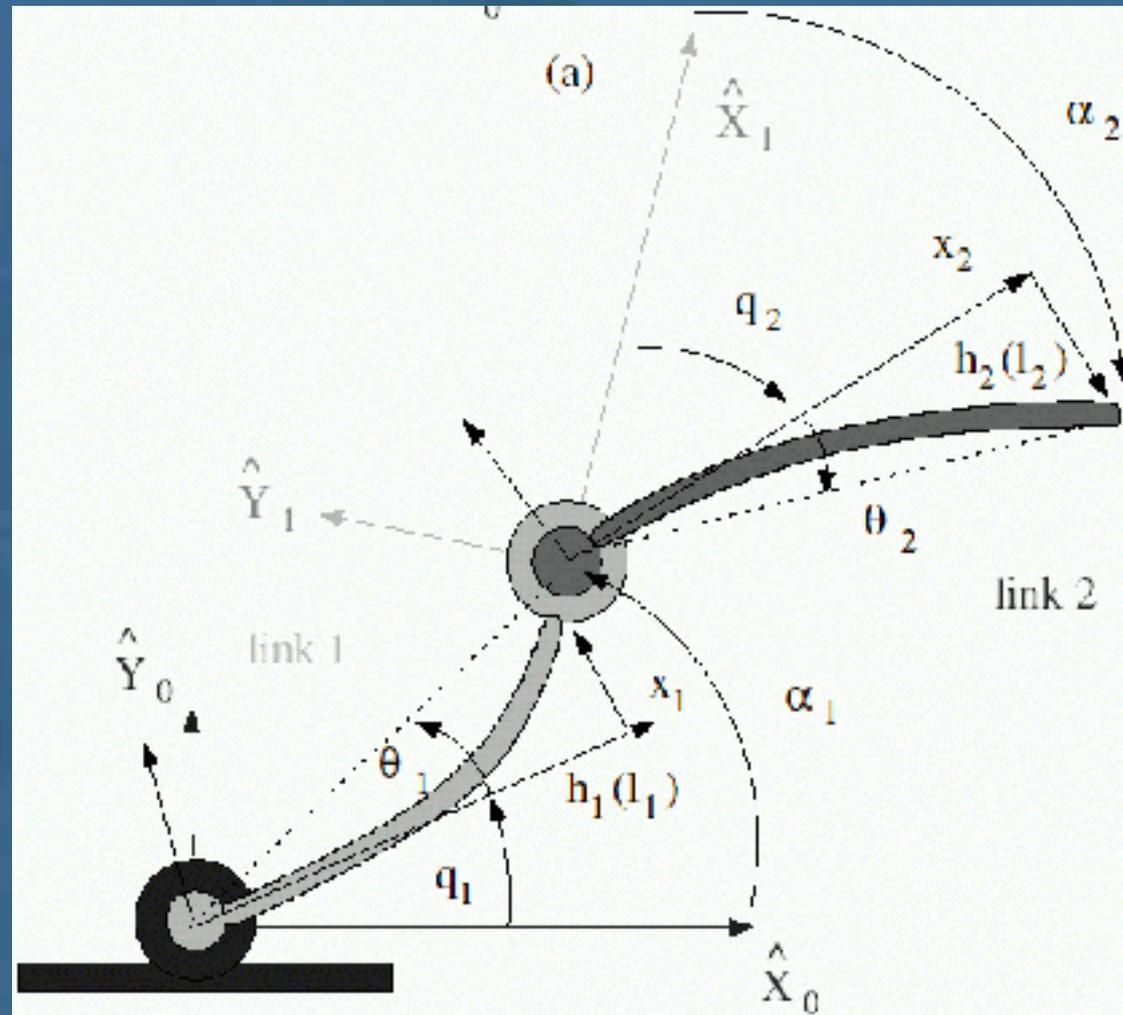


FTBO de la boucle 2D :

$$H(z) = \frac{\hat{p}(z)}{U(z)} = z^{-3} (1 - z^{-1}) Z \left(\frac{H(s)}{s^2} \right)$$

2. Modélisation et commande

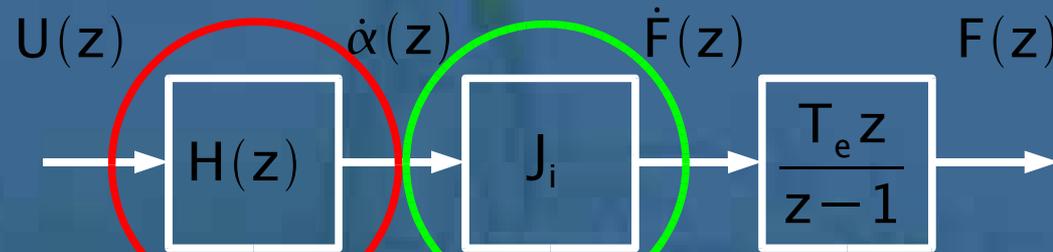
2.1. Modélisation – flexibilités



2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation - flexibilités

Identification :



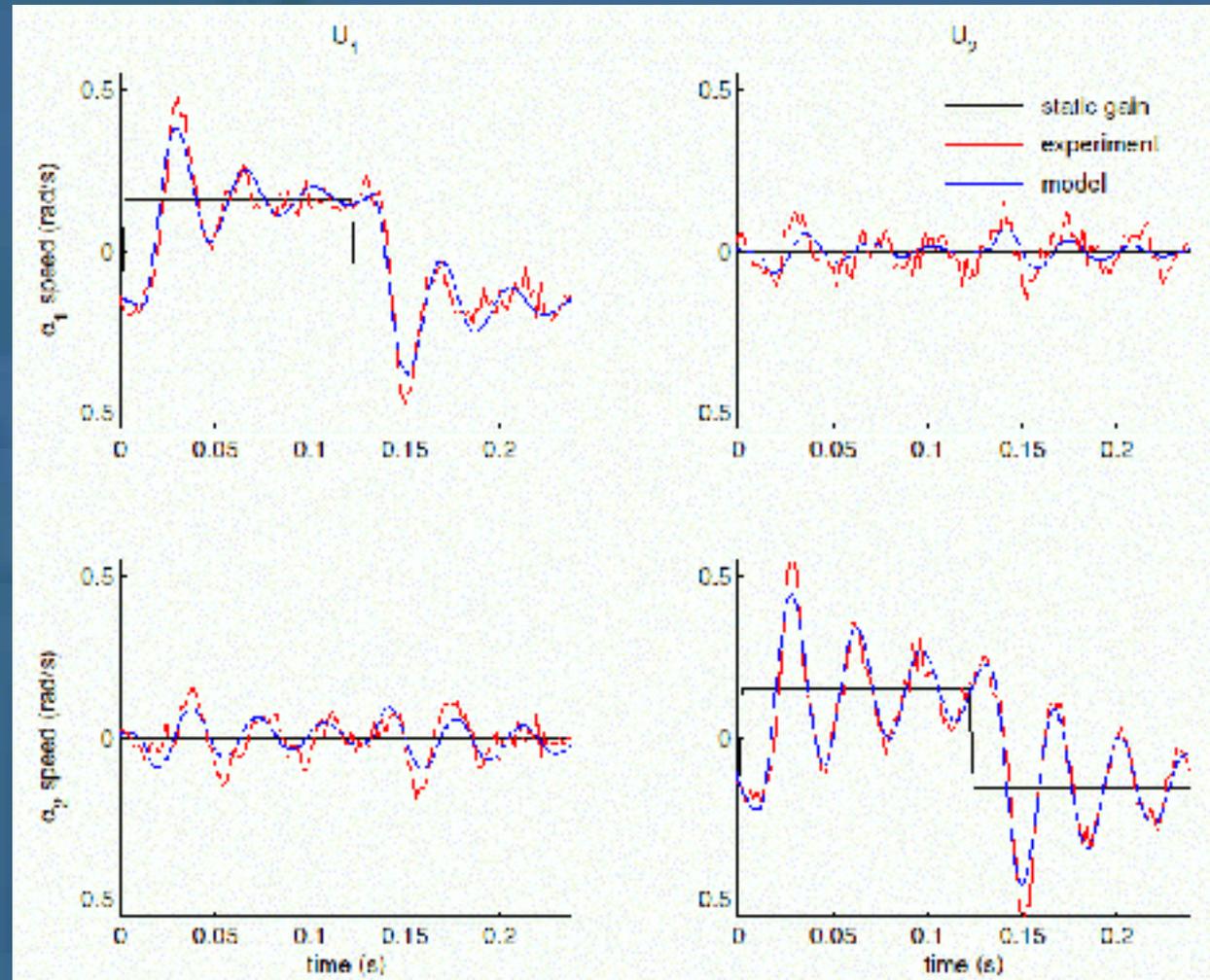
Réponse à une SBPA dans l'image :
identification de $H(z)$

Régime permanent en vitesse :
identification de J_i

2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – flexibilités

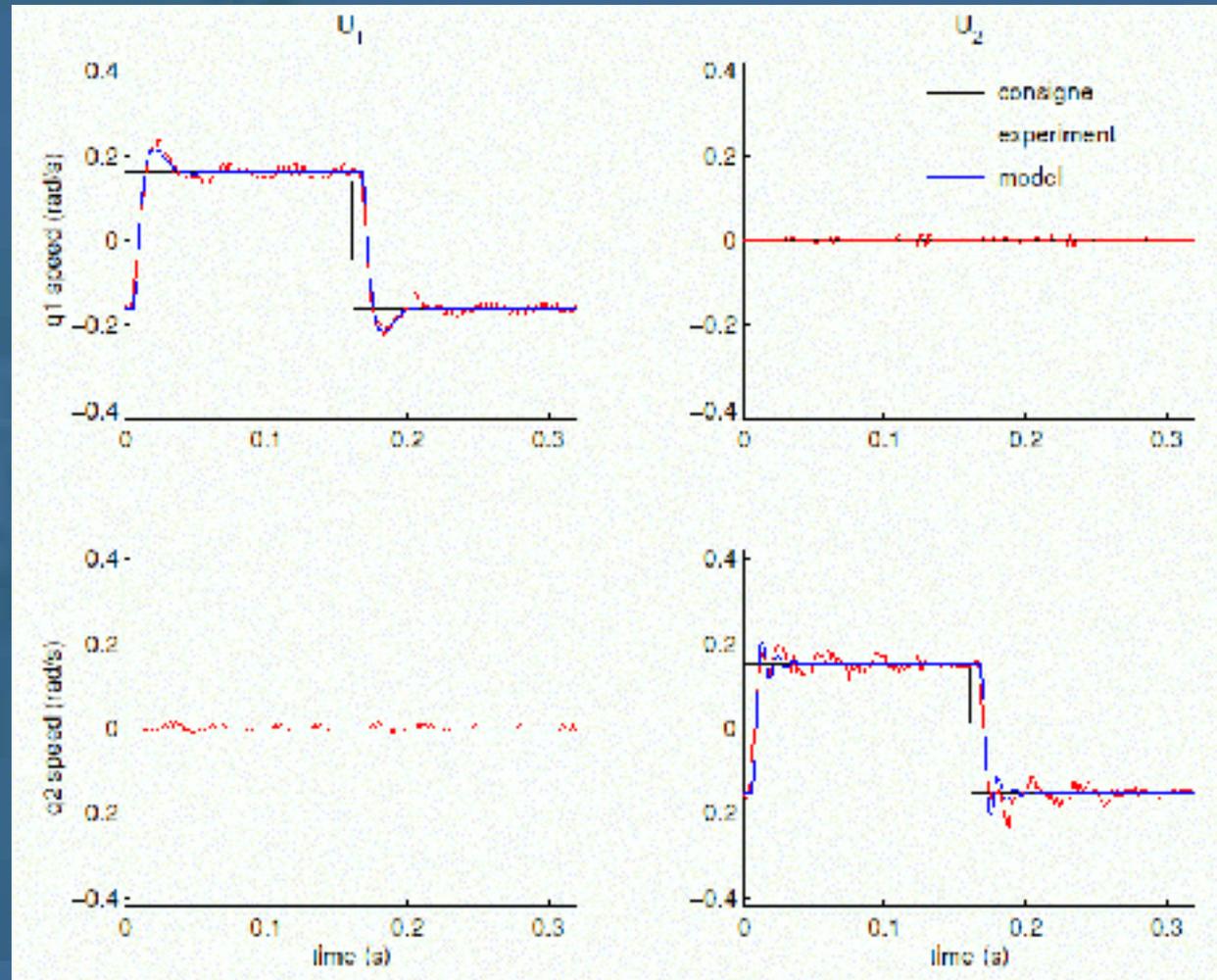
Modèle flexible :



2. Modélisation et commande

2.1. Modélisation – flexibilités

Modèle rigide :



2. Modélisation et commande

2.2. Commande - GPC

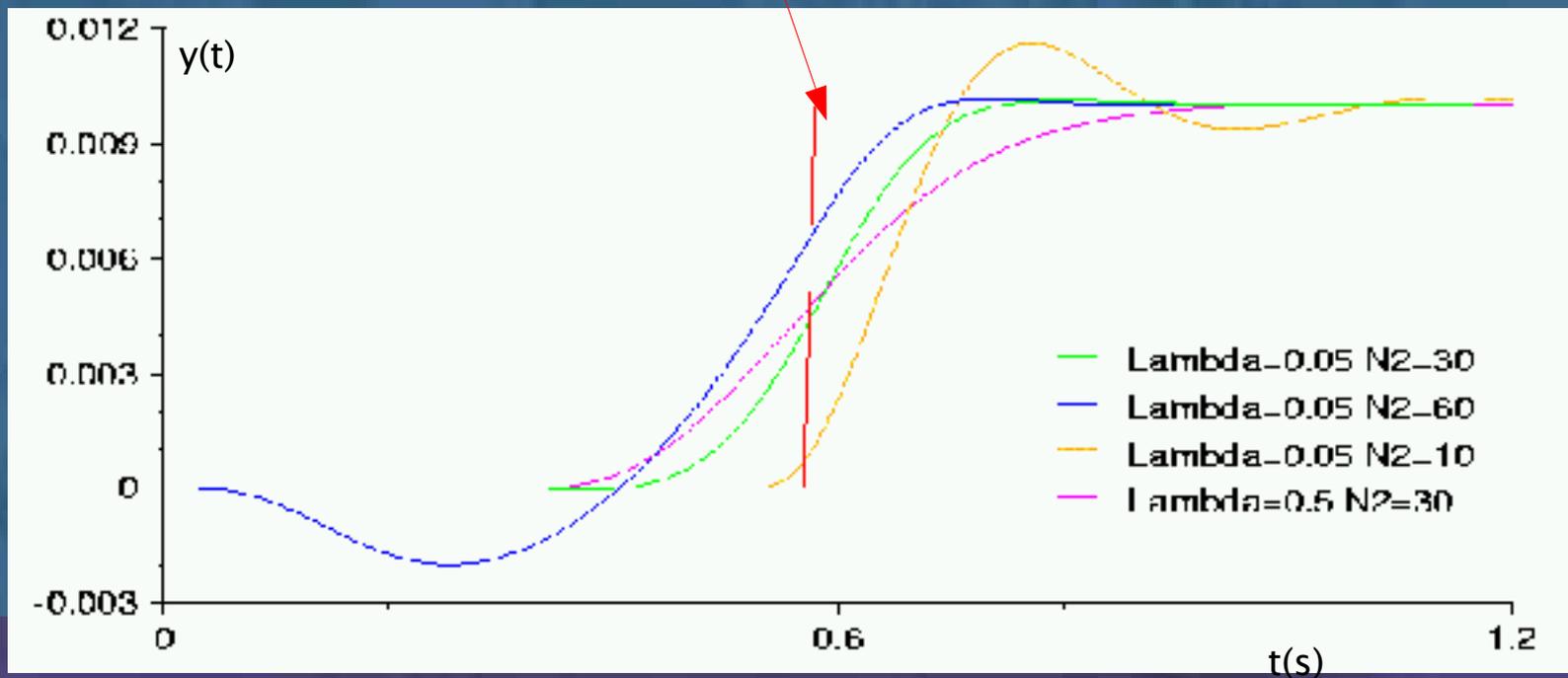
Minimisation de :

$$\sum_{j=N_1}^{N_2} [y(t+jT) - r(t+jT)]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} [\Delta u(t+(j-1)T)]^2$$

Mesure prédite

Référence future

Incrément de commande



2. Modélisation et commande

2.2. Commande - GPC

Modèle sous la forme ARIMAX :

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-1}B(q^{-1})u(t) + \frac{C(q^{-1})}{D(q^{-1})}\xi(t)$$

Terme de filtrage ↑

↑ Bruit blanc

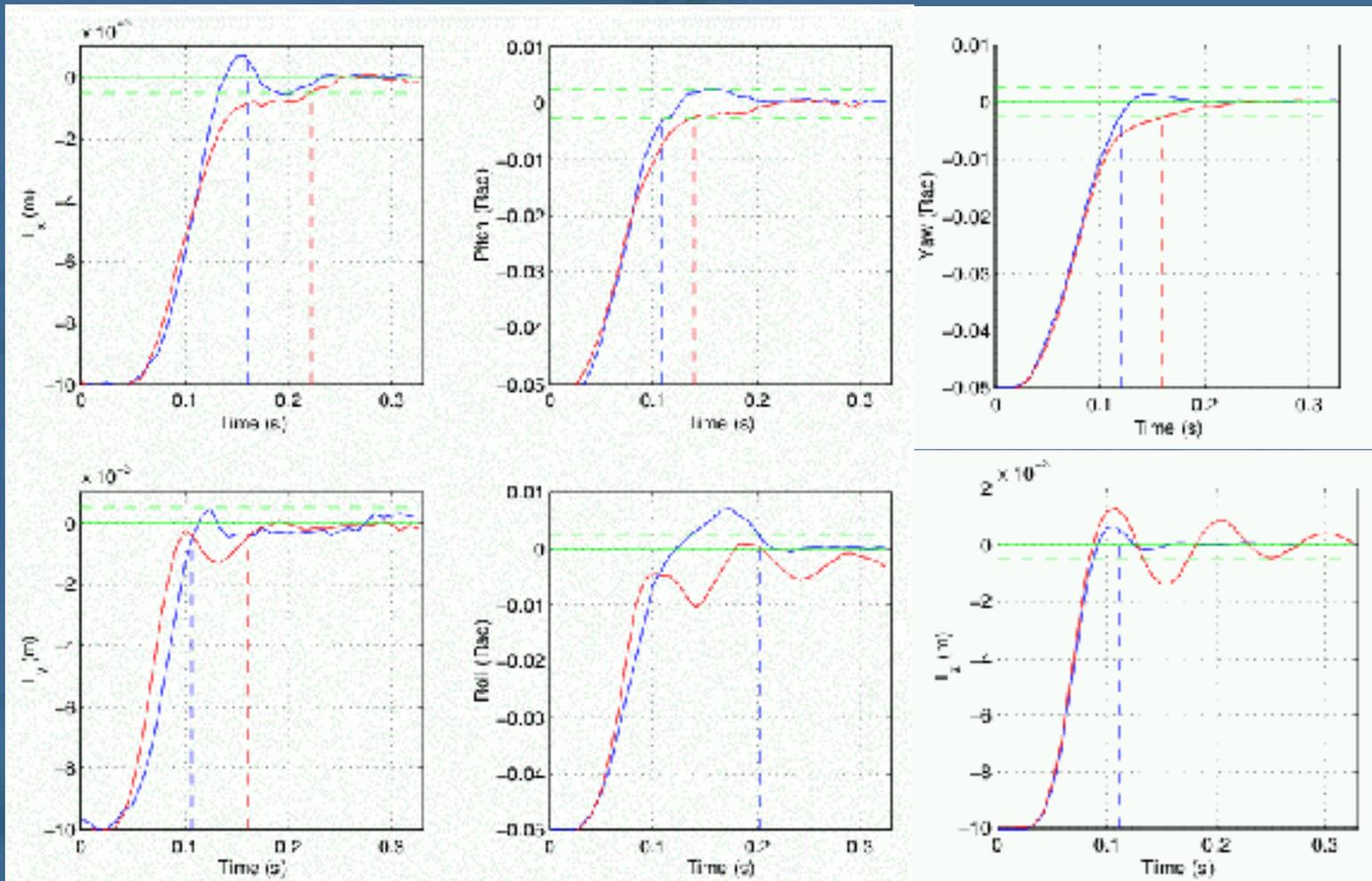
En général : $D(q^{-1}) = (1 - q^{-1})$

Pour plus d'informations :

Camacho, E. F. and Bordons, C. Model predictive control
Springer Verlag, 1999

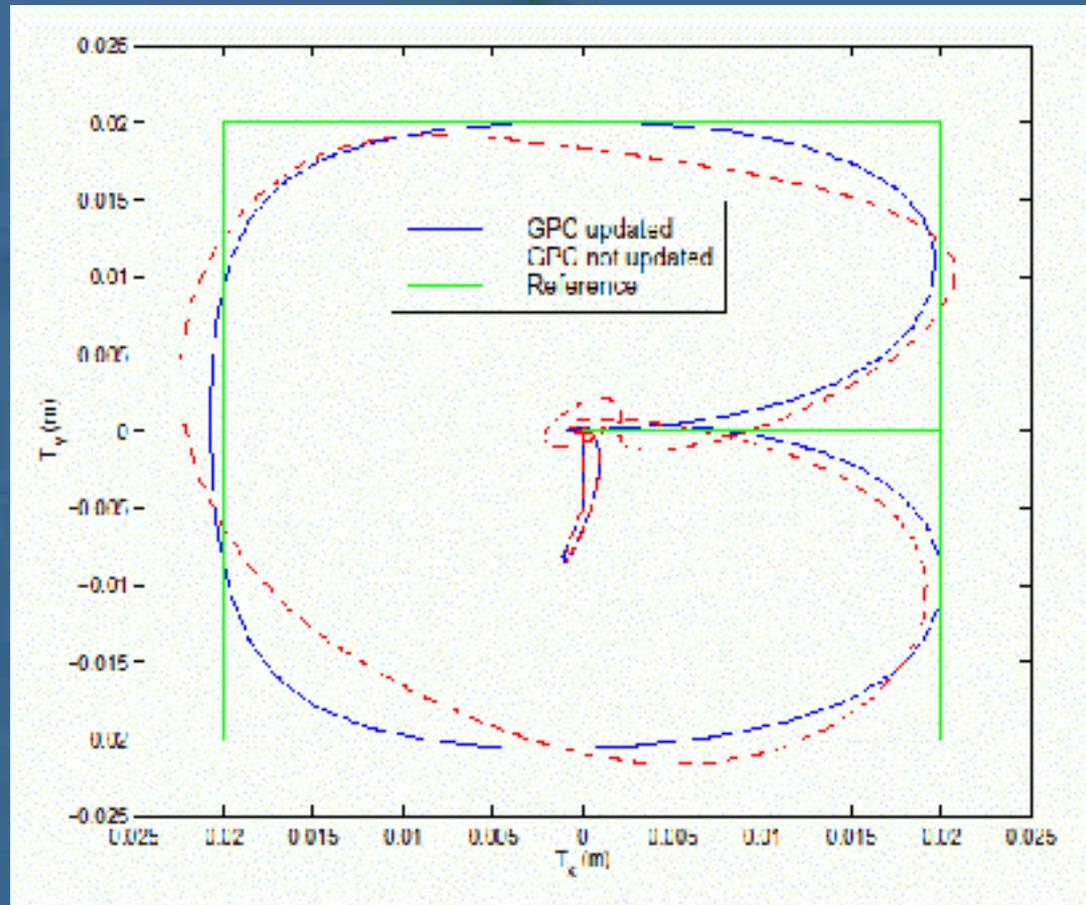
2. Modélisation et commande

2.2. Commande – suivi de cible : GPCvs PID



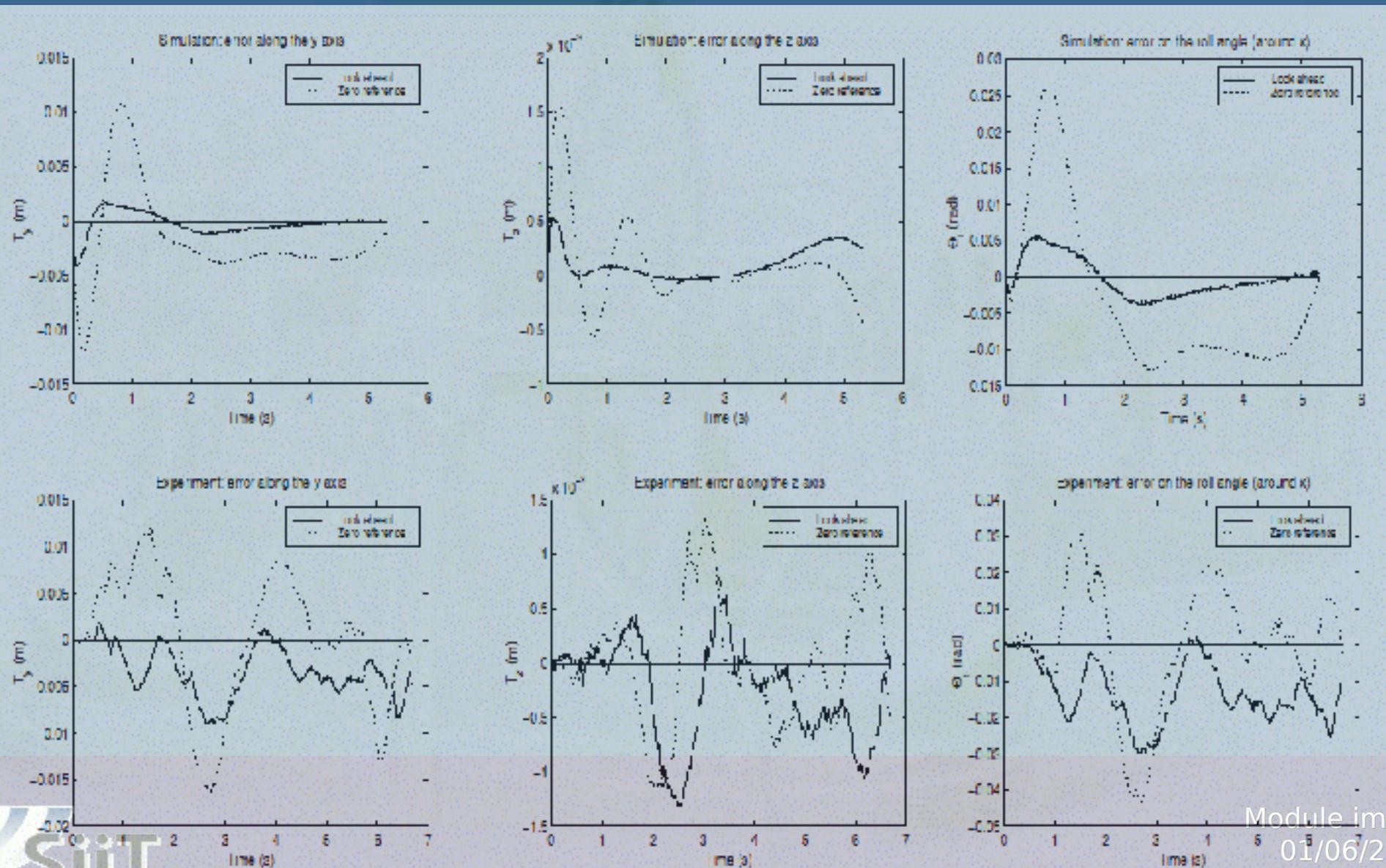
2. Modélisation et commande

2.2. Commande – suivi de cible : GPCvs PID



2. Modélisation et commande

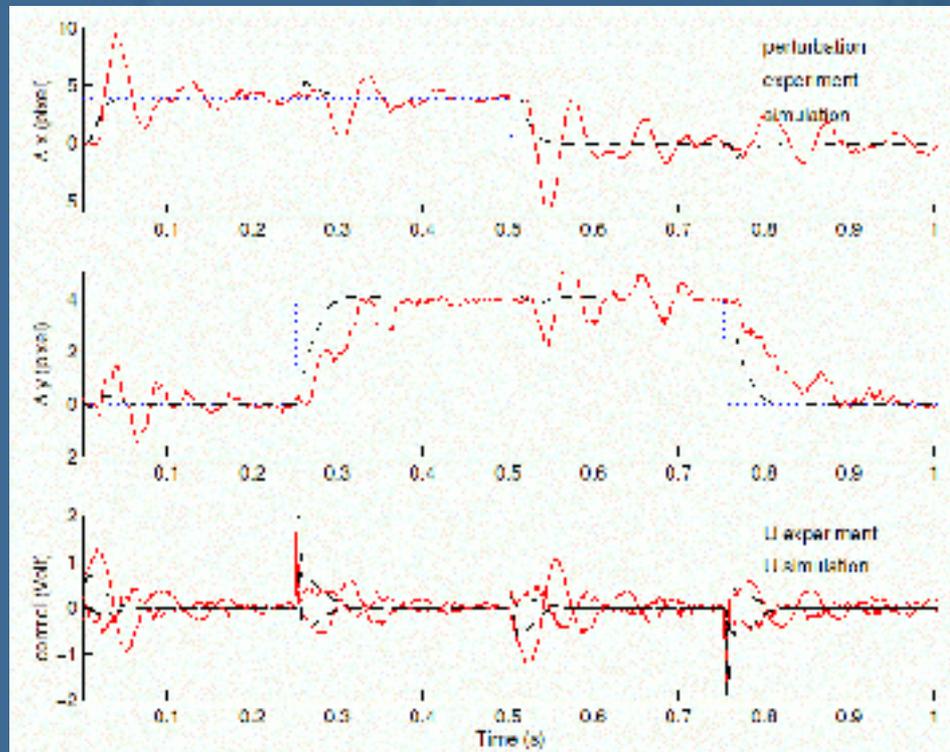
2.2. Commande – suivi de profilé : GPCvs PID



2. Modélisation et commande

2.2. Commande – prise en compte des flexibilités

Flexibilités négligées



Flexibilités prises en compte

