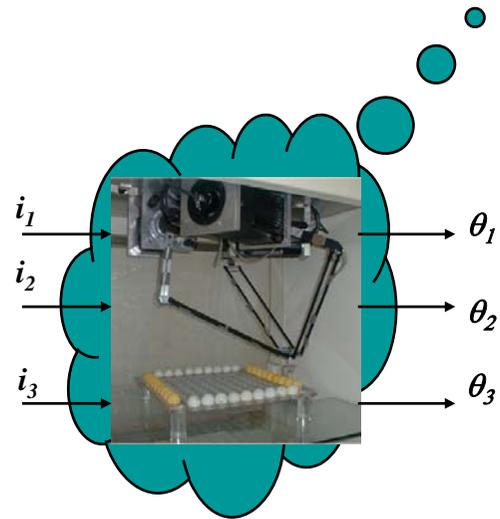
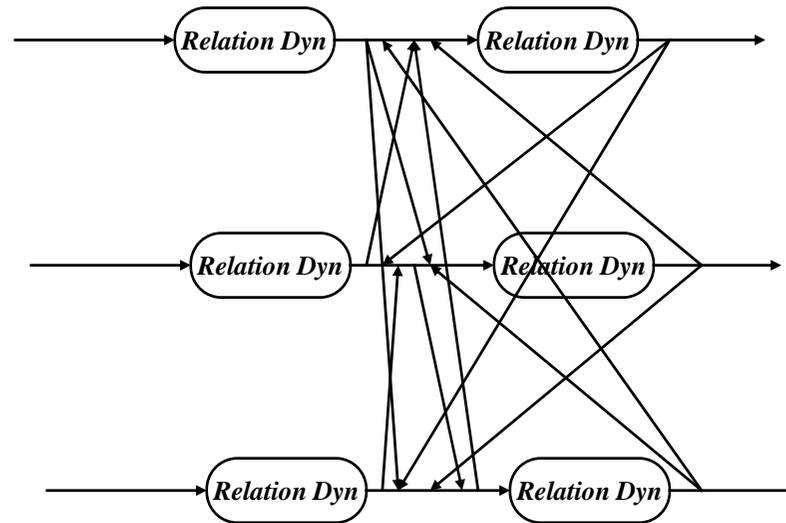


Très important :

Les sources d'écart entre le modèle construit et le modèle théorique proviennent principalement de la maîtrise de la connaissance des éléments suivants:

- ✓ Le rendement de la transmission (ce dernier peut également varier en fonction de la vitesse et de la lubrification et aussi de la température).
- ✓ Les frottements dans la transmission.
- ✓ La charge à déplacer (qui peut varier en fonction des besoins du client).
- ✓ L'amplificateur (gain et bande passante).
- ✓ Des forces externes provenant de sources diverses.

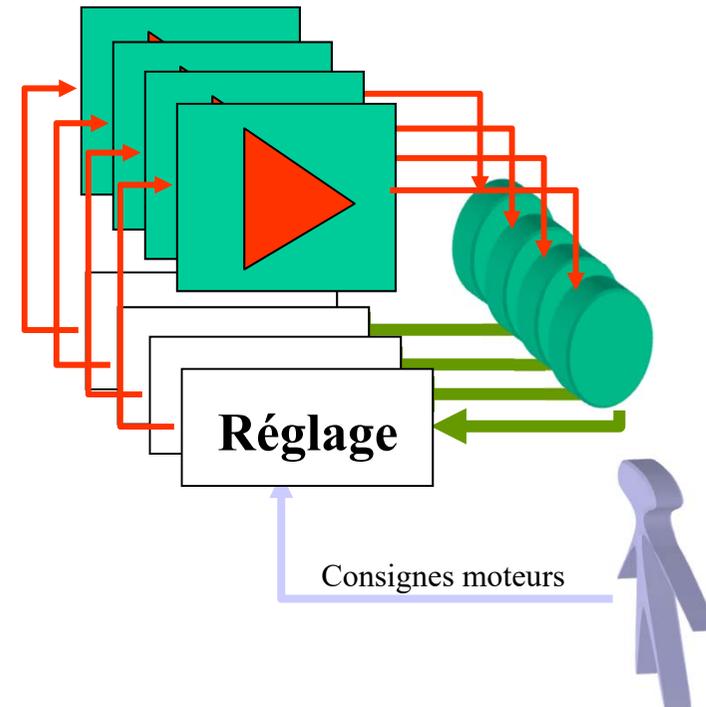
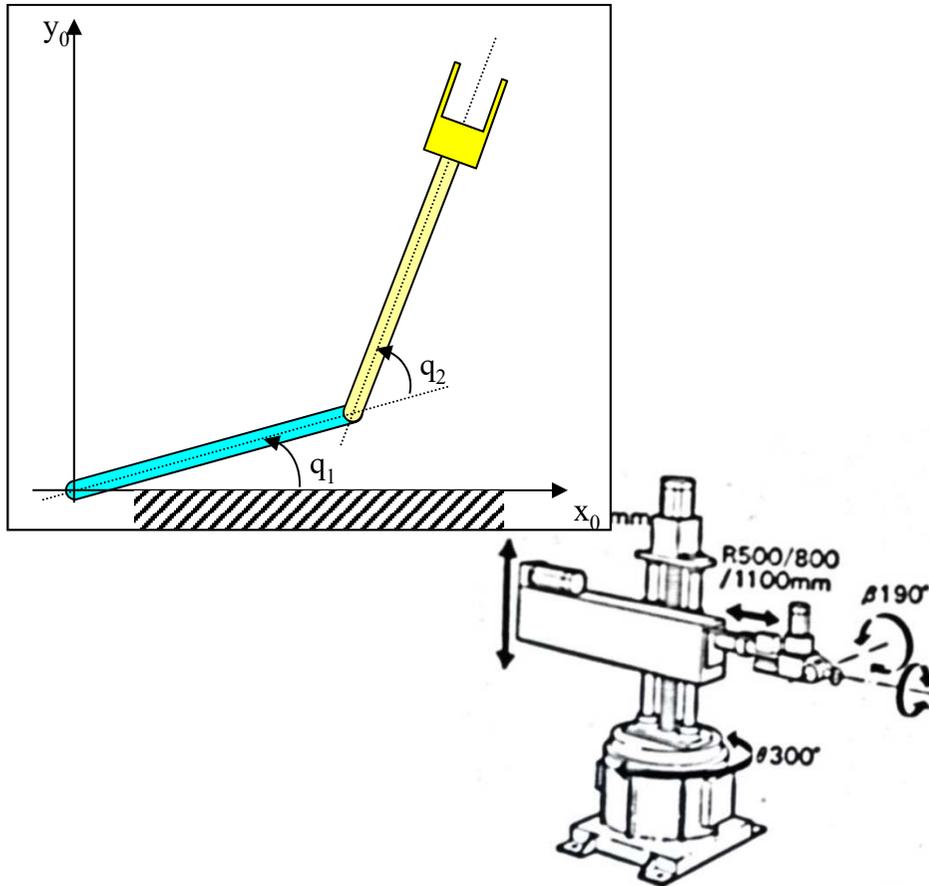
Les couplages



Première partie

Objectif Asservissement

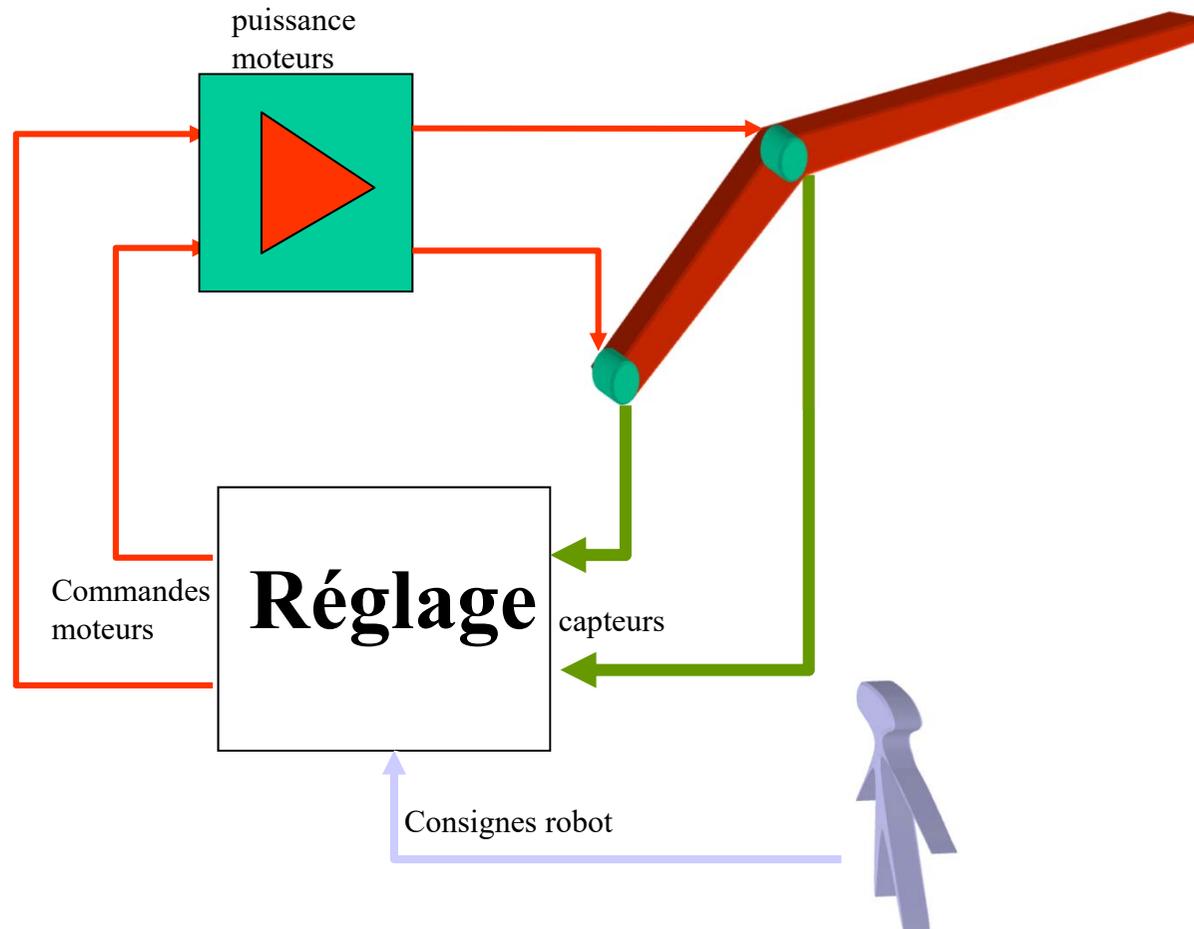
Rappel - Possibilité 1 -



- **Contrôle de plusieurs moteurs**
- **Commande décentralisée –**
- **Commande dans l'espace articulaire**

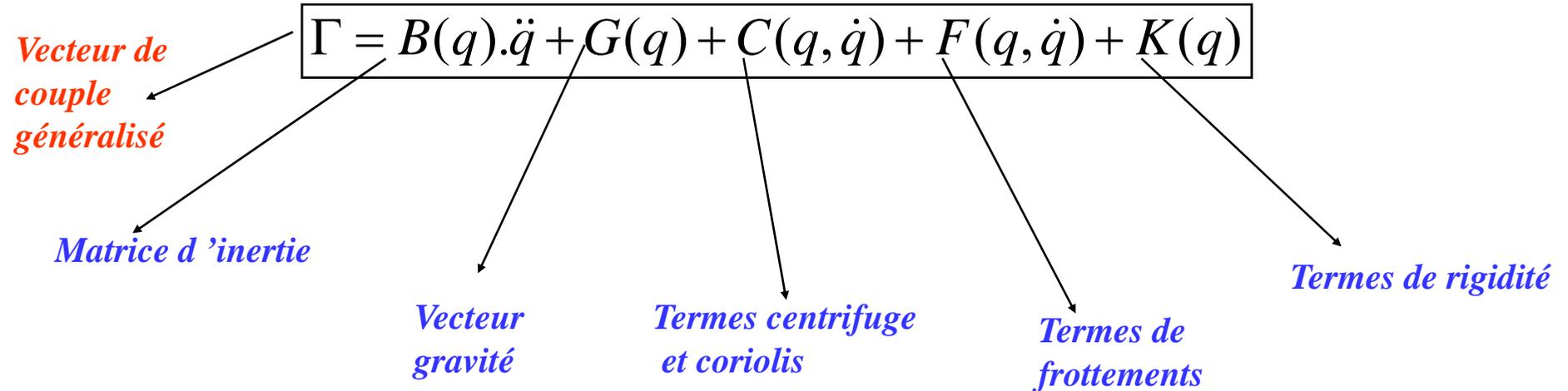
Objectif Asservissement

What Else – Faisons Mieux -



Contrôle d'un robot - prise en compte des couplages et/ou des non linéarités

Modèle dynamique de robot



Que nous mettons sous la forme :

$$\Gamma = B(q) \cdot \ddot{q} + H(q, \dot{q})$$

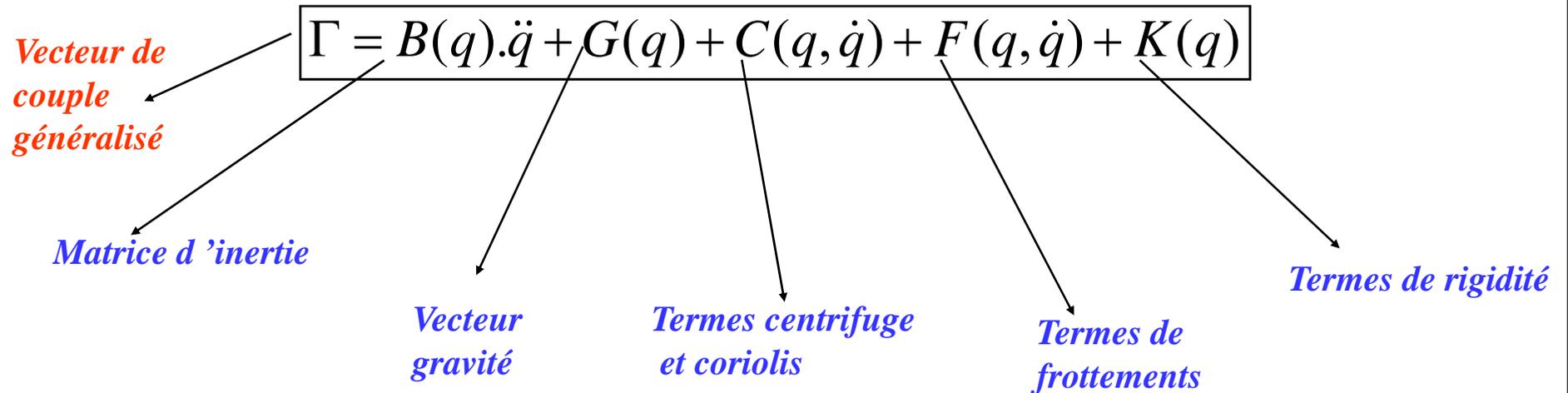
$$\ddot{q} = (B(q))^{-1} (\Gamma - H(q, \dot{q}))$$

Modèle dynamique du robot

$$\dot{x} = f(x) + g(x) \cdot u$$

Forme équations d'état

Modèle dynamique de robot



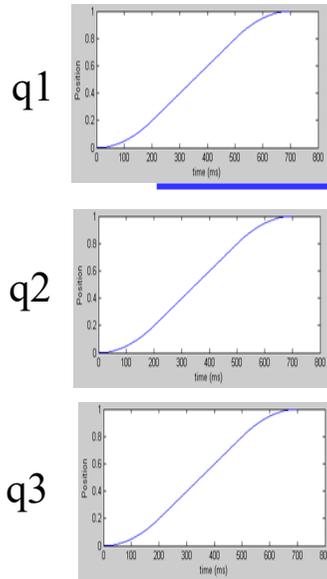
Que nous mettons sous la forme :

$$\Gamma = B(q) \cdot \ddot{q} + H(q, \dot{q})$$

commande a priori

Principe

Boucle ouverte



Trajectoires désirées

$$\Gamma = B(q).\ddot{q} + H(q, \dot{q})$$

*Modèle Inverse
du robot (??)*

Γ

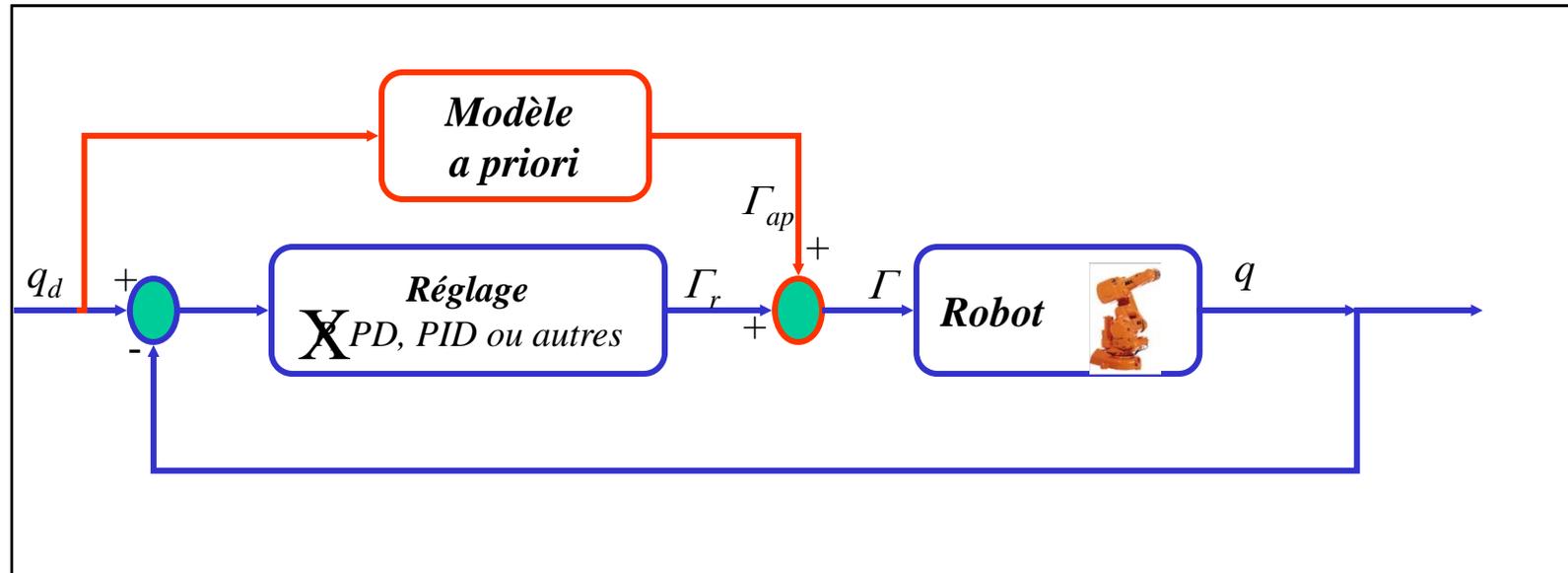
Robot



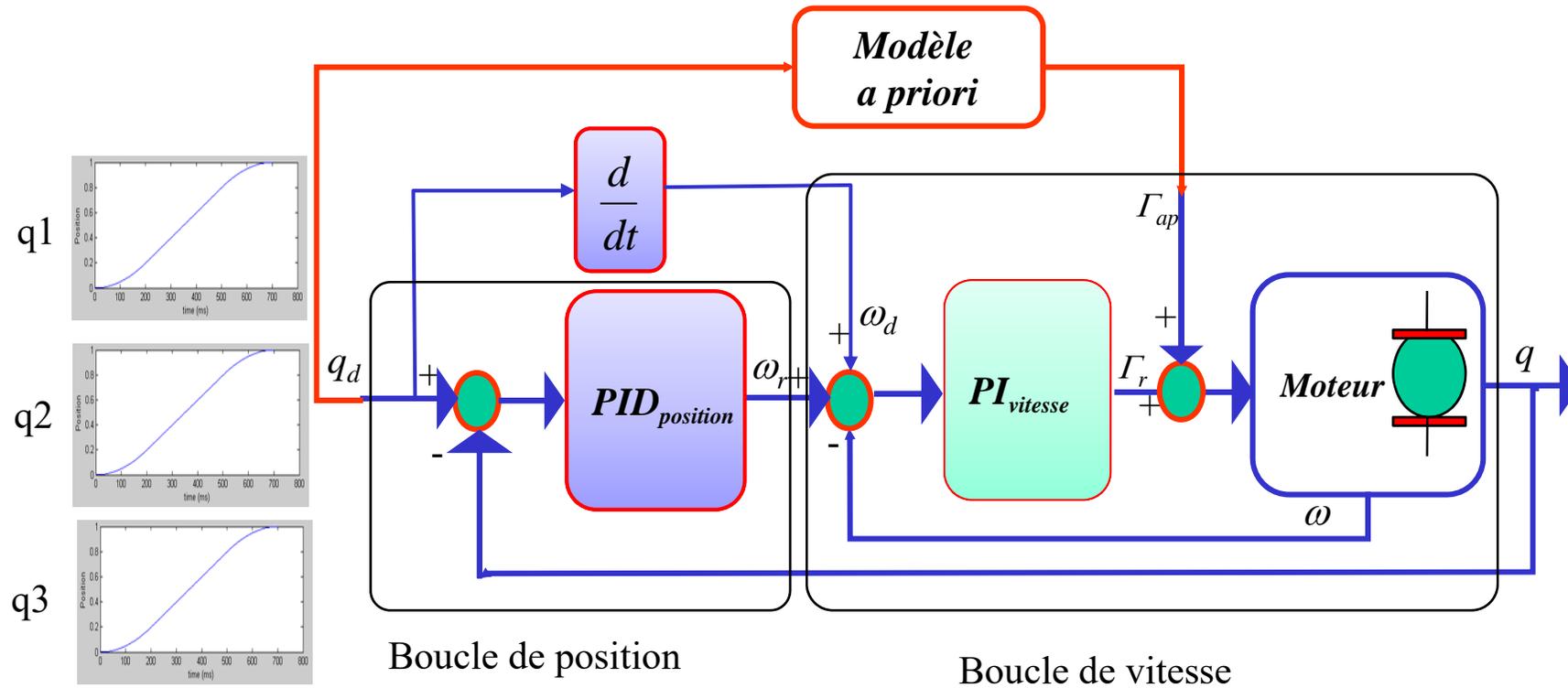
q

commande a priori

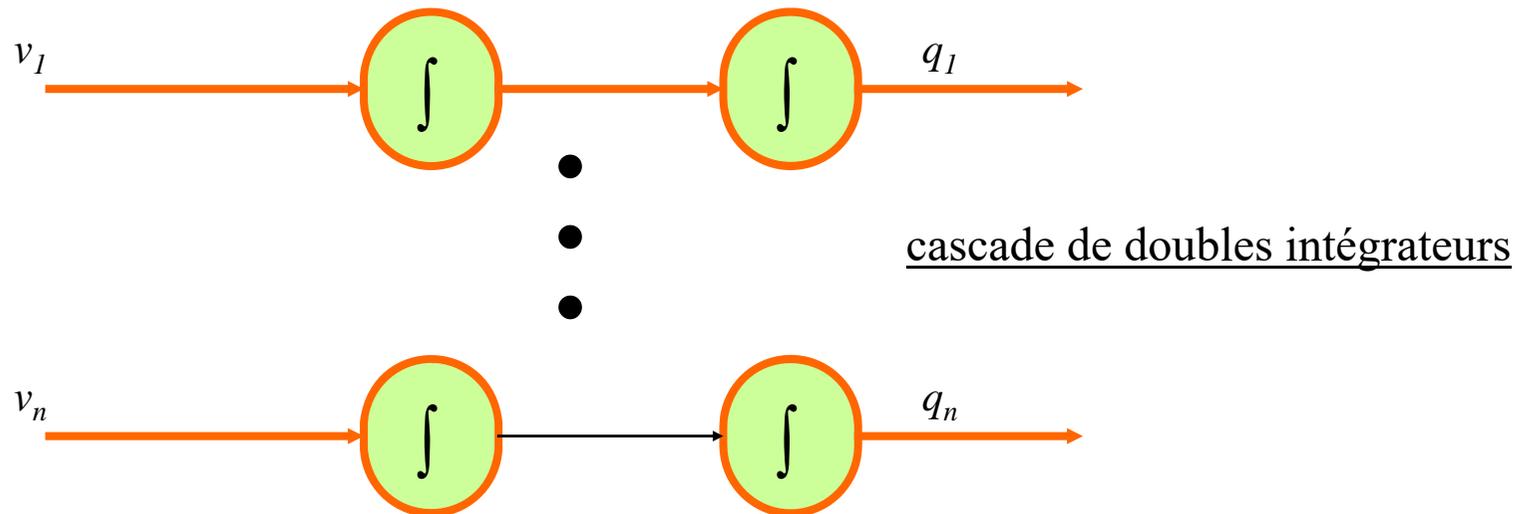
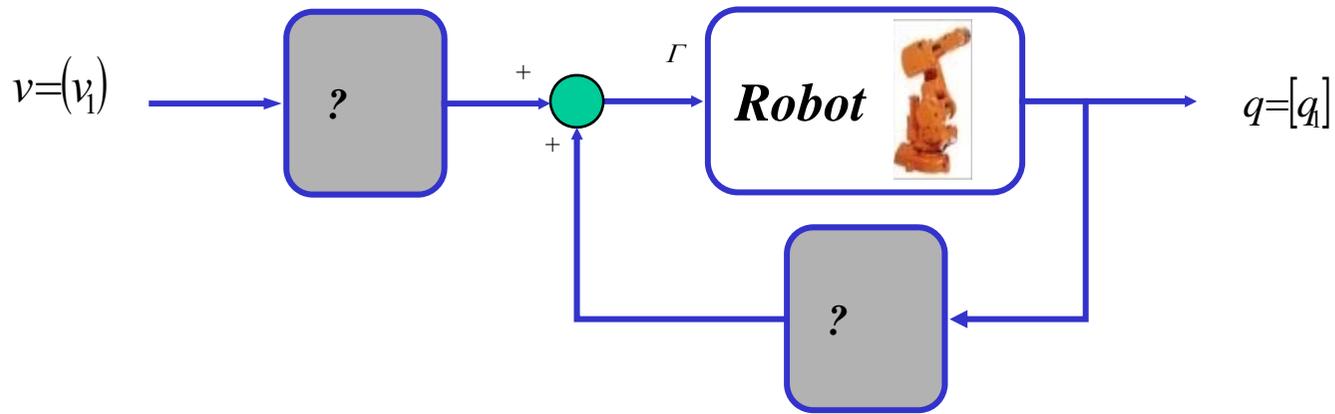
Régulateur décentralisé + A priori



Commande cascadee et a priori de couple

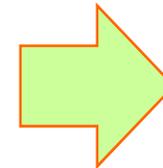
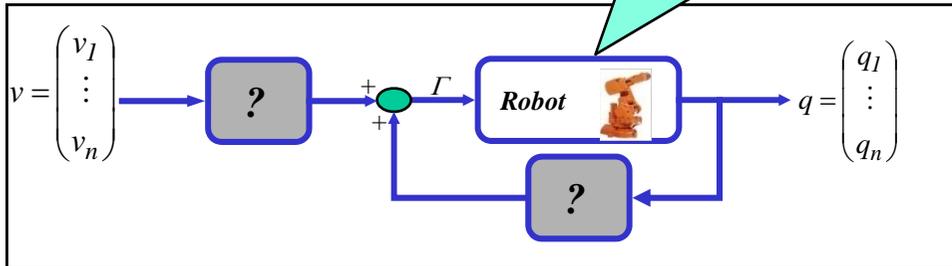


Commande par la compensation des non linéarités – (Non Linear Linearizing Control)

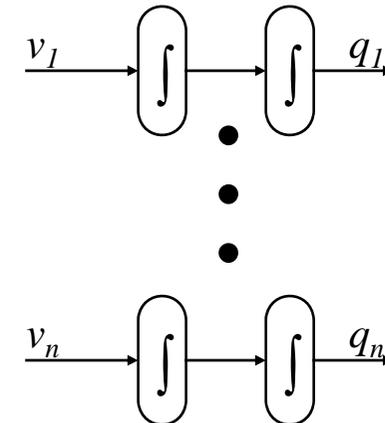


Commande par la compensation des non linéarités
 (Non Linear Linearizing Control)

$$\Gamma = B(q).\ddot{q} + H(q, \dot{q})$$



Objectifs



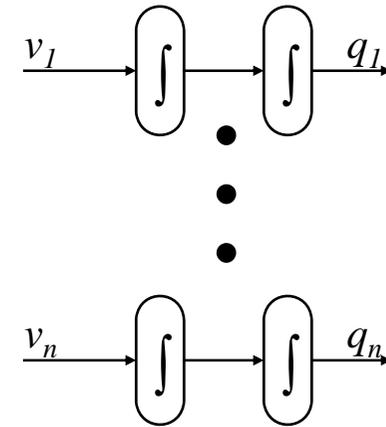
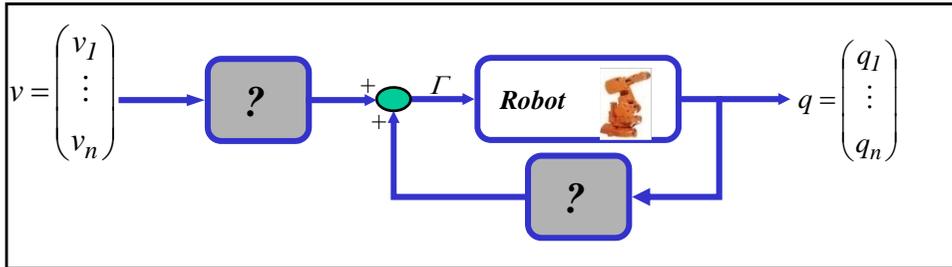
cascade de doubles intégrateurs

$$\ddot{q} = v$$

Observons la loi de contrôle

$$\Gamma = B(q).v + H(q, \dot{q})$$

commande par le couple calculé:
 (computed torque control)

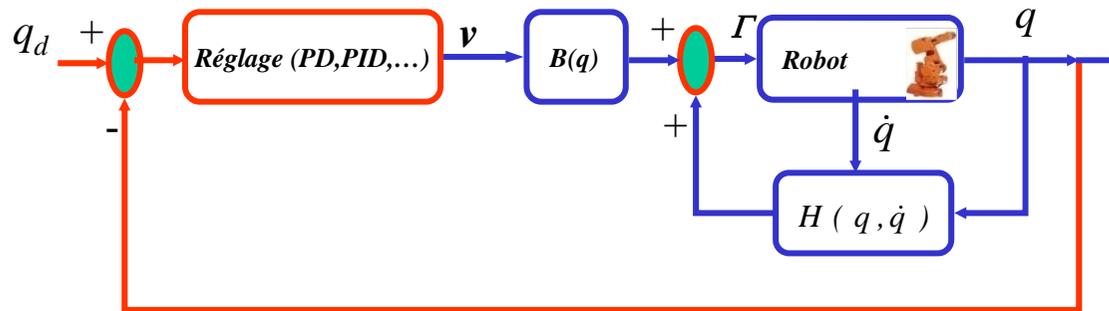


cascade de doubles intégrateurs

Il faut maintenant stabiliser les doubles intégrateurs par un bouclage :

- PD,
- PID,
- ou bouclage avancé (adaptatif, mode glissant, ...)

$$\Gamma = B(q).v + H(q, \dot{q})$$



commande par le couple calculé:

(computed torque control)

Principe

A partir du modèle non linéaire

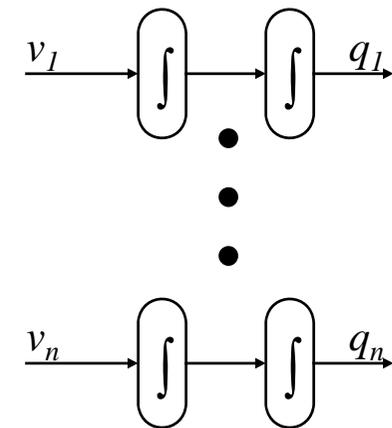
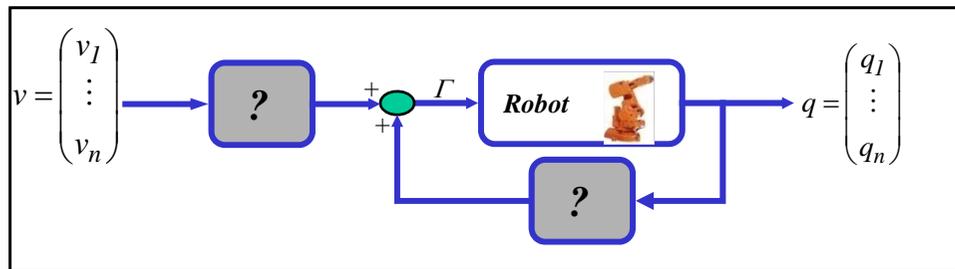
on boucle pour obtenir le modèle linéaire suivant

$$\ddot{q} = (B(q))^{-1} (\Gamma - H(q, \dot{q})) \Rightarrow \ddot{q} = v$$

Comment?

$$\underline{\Gamma = B(q).v + H(q, \dot{q})}$$

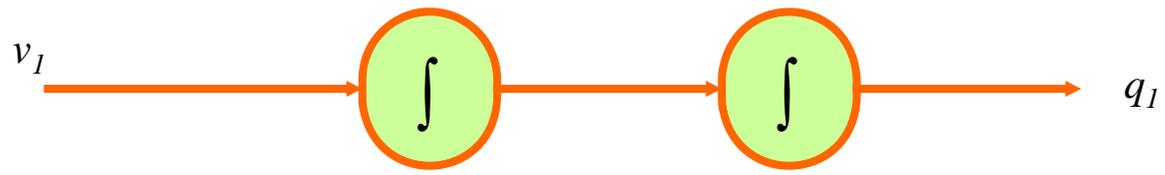
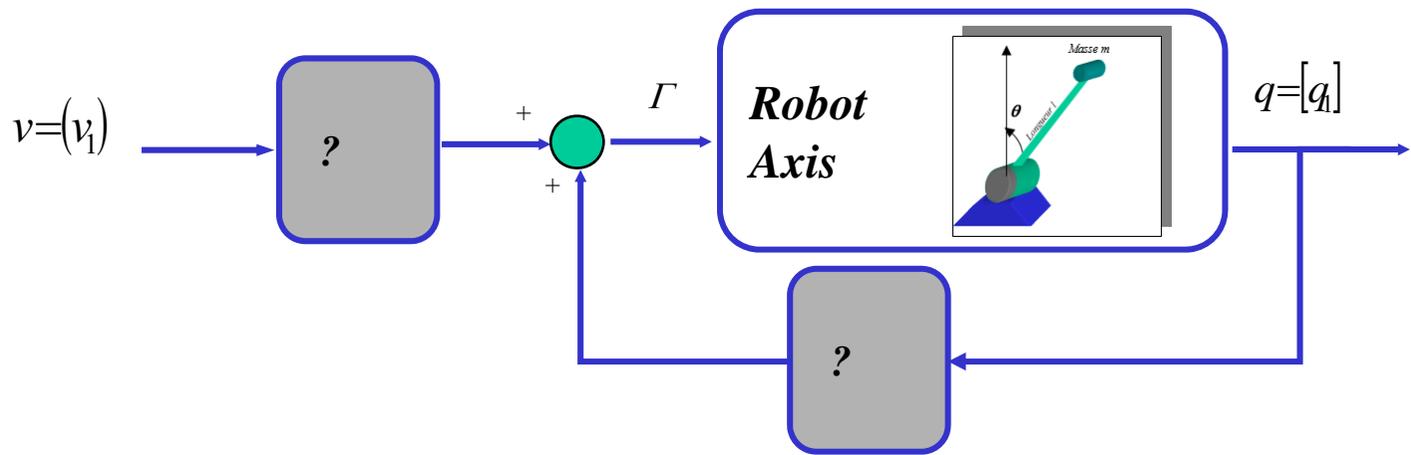
$$\Rightarrow \ddot{q} = (B(q))^{-1} (B(q).v + H(q, \dot{q}) - H(q, \dot{q})) = v$$



cascade de doubles intégrateurs

Commande par la compensation des non linéarités – (Non Linear Linearizing Control)

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{mgl}{J} \sin(x_1) - \frac{\alpha_{vis}^*}{J} x_2 + \frac{k_c}{J} \Gamma \end{aligned}$$

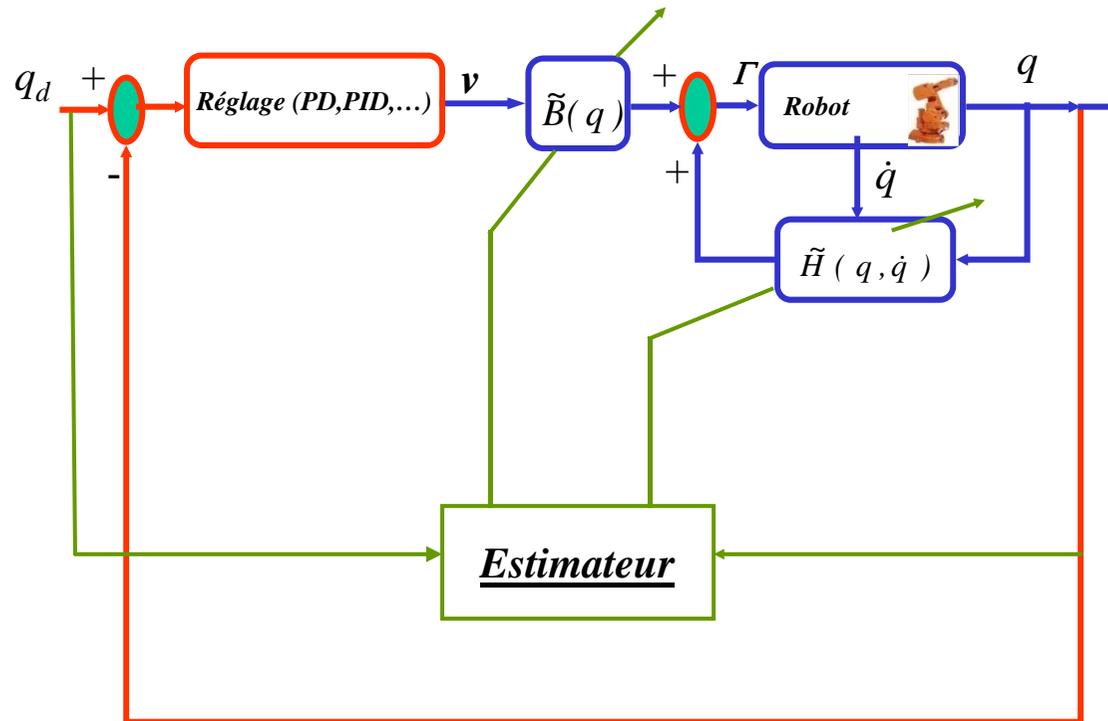


commande adaptative par le couple calculé:

(Adaptive computed torque control)

*Observons la loi
de contrôle*

$$\Gamma = \tilde{B}(q).v + \tilde{H}(q, \dot{q}) \quad \tilde{B}(q) \text{ et } \tilde{H}(q, \dot{q}) \text{ sont les termes estimés du modèle}$$

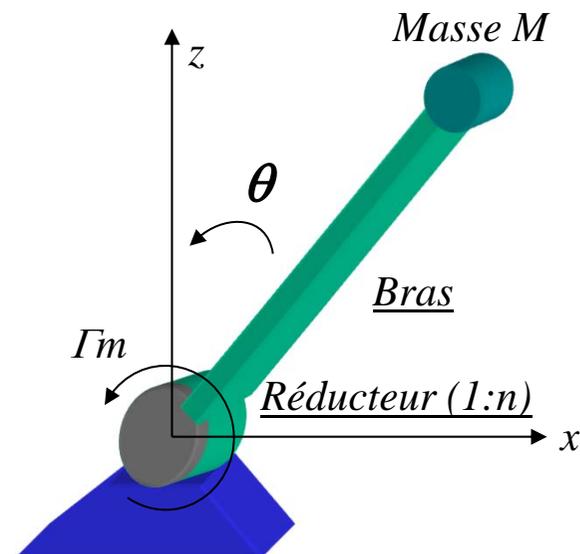


Après le système le plus simple du monde, voici le système le plus fréquent du monde.

J'espère que vous avez compris que **l'axe précédent n'est pas utopique** car il s'agissait d'un modèle d'axe à actionnement direct (ie. sans réducteur).

Cependant le modèle de l'axe rotatif le plus fréquent correspond à un axe rotatif avec un réducteur, un bras de robot et une charge au bout. Si nous ne considérons pas les couplages, tous les bras de robots peuvent être représentés par le modèle suivant.

- Un moteur d'inertie J_m
- Un réducteur de rapport n
- Un bras d'inertie J_b (inclus l'inertie du réducteur et de l'accouplement), de masse M_b et de longueur l
- Une charge M à l'extrémité du bras.
- Un coefficient de viscosité ramené à la charge k_{vis} .



Modèle dynamique écrit par rapport à la position de la charge:

$$\sum M = J_T \ddot{\theta} = n\Gamma_m - M_b g \frac{l}{2} \sin(\theta) - Mgl \sin(\theta) - k_{vis} \dot{\theta}$$

- $n\Gamma_m$ est le couple moteur ramené à la charge (c'est le couple d'actionnement de la charge que nous appellerons Γ_{act})
- J_T est le moment d'inertie total ramené à la charge. Il est exprimé comme suit:

$$J_T = J_b + n^2 J_m + Ml^2$$

Le modèle dynamique a priori est la valeur du couple moteur donné pour les trajectoires désirées. Commençons par inverser les équations en déduisons l'expressions du couple d'actionnement de la charge.

$$\Gamma_{act} = n\Gamma_m = J_T \ddot{\theta} + M_b g \frac{l}{2} \sin(\theta) + Mgl \sin(\theta) + k_{vis} \dot{\theta}$$

$$\Gamma_{act_ap} = n\Gamma_{m_ap} = J_T \ddot{\theta}_d + M_b g \frac{l}{2} \sin(\theta_d) + Mgl \sin(\theta_d) + k_{vis} \dot{\theta}_d$$

$$\Gamma_{m_ap} = \frac{1}{n} \left\{ J_T \ddot{\theta}_d + M_b g \frac{l}{2} \sin(\theta_d) + Mgl \sin(\theta_d) + k_{vis} \dot{\theta}_d \right\}$$

$$\Gamma_{act_ap} = n\Gamma_{m_ap} = J_T\ddot{\theta}_d + M_b g \frac{l}{2} \sin(\theta_d) + Mgl \sin(\theta_d) + k_{vis}\dot{\theta}_d$$

Est le couple dynamique a priori ramené à la charge. Peu être utile pour le dimensionnement des besoins liés à la charge avant d'avoir choisi le réducteur

$$\Gamma_{m_ap} = \frac{1}{n} \left\{ J_T\ddot{\theta}_d + M_b g \frac{l}{2} \sin(\theta_d) + Mgl \sin(\theta_d) + k_{vis}\dot{\theta}_d \right\}$$

Est le couple dynamique a priori ramené au moteur servira à évaluer les besoins du moteur et à la commande en a priori. Attention à prendre également en compte le rendement de la réduction si vous le connaissez !

Autre exemple traité en annexe jointe au cours.

Position Control by Examples

1 Device description

Consider the following device (Figure 1). It is a cable driven disc steered by a Brushless Maxon¹ DC motor. It is equipped with two incremental encoders for position measurement. The first one is on the motor shaft and the second one is on the output shaft.

The device parameters are considered as follows:

- M_D and J_D are respectively the Mass and the Inertia of the disc relative to its rotation center.
- r_g is the distance of the center of mass of the disc to its rotation center.
- I_m is the inertia of the motor.
- The gear ratio of the cable based transmission is 15.

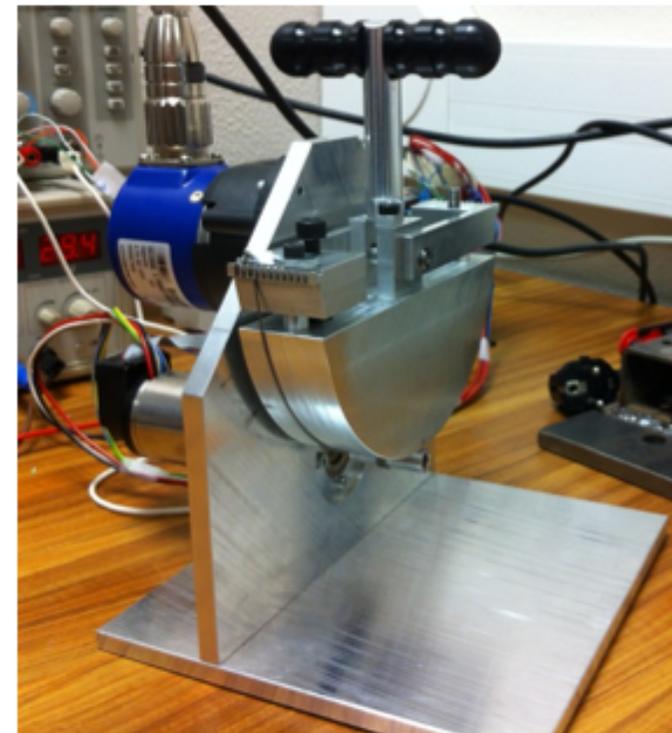
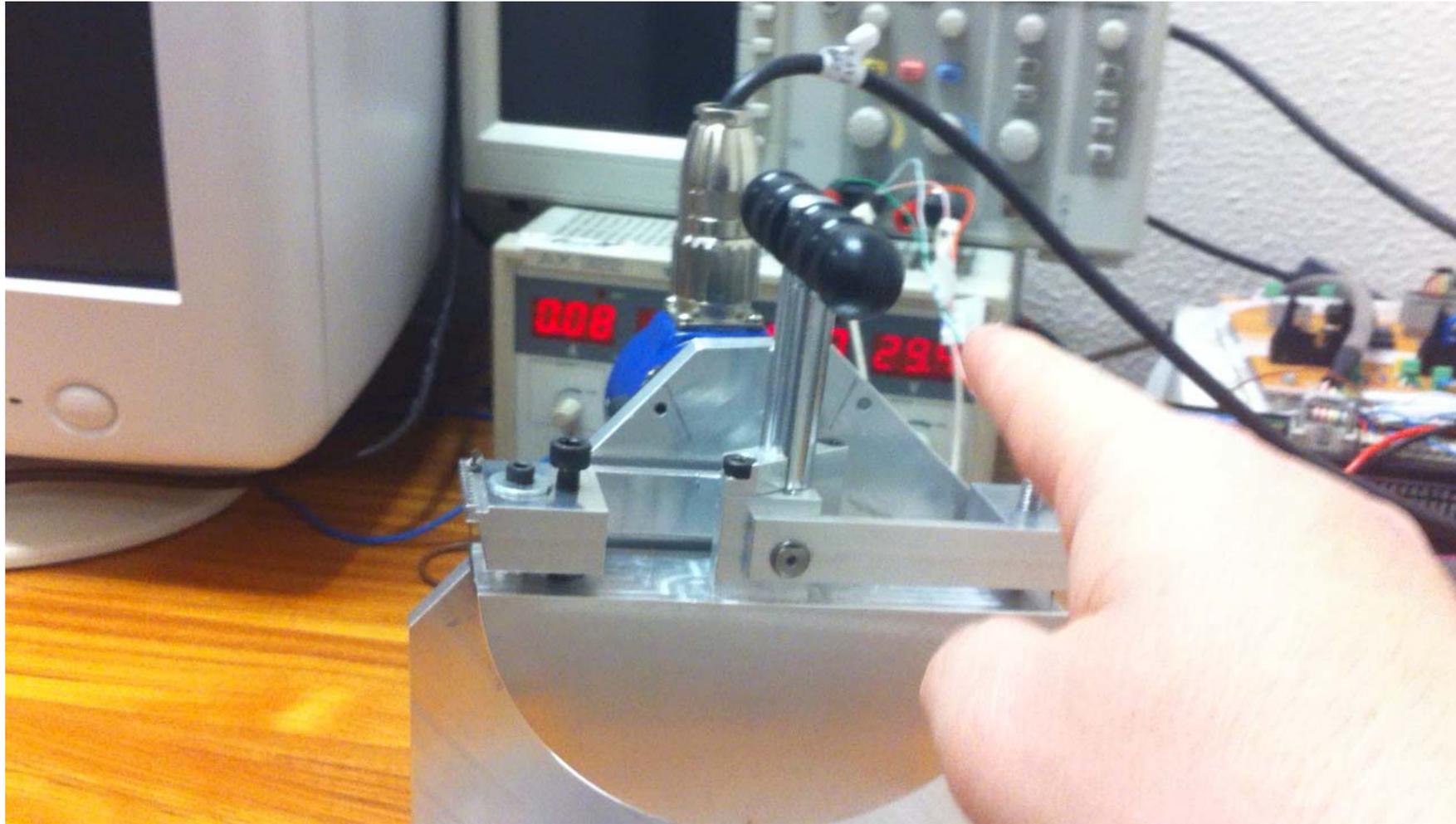


Figure 1-Haptic Device used for position control

Haptic Paddle with compensation of Dry and Viscous friction and Gravity



deuxième partie

génération de trajectoires

