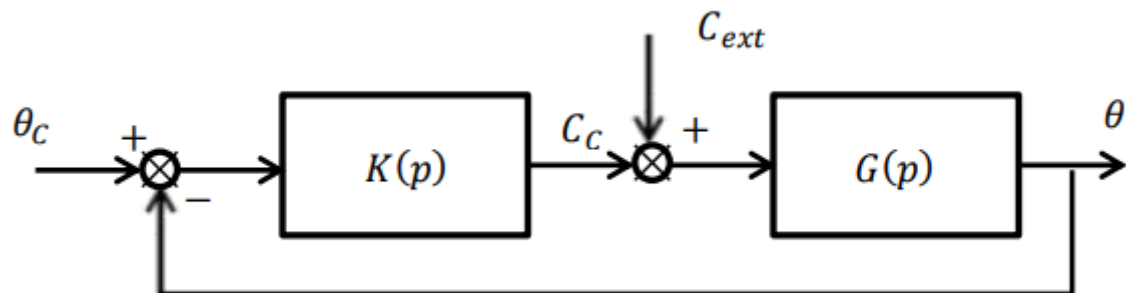


**Système en boucle fermée : fonctions de transfert**

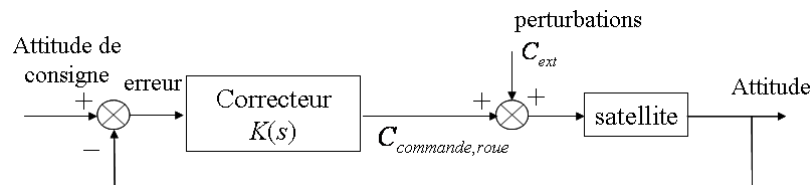


1. Écrire la fonction de transfert entre le couple externe  $C_{ext}$  de perturbation et l'angle d'attitude  $\theta$  (sortie du système).
2. Écrire la fonction de transfert entre le couple de contrôle  $C_c$  et l'angle d'attitude  $\theta$  (sortie du système).
3. Écrire la fonction de transfert entre la valeur de consigne de l'angle d'attitude  $\theta_c$  et la valeur réelle de l'angle d'attitude.
4. Écrire la fonction de transfert d'un contrôleur avec action proportionnelle, intégrale et dérivative (PID).

## Loi de contrôle de l'attitude : le PID

On considère un satellite placé sur une orbite circulaire à 800km d'altitude, et dont les inerties principales sont  $I_x = 420\text{kg.m}^2$ ,  $I_y = 200\text{kg.m}^2$ ,  $I_z = 615\text{kg.m}^2$ . Le contrôle d'attitude est de type stabilisé trois axes. On suppose que les hypothèses permettant de découpler la dynamique du satellite axe par axe sont satisfaites. On étudie la stabilisation de l'axe Y du satellite.

On considère la boucle de contrôle représentée sur la figure ci-dessous.



1. Écrire la **fonction de transfert** de la dynamique de l'axe Y du satellite (entrée couple, sortie position angulaire) sous les deux hypothèses suivantes

- La fonction de transfert du capteur égale à 1 ;
- La fonction de transfert du capteur à un pôle en  $-a = -1 \text{ rad/sec}$  ( $a =$  constante de temps du capteur).

2. La dynamique du satellite est-elle stable si elle n'est pas contrôlée ? Que se passe-t-il si elle est soumise à une perturbation constante selon l'axe Y d'amplitude 1 Nm ?

### 3. Correcteur Proportionnel :

On suppose que le contrôleur est un simple gain constant  $K(s) = K_1 > 0$ .

3.a. Écrire la fonction de transfert de la boucle fermée entre l'entrée « consigne » et la sortie « attitude mesurée » (attitude en sortie du capteur).

3.b. Le système bouclé est-il stable ? Quelle est l'allure de l'attitude en réponse à une consigne impulsionnelle ?

### 4. Correcteur Proportionnel/Dérivée :

On suppose que le contrôleur a la fonction de transfert suivante :  $K(s) = K_1 + K_2 \cdot s$  ( $K_2 > 0$ )

4.a. Écrire la fonction de transfert de la boucle fermée entre l'entrée « consigne » et la sortie « attitude ».

4.b. Le système bouclé est-il stable ?

4.c. On souhaite que le système bouclé réponde comme une fonction de transfert du second ordre de pulsation  $\omega$  et d'amortissement  $\xi$ . Comment les gains du contrôleur  $K_1$  et  $K_2$  doivent-ils être choisis pour placer les pôles du système en boucle fermée ?

4.d. Quelle est l'allure de l'attitude en réponse à une consigne impulsionnelle ?

4.e. À l'aide du théorème de la valeur finale, calculer l'erreur d'attitude vis-à-vis d'un échelon de consigne.

4.f. À l'aide du théorème de la valeur finale, calculer l'erreur d'attitude vis-à-vis d'un échelon de perturbation. Proposer une solution permettant d'annuler cette erreur.

**Note :** Théorème de la valeur finale :  $\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \varepsilon(s)$