

Centre d'intérêt 3
Asservissements
Précision

PSI-MP : Lycée Rabelais

 **Pré-requis**

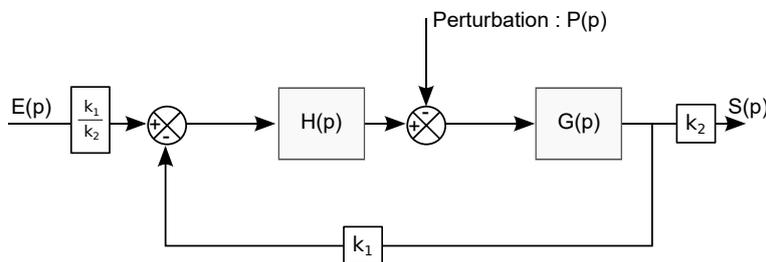
- ~~~~ Cours de première année (et rappels) sur les asservissements
- ~~~~ Cours sur la stabilité des systèmes asservis
- ~~~~ Cours sur la précision des systèmes asservis

 **Objectifs**

- ~~~~ Savoir analyser les performances d'un système asservi (précision notamment)

1 Application directe du cours

On considère un système bouclé dont le schéma-bloc est représenté ci-dessous :



On note : $E(t) = E_0 u(t)$ et $P(t) = P_0 u(t)$ (u est la fonction échelon unitaire). Pour chacun des couples de fonction de transfert donnés ci-dessous, on demande de déterminer l'erreur en régime permanent.

1) $H(p) = \frac{6}{p(p+2)}$ et $G(p) = \frac{12}{3p^2 + 6p + 9}$

2) $H(p) = \frac{6}{p+2}$ et $G(p) = \frac{12}{p(3p^2 + 6p + 9)}$

3) $H(p) = \frac{6}{p+2}$ et $G(p) = \frac{12}{3p^2 + 6p + 9}$

2 Production électrique et régulation du réseau français ★★

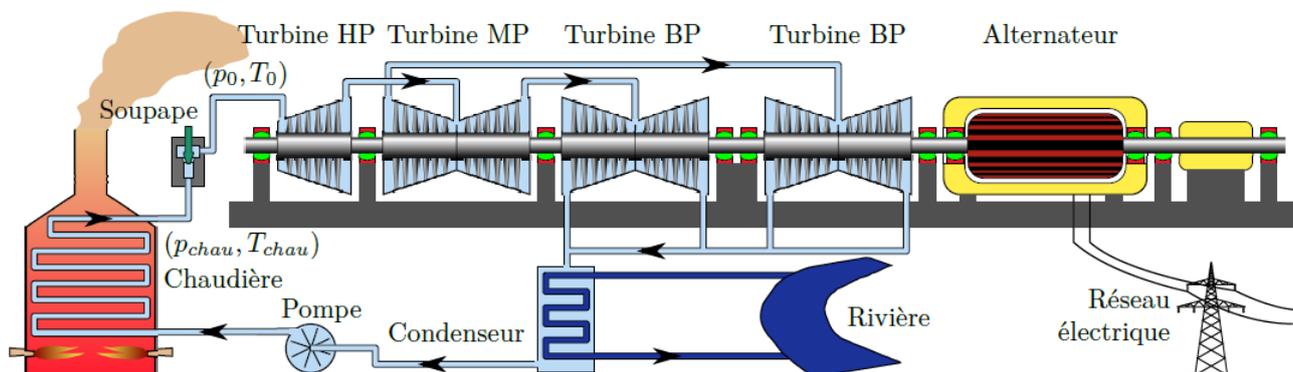
Le réseau électrique européen est constitué de sites producteurs et de sites consommateurs, reliés par un maillage de lignes électriques. La France compte chaque jour une centaine de sites de production en activité, exploitant différentes

sources d'énergie primaire : le thermique nucléaire (76%), le thermique à flamme (le charbon, le gaz, le pétrole, soit 10,5%) et les énergies renouvelables (l'hydraulique, l'éolien et le solaire, soit 13,5%).

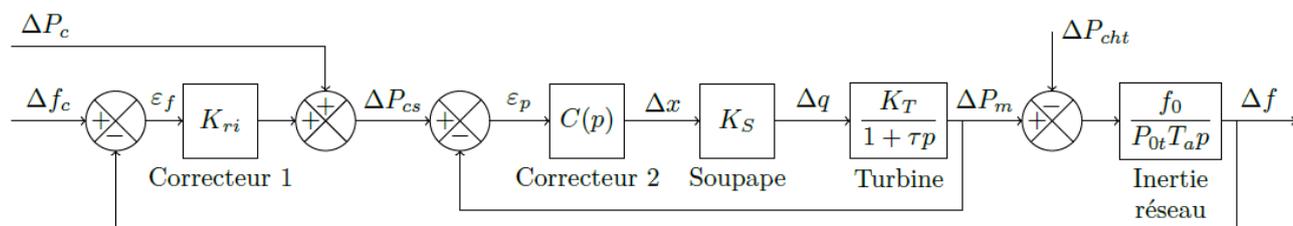
Pour la majeure partie de la production, l'énergie primaire est d'abord convertie en énergie mécanique de rotation, puis convertie en énergie électrique par un alternateur. La synchronisation de l'ensemble des éléments producteurs à la fréquence du réseau permet de les considérer comme cinématiquement liés : l'ensemble des alternateurs de tous les sites de production ont exactement la même vitesse de rotation, qui correspond à la fréquence du réseau. Le réseau peut donc être modélisé par un seul arbre en rotation à la fréquence f , supportant tous les alternateurs.

La régulation primaire permet d'adapter instantanément la production à la consommation, moyennant une petite variation de la fréquence. Une partie seulement des sites de production participe à la régulation primaire, correspondant à 10% de la production totale. Il n'y a pas de moyen direct de mesurer la consommation. Lorsqu'une augmentation de la charge se produit, la fréquence sur le réseau va diminuer. Chaque site « réglant » mesure cette variation de fréquence et ajuste sa production en quelques dizaines de secondes. Après stabilisation de la fréquence, il restera néanmoins un écart avec la fréquence nominale, proportionnel à l'écart entre la consigne de production nationale et la consommation nationale. Il s'agit du *statisme* du réseau.

La majeure partie de l'énergie électrique produite étant d'origine thermique, le site de production envisagé dans cette étude est une centrale thermique à flamme (figure ci-dessous) produisant en régime nominal 260 MW. Une chaudière à charbon dégage la chaleur utilisée pour produire de la vapeur. Des turbines à vapeur assurent la détente du cycle thermodynamique, et produisent l'énergie mécanique. Un alternateur lié à l'arbre des turbines convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.



On s'intéresse à la régulation de la turbine à vapeur connectée au réseau électrique, dont un modèle de régulation est indiqué sur le schéma bloc ci-dessous.



Les notations suivantes sont utilisées dans le schéma bloc, le symbole Δ représentant la variation de la variable après linéarisation au voisinage du point de fonctionnement :

- P_c : consigne de puissance ;
- f_c : consigne de fréquence ;
- x : ouverture de la soupape ;

- q : débit massique de vapeur ;
- P_m : puissance effectivement produite par la machine ;
- P_{cht} : puissance consommée par la charge, c'est-à-dire par les clients sur le réseau ;
- f : fréquence effective sur le réseau.

La consigne de puissance P_c est supposée établie à une valeur nominale $P_{0t} = 260$ MW, mais peut subir des petites variations ΔP_c autour de P_{0t} de la part de la centrale de commande lorsque la consommation diffère des prévisions. De même, la puissance effectivement produite par la turbine et la puissance consommée par la charge (par les clients) seront voisines de P_{0t} mais fluctuent en permanence.

La fréquence effective sur le réseau est voisine de $f_0 = 50$ Hz, mais évolue au gré des petites différences entre production et consommation.

Un extrait du cahier des charges est donné ci-dessous :

Fonction de service	Critère	Niveau
Réguler la puissance produite	Stabilité	Stable
	Précision	Erreur nulle en réponse à un échelon de puissance
Participer à la régulation de fréquence	Stabilité	$MG > 10$ dB et $M\varphi > 20^\circ$
	Précision	Erreur nulle en réponse à un échelon de fréquence
	Rapidité	Temps de réponse à un échelon : $t_{r5\%} = 40$ s
	Sensibilité aux perturbations de charge	Sensible aux perturbations constantes, de façon à respecter un <i>statisme</i> de 4%

Données : $K_S = 2,5 \cdot 10^2 \text{ kg.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, $K_T = 1,34 \cdot 10^6 \text{ W.s.kg}^{-1}$, $f_0 = 50 \text{ Hz}$, $P_{0t} = 260 \text{ MW}$, $T_a = 10 \text{ s}$ et $\tau = 6 \text{ s}$.

On admet que la fonction de transfert $HP(p) = \frac{\Delta P_m(p)}{\Delta P_{cs}(p)}$ s'écrit sous la forme $HP(p) = \frac{T_I p + 1}{T_I \tau p^2 + 2T_I p + 1}$. On prendra $T_I = 20 \text{ s}$.

Question 1-2-3 : Calculer l'erreur statique totale, c'est-à-dire $\Delta f_{tot} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta f_c(t) - \Delta f(t)$ pour une entrée $\Delta f_c(t)$ en échelon d'amplitude Δf_c^0 et les deux perturbations $\Delta P_c(t)$ et $\Delta P_{cht}(t)$ en échelon d'amplitude ΔP_c^0 et ΔP_{cht}^0 .

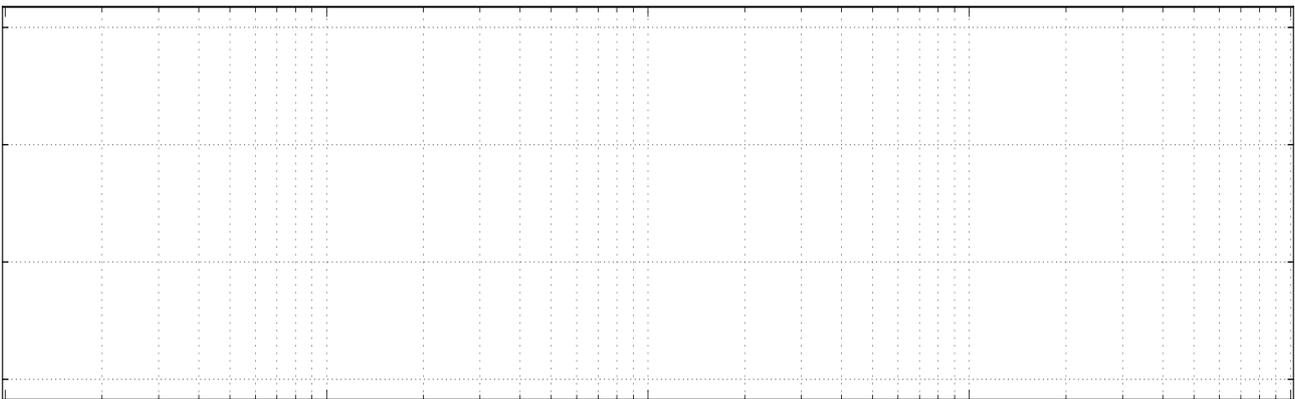
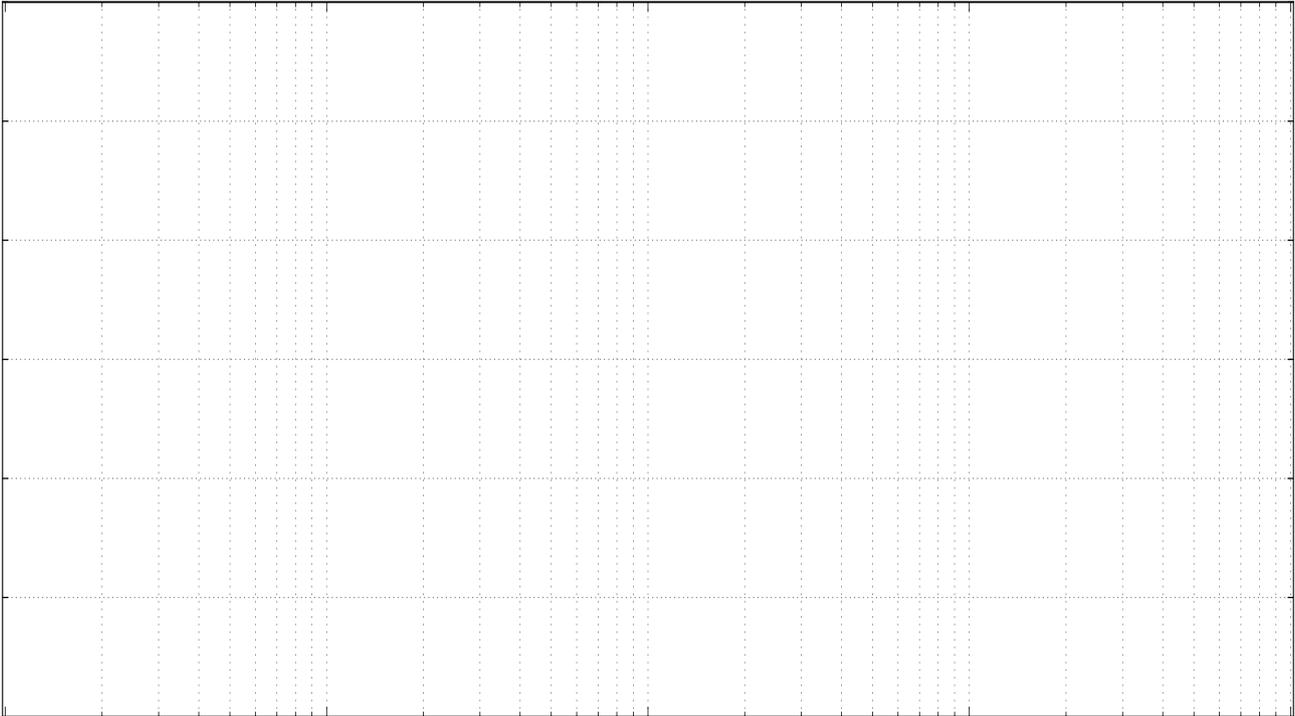
Pour avoir un réseau stable, on souhaite une entrée Δf_c nulle. Il faut également permettre aux multiples centrales de production d'accorder leurs régulations, on impose à chaque unité un *statisme* de 4%, c'est-à-dire qu'à convergence, pour des perturbations et consignes constantes, la fréquence doit diminuer proportionnellement à l'écart entre la charge et la consigne de production : $\frac{\Delta f_{tot}}{f_0} = \lambda \frac{\Delta P_c^0 - \Delta P_{cht}^0}{P_{0t}}$ où $\lambda = 0,04$.

Question 4 : Déterminer l'expression littérale et numérique de K_{ri} permettant de vérifier le critère de *statisme* du cahier des charges.

Question 5 : Tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte pour la valeur de K_{ri} obtenue sur le papier semi-log donné ci-dessous. Analyser la stabilité de la régulation proposée.

Question 5 bis : Même question en s'aidant de la calculatrice et sans utiliser les diagrammes de Bode.

Question 6 : Que se passe-t-il si l'on utilise un correcteur proportionnel intégral de la forme $C(p) = \frac{K_{ri}}{p}$ pour le correcteur 1 ? Pourquoi ne pas utiliser cette solution ?



3 Asservissement d'un chariot pour le stockage de rivets ★★

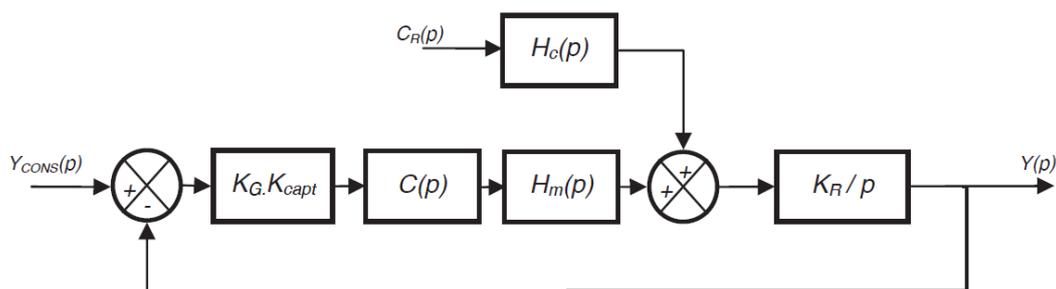
On souhaite asservir la position d'un chariot contenant des rivets. Ces derniers sont utilisés par un robot pour l'assemblage des différents tronçons d'un avion FALCON. Ce chariot est mis en mouvement par un mécanisme poulies-courroie.

Une buse d'aspiration permet de sélectionner les rivets. Elle doit donc être placée parfaitement en face du chariot. Le fabricant du système poulie-courroie stipule que son système présente une erreur résiduelle de +/- 0,25 mm due notamment à l'élasticité de la courroie. Par conséquent, un asservissement est nécessaire.

De plus, afin de ne pas perdre de temps lors de la production, le temps maximal de déplacement lors de la sélection est imposé à une seconde.

Exigence	Critères	Niveaux
Déplacer le chariot	Stabilité <ul style="list-style-type: none"> Marge de gain Marge de phase 	$M_G = 6 \text{ dB mini}$ $M_\varphi = 45^\circ \text{ mini}$
	Précision <ul style="list-style-type: none"> Erreur statique ϵ_s par rapport à une consigne de vitesse constante. 	nulle
	Rapidité <ul style="list-style-type: none"> Temps de réponse à 5 % en réponse à une consigne échelon. 	$Tr_{5\%} = 0,1 \text{ s maxi}$

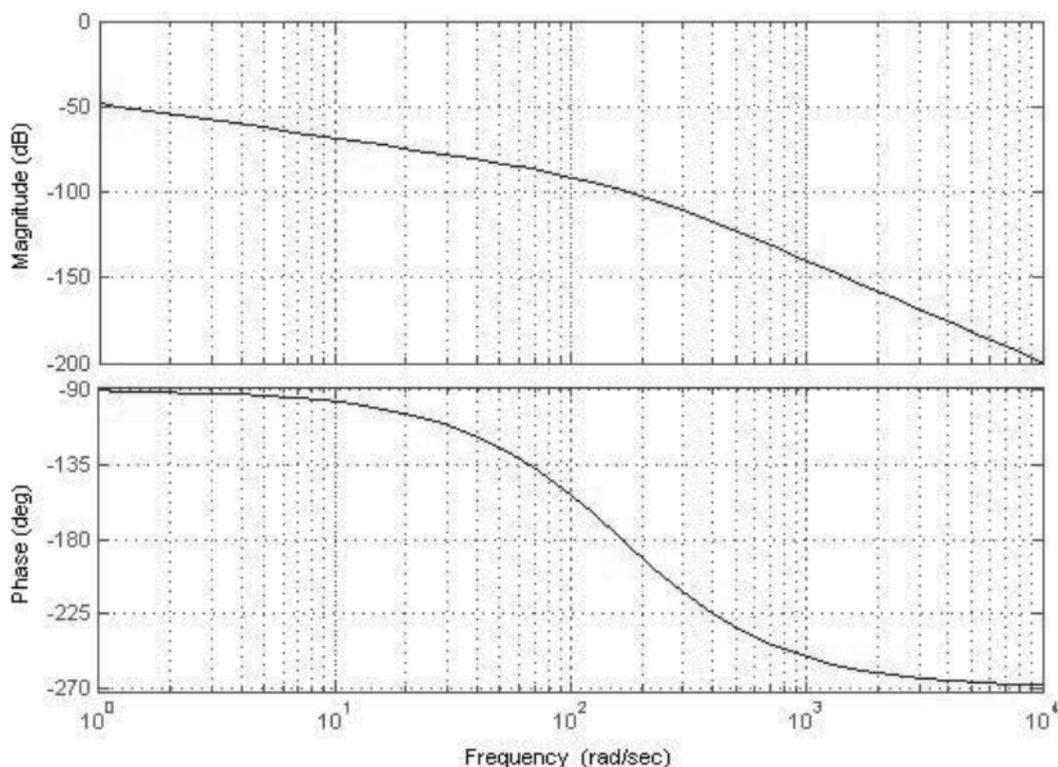
Afin de faciliter les calculs, un schéma-blocs simplifié de l'asservissement est donné ci-dessous. Le couple résistant C_R dû à l'action de pesanteur est supposé constant.



Avec :

$$H_m(p) = \frac{K_m}{(1 + T_{EP}p)(1 + T_{MP}p)} \quad H_C(p) = \frac{(R + Lp) \cdot K}{(1 + T_{EP}p)(1 + T_{MP}p)} \quad C_R(p) = \frac{C_0}{p}$$

Le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte non-correctée $H_{BO}^{NC}(p)$ est donné ci-dessous. Le tracé est donc donné pour $C(p) = 1$.



Question 1. Les marges de stabilités sont-elles respectées ? Justifier la réponse.

Le couple résistant est un couple constant C_0 qui traduit l'action mécanique de pesanteur subie par l'ensemble mobile.

Question 2. Justifier que si $C(p) = 1$, l'exigence fonctionnelle liée à la précision (erreur nulle) ne peut être respectée. Proposer une forme générale de fonction de transfert pour ce correcteur permettant de satisfaire à cette exigence fonctionnelle.

Afin de répondre totalement au cahier des charges, l'utilisation d'un correcteur proportionnel intégral dérivé est retenue. En effet, la commande de l'axe intègre directement ce type de correcteur.

Dans la suite du problème, le correcteur $C(p)$ sera de la forme : $C(p) = K_i \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right) \cdot (1 + T_D p)$. Le réglage des coefficients a été fait par simulation numérique.

Question 3. Ce nouveau correcteur permet-il de respecter l'exigence fonctionnelle liée à la précision ? Justifier la réponse.

Question 4. Qu'en est-il de la sensibilité à la perturbation ?

Le diagramme de Bode de la nouvelle fonction de transfert en boucle ouverte $H_{BO}^C(p)$ est donné sur la page suivante.

Question 5. À partir du diagramme de Bode conclure sur l'exigence fonctionnelle liée à la stabilité. Les constructions graphiques permettant la justification de la réponse devront apparaître sur le document réponse.

Afin de vérifier maintenant le critère de rapidité, la dernière figure donne la réponse temporelle de l'axe à un échelon de position de 1 m.

Question 6. Conclure sur la conformité au cahier des charges du système ainsi réglé.

