Contrôle d'attitude des satellites

Automne 2025 – Politech' Sophia – MAM5

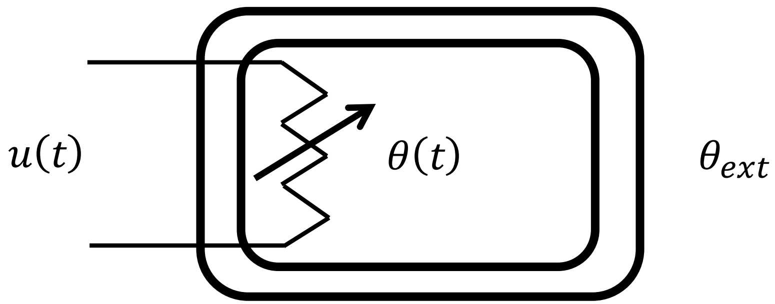
Partie 1b – Contrôle : exemple introductif

Damiana Losa – Thales Alenia Space

Exemple : contrôle de la température d'un four

- Equation de l'évolution de la température à l'intérieur d'un four

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = -K[\theta(t) - \theta_{ext}] + u$$

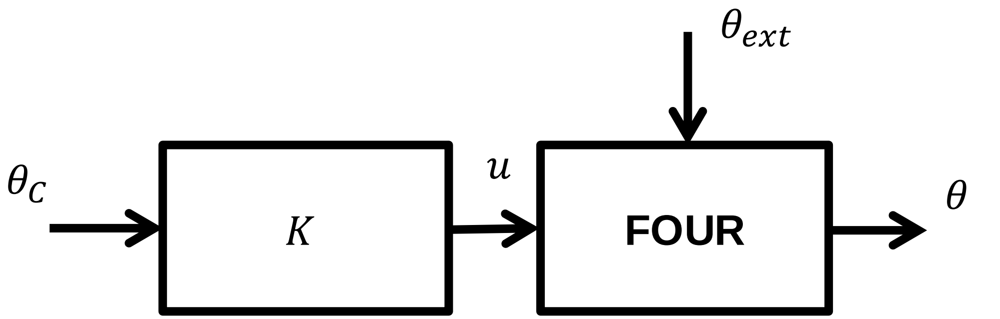


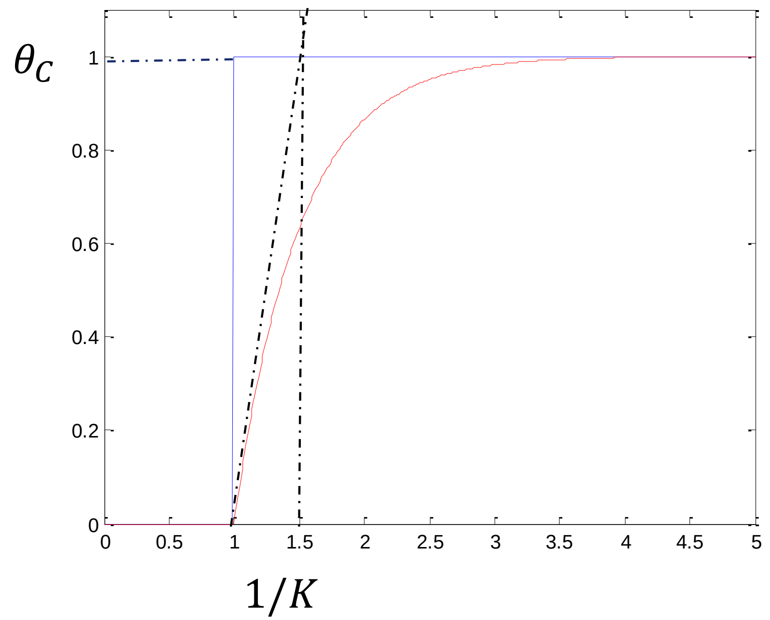
$u(t)$: action de chauffage (la commande du système);
$\theta(t)$: écart de température par rapport à une température de référence (20ºC par exemple);
θ_{ext} : écart de température externe par rapport à la température de référence

- **Objectif** : *réguler la température à une température de consigne constante* θ_C.
- Condition de « steady-state » avec température constante : $0 = -K[\theta(t) - \theta_{ext}] + u$.
- Si $\theta_{ext} = 0$, avec $u = K\theta_C$ on assure $\theta(t) = \theta_C$.

Contrôle avec commande en boucle ouverte (1/2)

- Si $\theta_{ext} = 0$, avec $u = K\theta_C$ on assure $\theta(t) = \theta_C$ ➔ **commande en boucle ouverte** car dépendant seulement de la consigne et pas de la sortie du système (l'évolution de température).





- Performances de la commande en boucle ouverte :

1. À $t = 0$, avec $\theta = 0$ et $\theta_{ext} = 0$, si on applique $u = K\theta_C$ on a $\theta(t) = \theta_C(1 - e^{-Kt})$ ➔ la montée en température ce fait avec une constante de temps $1/K$.
2. On ne peut rien faire pour rendre plus rapide la réponse en température.

Contrôle avec commande en boucle ouverte (2/2)

- Performances de la commande en boucle ouverte :

3. Si $\theta_{ext} \neq 0$, alors $\dot{\theta} = -K[\theta(t) - \theta_{ext}] + K\theta_C$ ➔ $\theta \rightarrow \theta_{ext} + \theta_C$

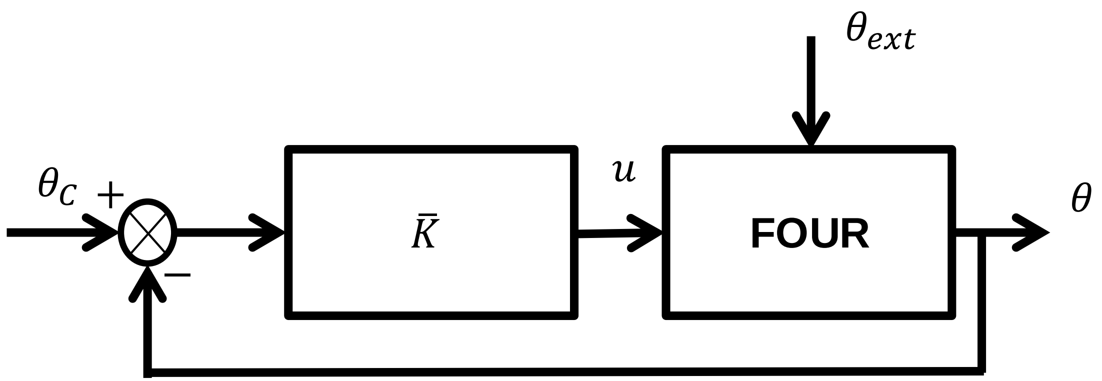
On assure plus l'objectif fixé!

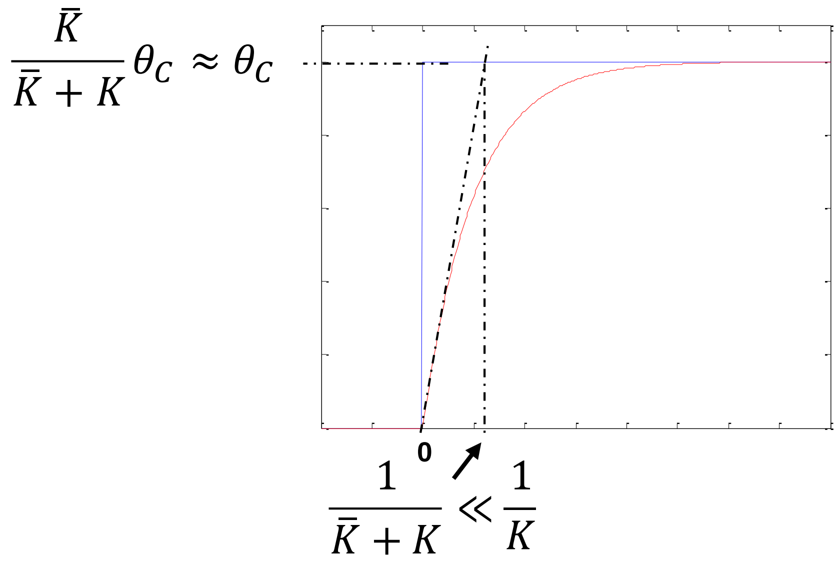
4. Si $\theta_{ext} = 0$ mais K devient K' ➔ $\dot{\theta} = -K'\theta + K\theta_C \rightarrow 0$ ➔ $\theta \rightarrow \frac{K}{K\prime}\theta_C$

On assure plus l'objectif fixé!

- **Conclusion:**
  - La commande en boucle ouverte est très sensible
    - Aux perturbations;
    - Aux variations de paramètres.
  - Elle ne permet pas d'agir sur la dynamique du système : à éviter si possible !

Contrôle avec commande en boucle fermée (1/2)





- Si $u = \bar{K}(\theta_C - \theta\,)$ avec $\bar{K} \gg K$ ➔

$$\dot{\theta} = -K[\theta(t) - \theta_{ext}] + \bar{K}(\theta_C - \theta\,)$$

$$\dot{\theta} = -(K + \bar{K})\theta + \bar{K}\theta_C + K\theta_{ext}$$

- Performance e la commande en boucle fermée:

1. Si $\theta_{ext} = 0$ alors $\theta(t) = \frac{\bar{K}}{\bar{K}+K}\theta_C\left(1 - e^{-(\bar{K}+K)t}\right)$ ➔ la dynamique est plus rapide et $\theta \approx \theta_C$ en régime permanent (« steady state »).

Contrôle avec commande en boucle fermée (2/2)

2. Si $\theta_{ext} \neq 0$ alors $\theta \to \frac{\overline{K}}{\overline{K}+K}\theta_C + \frac{K}{\overline{K}+K}\theta_{ext}$ ➔ réduction de l'influence de θ_{ext}, en régime permanent $\theta \approx \theta_C$.

3. Si K devient K' ➔ $\theta \to \frac{\overline{K}}{\overline{K}+K'}\theta_C + \frac{K'}{\overline{K}+K'}\theta_{ext}$ et il y a peu d'influence au changement des paramètres.

- **Conclusion:**
  - La commande en boucle fermée est beaucoup moins sensible
    - Aux perturbations;
    - Aux variations de paramètres.
  - Elle permet d'agir sur la dynamique du système : à utiliser plutôt que la boucle ouverte si possible !
  - Attention :
    - La valeur de $\overline{K}$ ne peut pas être arbitrairement grande : une étude mathématique est nécessaire.
    - Pour étudier un système en boucle fermée, on étudie les transmittances (grâce au transformées de Laplace) : c'est une simplification mathématique.