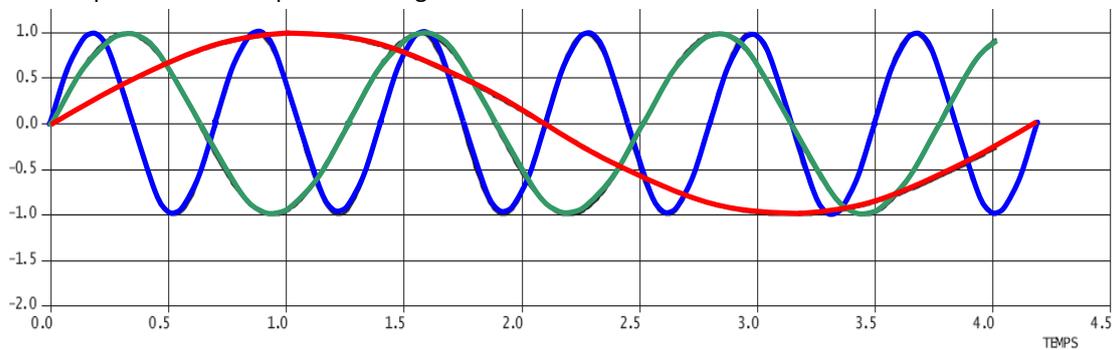


TD 1 : Comportement fréquentiel des SLCI, intégrateur, dérivateur et 1^{er} ordre..... 1
 TD 2 : Comportement fréquentiel des SLCI 2^{ème} ordre 4
 Exercices supplémentaires..... 5

TD 1 : COMPORTEMENT FRÉQUENTIEL DES SLCI, INTÉGRATEUR, DÉRIVATEUR ET 1^{ER} ORDRE

Exercice 1.1 : RÉPONSES TEMPORELLES ET HARMONIQUES D'UN SYSTÈME

Le diagramme temporel ci-dessous présente 3 signaux d'entrée sinusoïdaux.



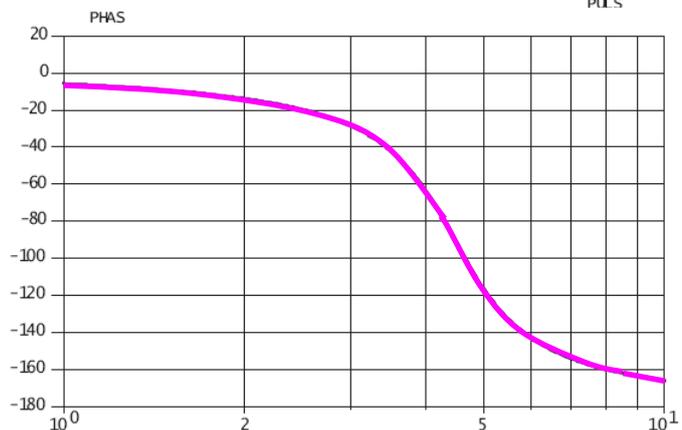
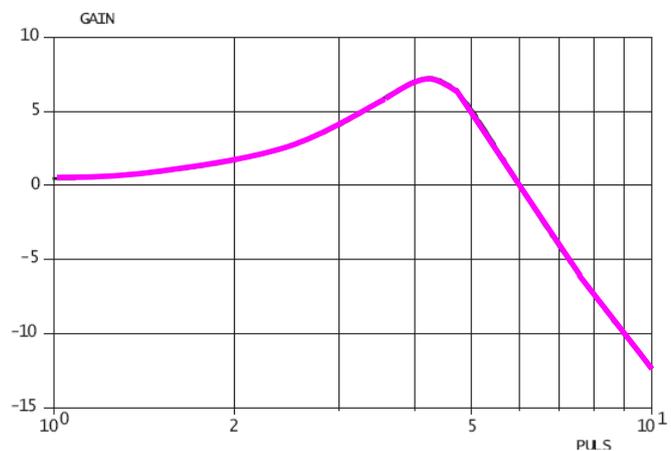
Q1 : Déterminer les périodes et les pulsations de chacun des signaux.

Soit un système dont le diagramme de Bode est donné ci-contre :

Q2 : En déduire le gain en dB, puis le gain, et le déphasage en ° en régime permanent pour chacune des pulsations correspondant aux 3 entrées précédentes.

Q3 : En déduire le tracé des courbes temporelles de sortie correspondant aux 3 entrées précédentes.

Q4 : Conclure.



Exercice 1.2 : REPRÉSENTATION ASYMPTOTIQUE DE BODE

Q1 : Tracer le diagramme de Bode, en redémontrant le résultat, de $F(p) = \frac{10}{p}$, avec des pulsations comprises entre 0,1 et 100 rad/s.

Ajouter au graphique, le diagramme de Bode de $G(p) = \frac{2}{1 + \frac{p}{5}}$.

Q2 : Tracer le diagramme de Bode de $F_2(p) = \frac{2000}{p(100+p)}$ sous la forme du produit d'un intégrateur et d'un premier ordre de gain unitaire (pulsations comprises entre 1 et 10000 rad/s). Déterminer la phase de la pulsation à 0dB (gain = 1).

Q3 : Tracer le diagramme de Bode de l'inverse du premier ordre $F_3(p) = (1 + \frac{p}{2})$.

Tracer le diagramme de Bode de $F(p) = \frac{1000(2+p)}{p(100+p)}$ sous la forme du produit d'un intégrateur, d'un premier ordre de gain unitaire et d'un inverse de premier ordre de gain unitaire (pulsations comprises entre 0,1 et 1000 rad/s). Déterminer la phase de la pulsation de coupure à 0dB (gain = 1).

Exercice 1.3 : REPRÉSENTATION ASYMPTOTIQUE DE BODE

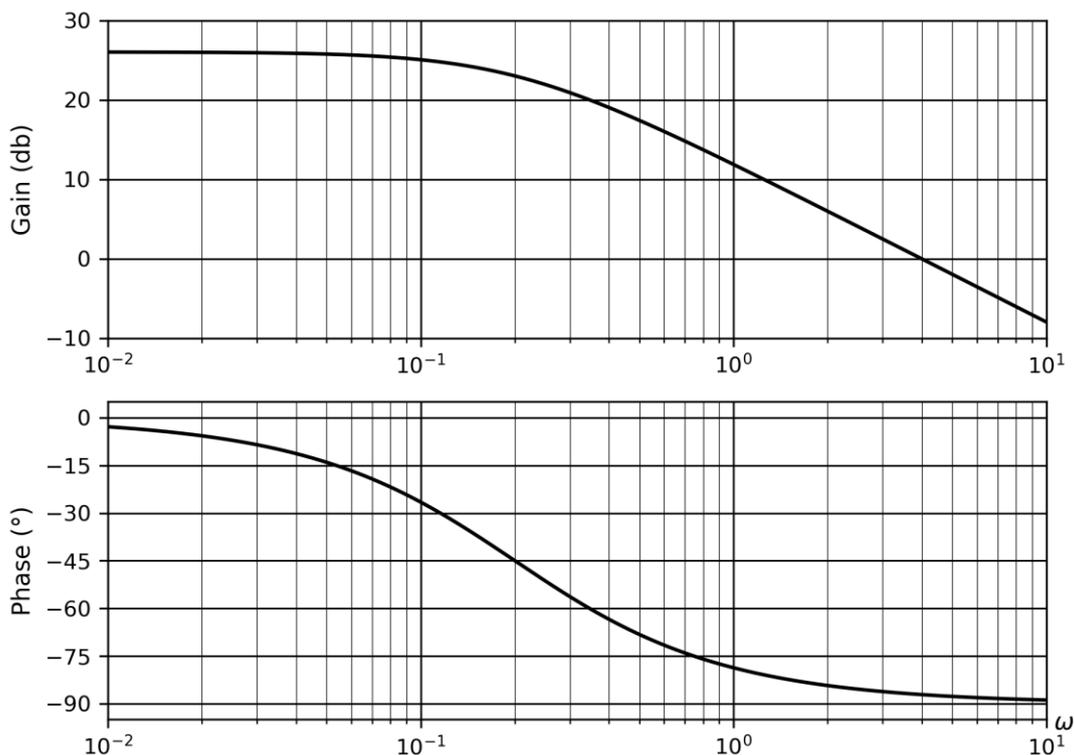
Q1 : Tracer les diagrammes asymptotiques de Bode des fonctions de transfert suivantes.

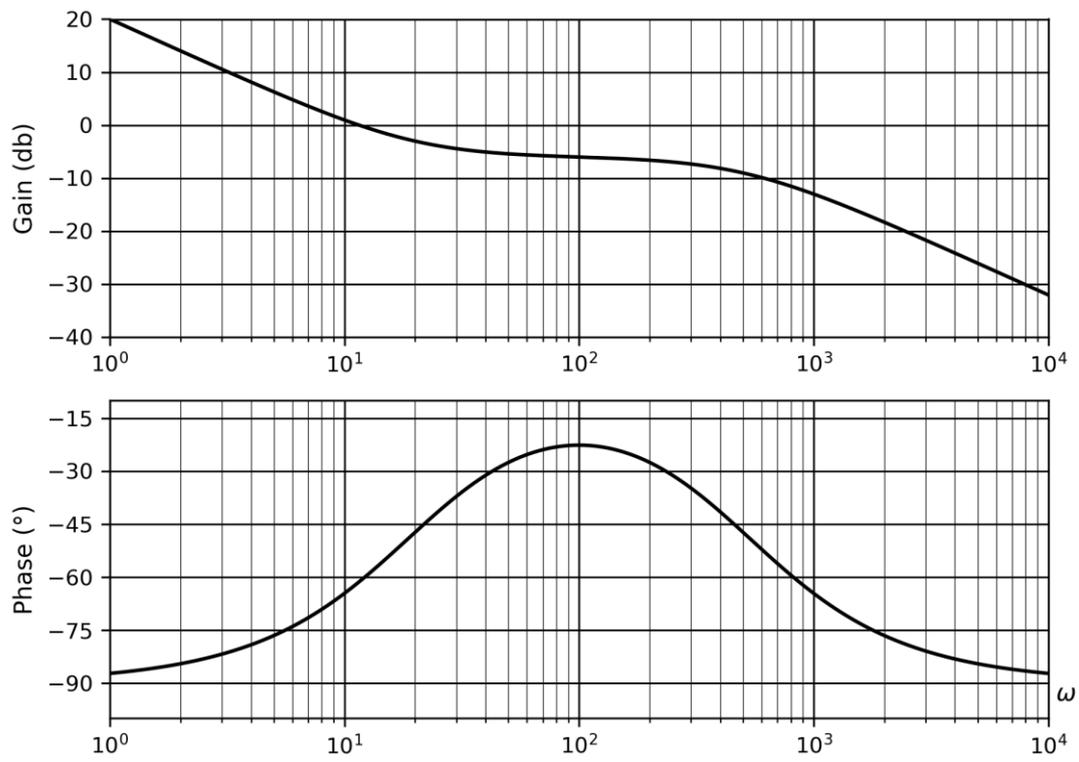
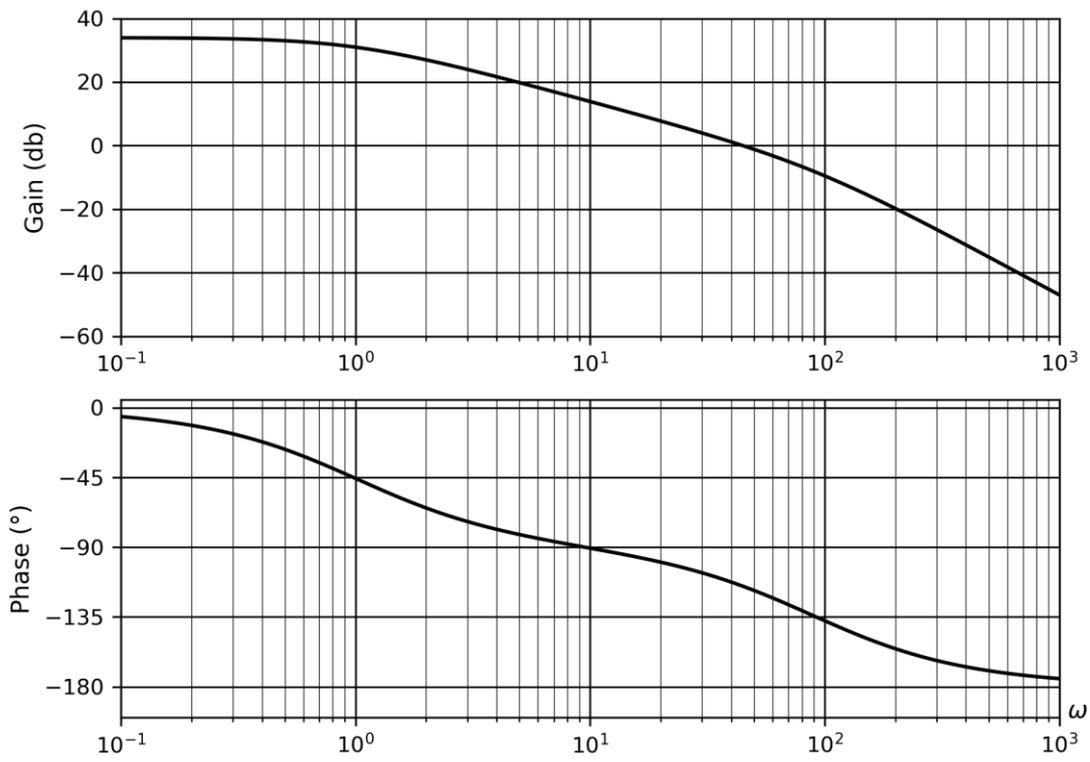
$$F_1(p) = \frac{20}{10+p} \quad F_2(p) = \frac{0,05p+2}{1+0,1p} \quad F_3(p) = \frac{4}{0,2p^2+p} \quad F_5(p) = \frac{3p+2}{0,08(p+5)^2}$$

Exercice 1.4 : IDENTIFICATION DE FONCTION DE TRANSFERT

Q1 : Sur les diagrammes de Bode suivants, tracer les diagrammes de Bode asymptotiques puis identifier les fonctions de transfert correspondantes.

Q2 : Déterminer analytiquement les bandes passantes à -3 dB des 1^{er} et 2^{ème} systèmes ci-dessous. Vérifier les résultats graphiquement.





TD 2 : COMPORTEMENT FRÉQUENTIEL DES SLCI 2^{ÈME} ORDRE

Exercice 2.1 : REPRÉSENTATION ASYMPTOTIQUE DE BODE ET BANDE PASSANTE

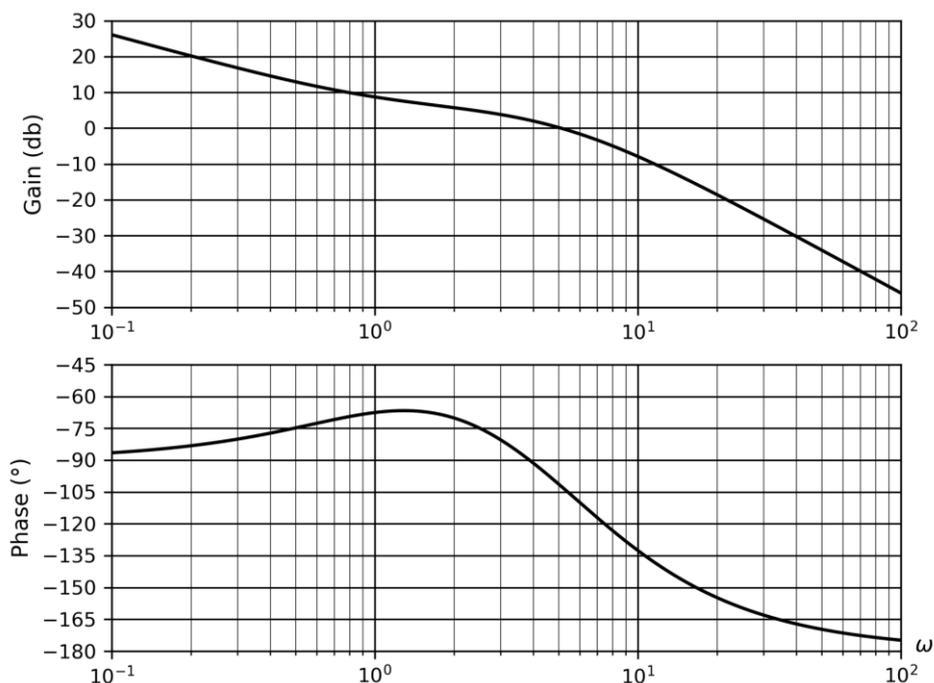
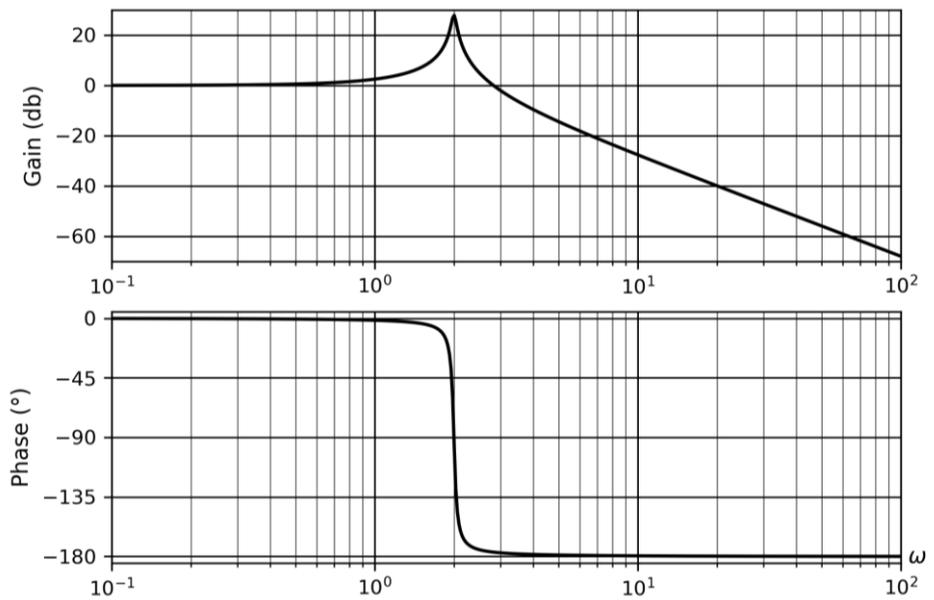
Q1 : Tracer les diagrammes asymptotiques de Bode des fonctions de transfert suivantes. Tracer des courbes approchées de gain et de phase en déterminant les valeurs réelles en droit et au milieu des pulsations de cassure.

$$F_4(p) = \frac{3}{2+0,1p+0,02p^2} \quad F_6(p) = \frac{1}{(2+p)(2+4p+10p^2)} \quad F_7(p) = \frac{5(2+0,5p)}{(0,5+2p+10p^2)p}$$

Q2 : Déterminer analytiquement la bande passante à -3 dB de $F_4(p)$ et $F_6(p)$. Vérifier le résultat graphiquement.

Exercice 2.2 : IDENTIFICATION DE FONCTION DE TRANSFERT SUR DIAGRAMME DE BODE

Q1 : Superposer les diagrammes asymptotiques puis identifier les fonctions de transfert correspondantes.



EXERCICES SUPPLÉMENTAIRES

Corrigé des exercices supplémentaires en ligne : <http://www.s2i-chateaubriand-joliotcurie.net>

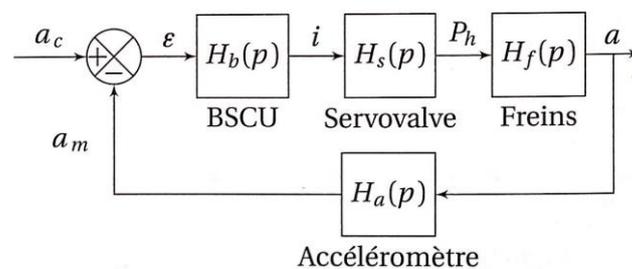
PROBLÈME 1 : ASSERVISSEMENT DE FREINAGE D'UN A318

Le transport aérien sur avion de ligne est un des moyens de transport les plus sûrs. Pourtant, les conséquences d'une erreur humaine ou d'une défaillance matérielle peuvent être catastrophiques.

La sécurité est assurée par des technologies de pointe, et l'assistance du freinage à l'atterrissage est l'une des composantes sensibles de ces technologies.



Le freinage est piloté par les ordinateurs de bord à partir des consignes du pilote et des paramètres de vol. La partie commandes envoie des consignes à la servo-valve hydraulique qui se charge de régler la pression dans le circuit hydraulique de freinage. Les freins à disques (figure ci-dessus) décélèrent l'avion proportionnellement à la pression de freinage. Un accéléromètre de la centrale inertielle de l'avion mesure la décélération et transmet l'information à la partie commande pour le contrôle du freinage. Le schéma-blocs de l'asservissement est donné ci-dessous.



On précise les fonctions de transfert suivantes :

$$H_b(p) = K_i \frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p} \quad H_s(p) = \frac{K_s}{(1 + \tau_s p)^2} \quad H_f(p) = K_f$$

$$\text{où } K_s = 100 \text{ barA}^{-1} \quad \tau_s = 8,7 \cdot 10^{-2} \text{ s} \quad K_f = 0,08 \text{ ms}^{-2} \text{ bar}^{-1} \quad \tau_i = 1 \text{ s}$$

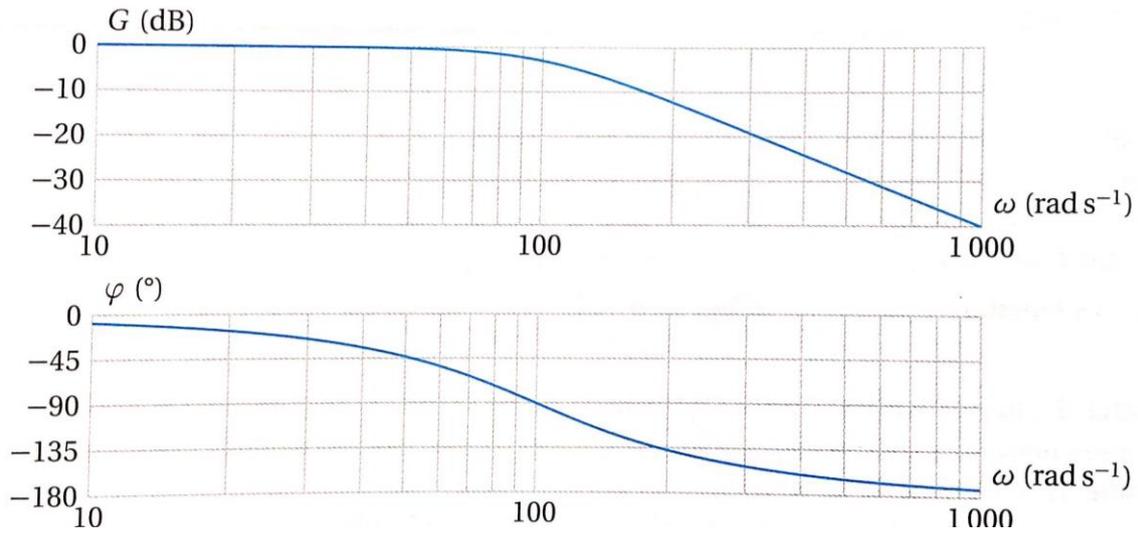
K_i est à déterminer et sera dans un premier temps considéré comme unitaire.

Objectif : déterminer la loi de commande à implanter dans la partie commande de façon à assurer les performances correctes au freinage.

Le cahier des charges est le suivant :

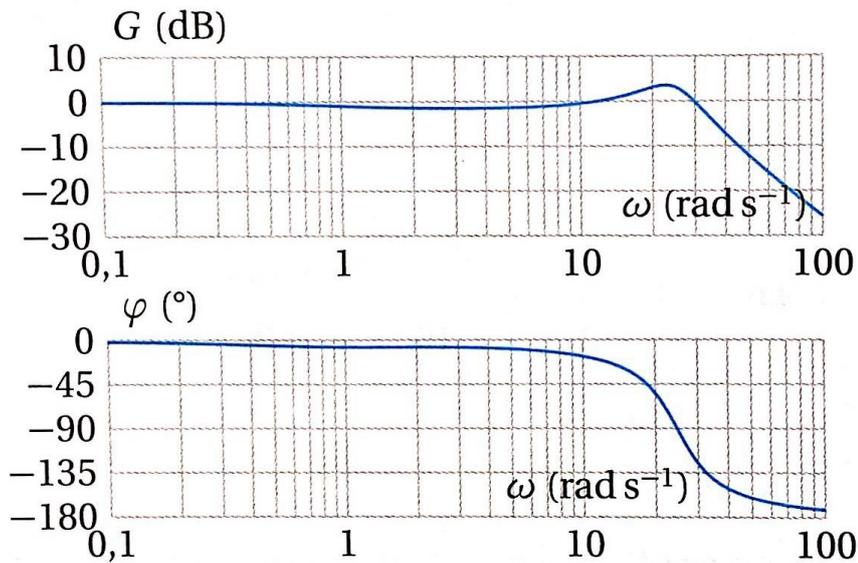
- précision : la valeur de décélération doit être atteinte exactement ;
- surtension en boucle fermée inférieur à 5 dB ;
- rapidité : bande passante à -3 dB supérieure à 10 Hz.

La figure ci-dessous donne le diagramme de Bode de l'accéléromètre, fourni par le constructeur.



- Q1 :** Déterminer la bande passante à -3 dB de l'accéléromètre à partir de son diagramme de Bode. Que pensez-vous de cette valeur par comparaison à la bande passante attendue dans le cahier des charges ? Identifier la forme et les caractéristiques de la fonction transfert de l'accéléromètre.
- Q2 :** Tracer le diagramme de Bode asymptotique de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO(p)$ pour $K_i = 1$ ($FTBO(p) = H_b(p)H_s(p)H_f(p)H_a(p)$).

La figure ci-dessous donne le **diagramme de Bode de la FTBF**.



- Q3 :** Que peut-on conclure de la valeur asymptotique à basse pulsation ?
- Q4 :** Déterminer la valeur de la surtension de la FTBF. Quel en sera la conséquence sur la réponse indicielle ?

PROBLÈME 2 : ROBOT POUR LA CHIRURGIE ENDOSCOPIQUE

Les avancées technologiques dans le domaine de la chirurgie permettent actuellement de réaliser des opérations de très grande complexité avec des avantages pour le patient qui proviennent de la limitation des zones de dissection, ce qui réduit considérablement le traumatisme opératoire.

Plusieurs étapes ont été récemment franchies lors de la mise au point des solutions limitant l'étendue des incisions dans le corps du patient, et permettant néanmoins au chirurgien l'accès aux organes à soigner.

Pour certaines opérations, le chirurgien est installé devant un poste de commande et de contrôle pour commander à distance des robots portant les outils chirurgicaux.

Ce poste nommé "console" contient :

- les dispositifs d'acquisition des mouvements du chirurgien ;
- un écran vidéo pour le retour d'image provenant de l'endoscope ;
- un écran de contrôle du système informatique.



Outre le confort opératoire pour le chirurgien, le principal avantage du système robotisé est de permettre le traitement des ordres générés par la console, avant que ceux-ci ne soient transmis aux robots esclaves.

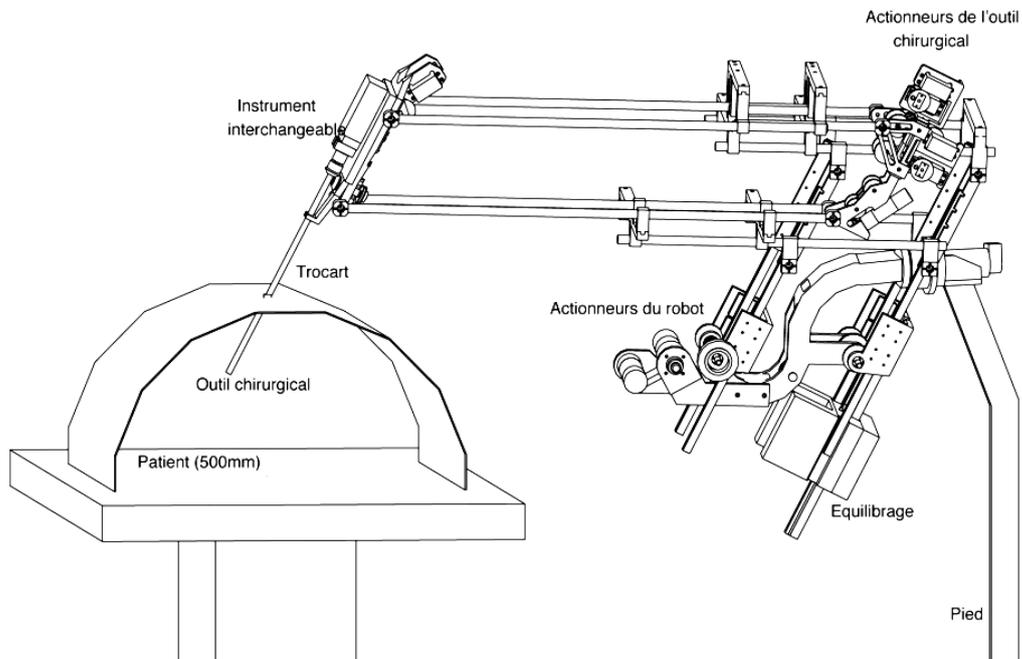
On peut par exemple utiliser ce traitement pour :

- limiter les débattements des outils ;
- filtrer les mouvements vibratoires ;
- changer d'échelle et permettre des déplacements infinitésimaux.

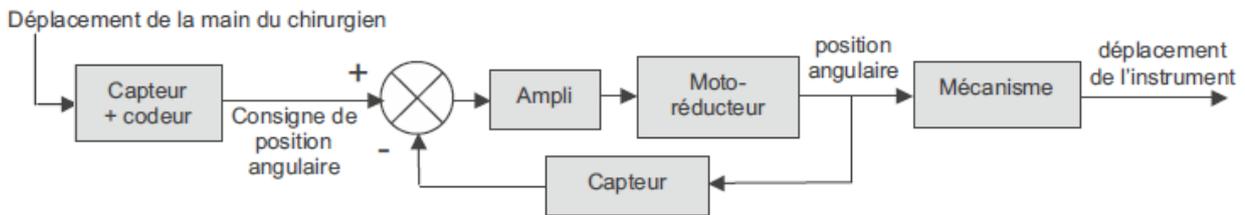
On s'intéresse ici à un prototype de robot appelé "Endoxirob" ou "robot pour la chirurgie endoscopique" (cf. <http://www.endoxirob.com>).

Sur l'extrémité du bras de robot, les instruments chirurgicaux sont interchangeables. L'échange d'instruments s'effectue rapidement pendant l'utilisation du robot.

Le choix technologique des ingénieurs a été de placer les actionneurs électriques de l'outil chirurgical non pas sur l'instrument chirurgical lui-même, mais sur la structure du robot ; ce choix a conduit à la conception d'une interface mécanique spécifique, à pousoirs, permettant le transfert des actions de commande des actionneurs vers l'outil chirurgical.



Le schéma-blocs ci-dessous présente la commande du déplacement de l'instrument :



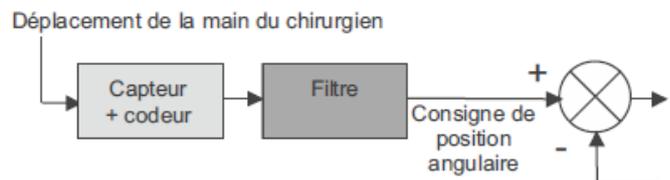
La console permet de capter le déplacement de la main et de le coder (et éventuellement le filtrer, cf. plus loin) afin d'élaborer la tension de consigne de position angulaire du moto-réducteur. La position angulaire est ensuite transformée en position linéaire de l'instrument, par un mécanisme de transformation de mouvement à crémaillère.

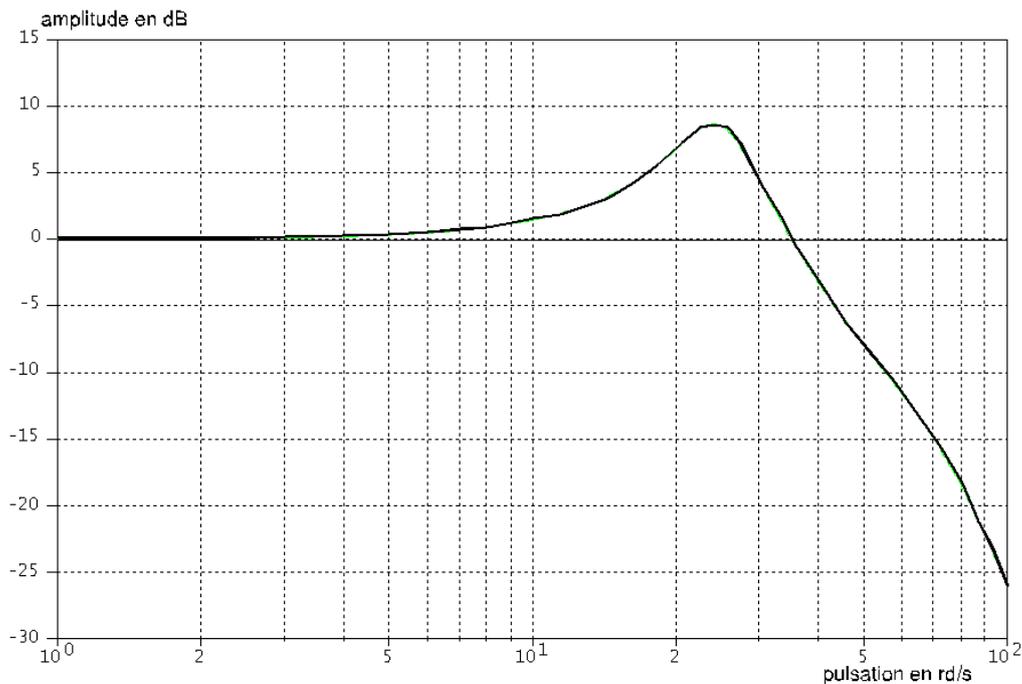
La fonction de transfert du système décrit par le schéma bloc précédent est estimée à :

$$H(p) = \frac{D_{instrument}(p)}{D_{main}(p)} = \frac{1}{(1 + 0,014 p + 0,00017 p^2)(1 + 0,016 p + 0,0014 p^2)}$$

On donne page suivante la courbe de gain du diagramme de Bode correspondant.

L'objectif est la conception d'un filtre à insérer en série dans le bloc d'élaboration de la consigne angulaire, afin de limiter l'amplitude de l'instrument lors du tremblement de la main du chirurgien, tout en préservant une bande passante suffisante au système.





Analyse de la fonction de transfert

- Q1 :** À partir de la fonction de transfert $H(p)$, déterminer son diagramme de Bode asymptotique et le représenter en superposition sur la courbe de gain donnée ci-dessus.
- Q2 :** Si résonance il y a, déterminer analytiquement sa ou ses pulsations ainsi que son ou ses gains. Valider le ou les résultats graphiquement.
- Q3 :** Quelle est l'amplitude du mouvement pris par l'instrument, lorsque la main du chirurgien est prise d'un tremblement sensiblement sinusoïdal d'amplitude 1 mm et de période 0,25 s ?

Choix de filtres

Afin de limiter l'amplitude du mouvement de l'instrument lors du tremblement de la main du chirurgien, on souhaite insérer un filtre en amont du comparateur. On propose trois filtres du premier ordre de fonctions de transfert :

$$F_1(p) = \frac{1}{1+0,04 p} ; F_2(p) = \frac{1}{1+0,1 p} ; F_3(p) = \frac{1}{1+0,5 p}$$

- Q4 :** Tracer, sur le diagramme de gain de $H(p)$, les diagrammes asymptotiques de ces trois filtres.
- Q5 :** Choisir parmi ces trois filtres, ceux qui atténuent la résonance constatée pour le tremblement de période 0,25 s de la main du chirurgien.
- Q6 :** Le filtre retenu ne doit pas filtrer les mouvements souhaités par le chirurgien. On considère qu'un mouvement dont la période est supérieure à 1 s est un mouvement volontaire, et non un tremblement. Un tel mouvement ne doit pas être atténué de plus de 1 dB. Retenir en conséquence le filtre qui convient.
- Q7 :** Cette exigence aurait pu être formulée en termes de bande passante, en imposant une bande passante à -1 dB d'au moins 1 Hz. Mais le cahier des charges impose, pour des raisons de rapidité en comportement temporel (réponse à un échelon ou à une rampe), une bande passante plus exigeante : bande passante à -3 dB d'au moins 4 Hz. Vérifier cette bande passante sur les tracés précédents, pour le filtre retenu.

Analyse de la fonction de transfert

- Q8 :** Pour une meilleure précision, tracer graphiquement la courbe de gain du système corrigé par le filtre retenu et vérifier les différentes exigences.