

Robot endoscopie

1. Analyser le Rambo endoscopie

Les avancées technologiques dans le domaine de la chirurgie actuellement de réalisation des opérations de très grande complexité (chirurgie cardiaque, digestive, urologique, ...) avec des avantages pour le patient qui proviennent de la limitation des zones de dissection, ce qui réduit considérablement le traumatisme opératoire.

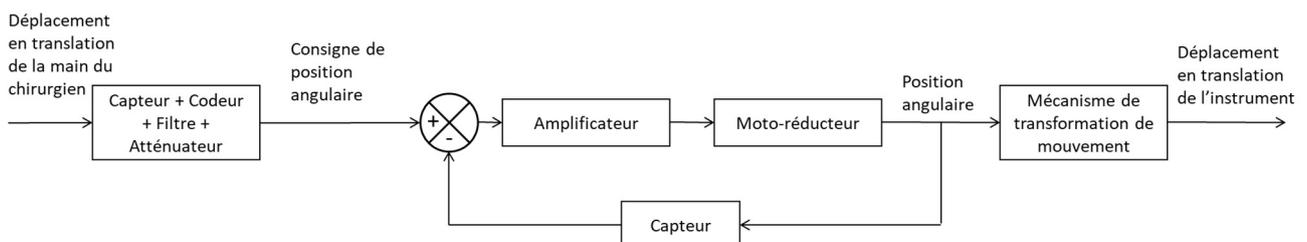
La chirurgie endoscopique consiste à réaliser des opérations à l'aide d'outils chirurgicaux de très petite taille, placé à l'extrémité de tige tubulaire placée par le chirurgien. La partie inférieure des tiges est inséré dans la zone à traiter, à travers trois petits orifices réalisés dans le corps du patient.

La chirurgie endoscopique robotisée utilise des robots à actionneur électrique pour positionner et commander les instruments. Le chirurgien est alors plus confortablement installé devant un poste de commande et de contrôle pour piloter à distance les robots et donc 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 et un écran de contrôle du système informatique.



Le robot esclave étudié est constitué de trois axes permettant de déplacer l'instrument chirurgicale positionner sur la plaque support en translation selon les trois directions de l'espace X, Y et Z. On s'intéressera à l'axe de l'élévation du dispositif de commande de l'instrument chirurgicale décrit par le schéma bloc suivant 2.



La console permet de capter le déplacement de la main, de le coder, de le corriger éventuellement afin d'élaborer la consigne de position angulaire du moteur. La position angulaire est ensuite transformée en position linéaire de l'instrument par un mécanisme de transformation de mouvement à crémaillère.

Objectif

Compte tenu de la chaîne cinématique et de l'asservissement mis en place, la raideur des transmetteurs peut jouer sur le critère de précision de l'axe. L'objectif de l'étude est de montrer par une étude fréquentielle que le système peut permettre d'atténuer les tremblements du chirurgien.

Cahier des charges

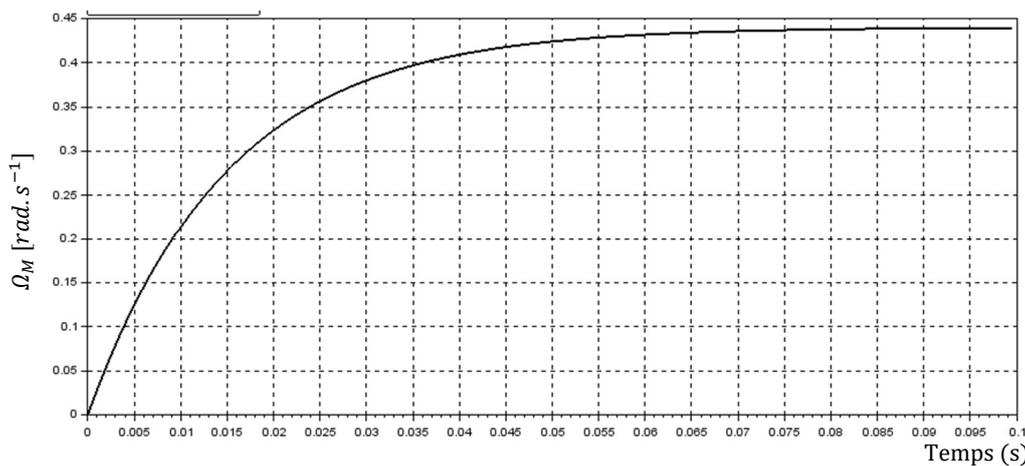
Les deux critères que l'on cherchera à respecter sont les suivants :

- Le robot endoscopique doit reproduire fidèlement le déplacement du chirurgien. On cherchera donc à avoir une erreur statique nulle pour une entrée type échelon unitaire.
- La bande passante à -3dB du système doit être supérieur à 4Hz, c'est-à-dire que la courbe du gain du diagramme de Bode du robot doit être au-dessus de -3dB pour $\omega < 4\text{Hz}$

2. Déterminer la fonction de transfert de l'asservissement de position angulaire

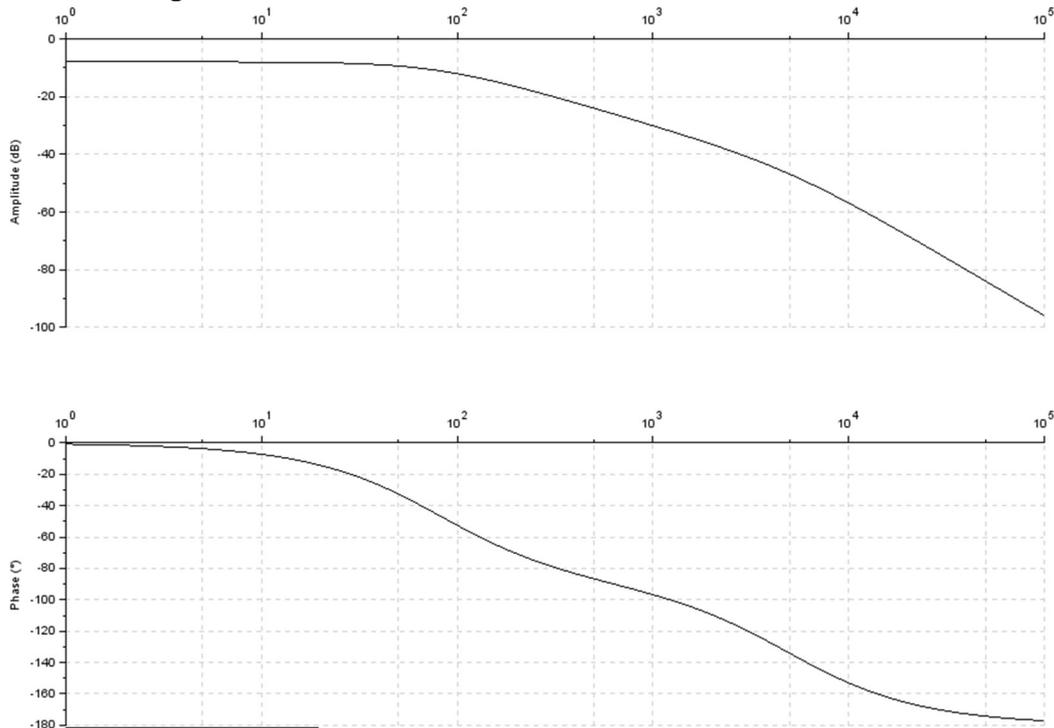
2.1. Modéliser le comportement du moteur

On cherche dans un premier temps à déterminer la fonction de transfert de l'asservissement de position angulaire. Afin d'identifier la fonction de transfert du moteur, on réalise un essai indiciel dont le résultat est donné sur la courbe ci-dessous.



Q.1. Identifier alors cette la fonction de transfert correspondant et identifier les différents paramètres de celle-ci.

Une identification fréquentielle du motoréducteur et alors mis en place pour valider le modèle précédent. On obtient le diagramme de Bode suivant.



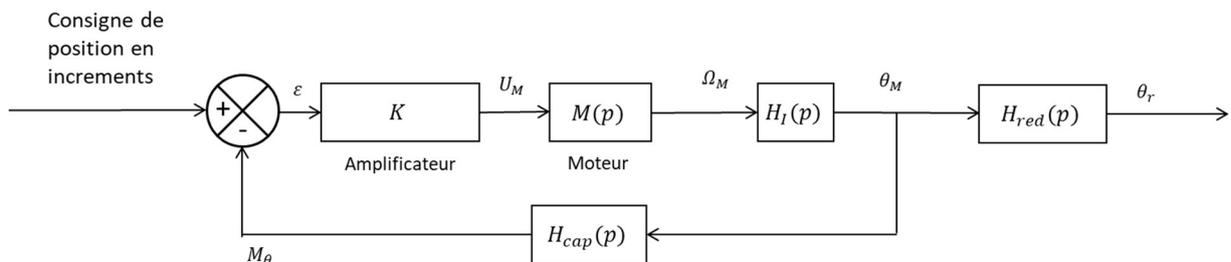
Q.2. Identifier la fonction de transfert à partir du diagramme de Bode. Justifier que le modèle identifié à la question 1 est pertinent dans une certaine bande de pulsation à préciser. Vérifier que les coefficients obtenus pour la fonction de transfert du motoréducteur par l'identification temporel sont cohérents avec ceux obtenus par identification fréquentielle.

Pour la suite du sujet, et quel que soit le résultat obtenu à la question 2, on prendra $M(p) = \frac{0,4}{1+0,015p}$ pour la fonction de transfert du moteur.

2.2. Modéliser l'asservissement du moteur

Le convertisseur amplificateur de gain K élabore la commande du moteur. Le codeur incrémental **placer sur le rotor du moteur** a une résolution de 360 incréments par tour. Le système est discret (non continu), mais étant donnée la rapidité du comptage, on l'assimile à un système continu. Le réducteur a un rapport de réduction $r = 1/50$.

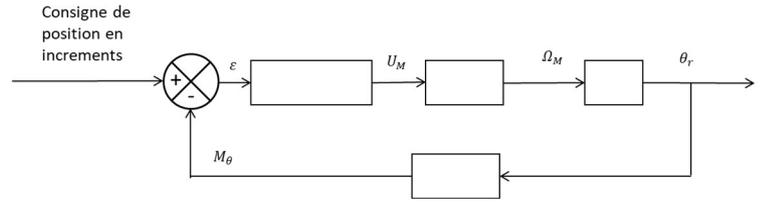
Le schéma bloc fonctionnel de la figure suivante correspond à l'asservissement du moteur.



Q.3. Exprimer les fonctions de transferts $H_{cap}(p)$, $H_I(p)$ et $H_{red}(p)$.

On cherche à mettre sous une autre forme ce schéma bloc :

Q.4. Compléter le schéma bloc de sorte à ce qu'il soit équivalent à celui de la question 3.



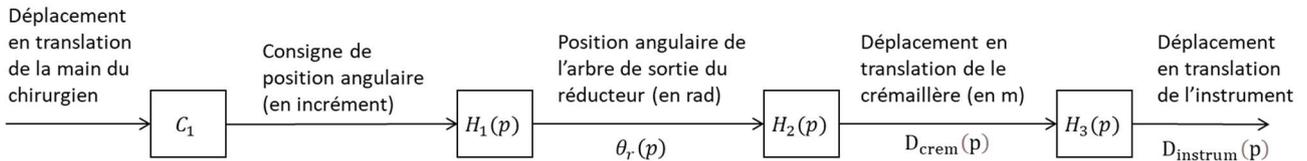
Q.5. Montrer que la fonction de transfert en

boucle ouverte est donnée par l'expression suivante : $FTBO(p) = \frac{25K}{(1+0,015p)p}$

Q.6. Tracer sur le papier semi-logarithmique (à la fin de l'exercice) les diagrammes de Bode asymptotique du système en boucle ouverte pour $K = 1$ et l'allure du diagramme de Bode réel.

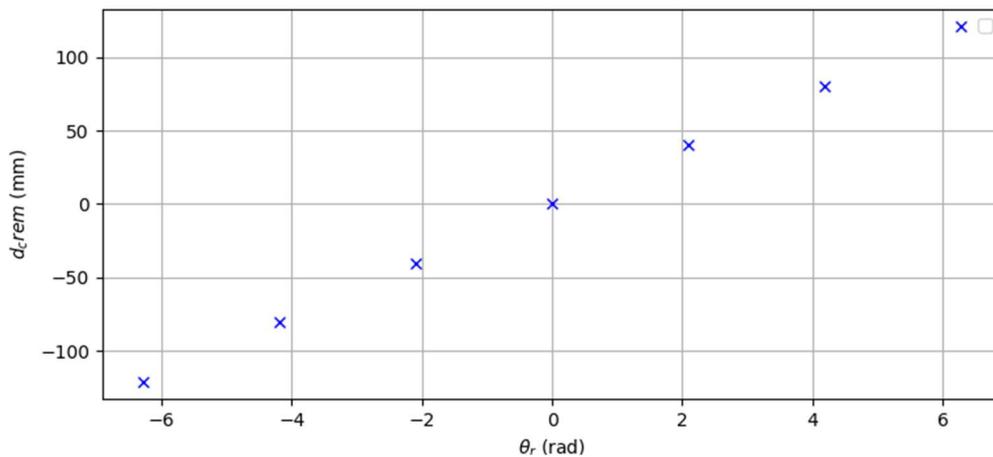
3. Modéliser le déplacement en translation de la crémaillère

Le système complet est schématisé sur la figure suivante.



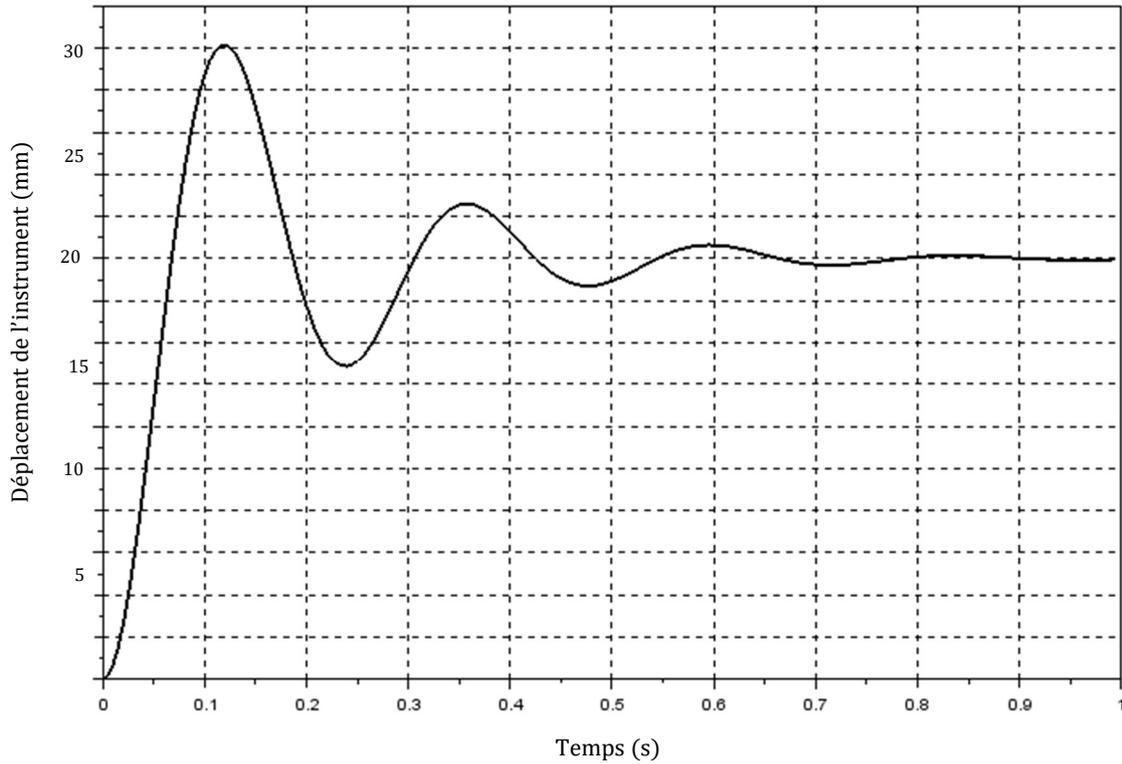
Lorsque la boucle d'asservissement est bien réglée, la fonction de transfert est $H_1(p) = \frac{0,00035}{1+0,014p+0,00017p^2}$. (Cette fonction pourrait être obtenue à partir de la FTBF du bloc moteur obtenue dans la partie précédente. Ce résultat sera admis.)

Pour identifier la fonction de transfert $H_2(p) = \frac{D_{crem}(p)}{\theta_r(p)}$, on trace sur un graphique le déplacement de la crémaillère d_{crem} obtenu pour différentes valeurs d'angle en sortie de réducteur θ_r :



Q.7. Que peut-on choisir pour modéliser $H_2(p)$? Donner la (les) valeur(s) numérique(s) du (des) paramètre(s).

Pour identifier la fonction de transfert $H_3(p) = \frac{D_{instrum}(p)}{D_{crem}(p)}$, on impose à crémaillère un échelon de déplacement $d_{crem}(t) = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ à partir de la position d'équilibre. La courbe de déplacement de l'instrument $d_{instrum}(t)$ en fonction du temps est la suivante :



Les abaques des dépassements relatifs et des temps de réponses réduits d'un système du second ordre sont donnés à la fin de l'exercice.

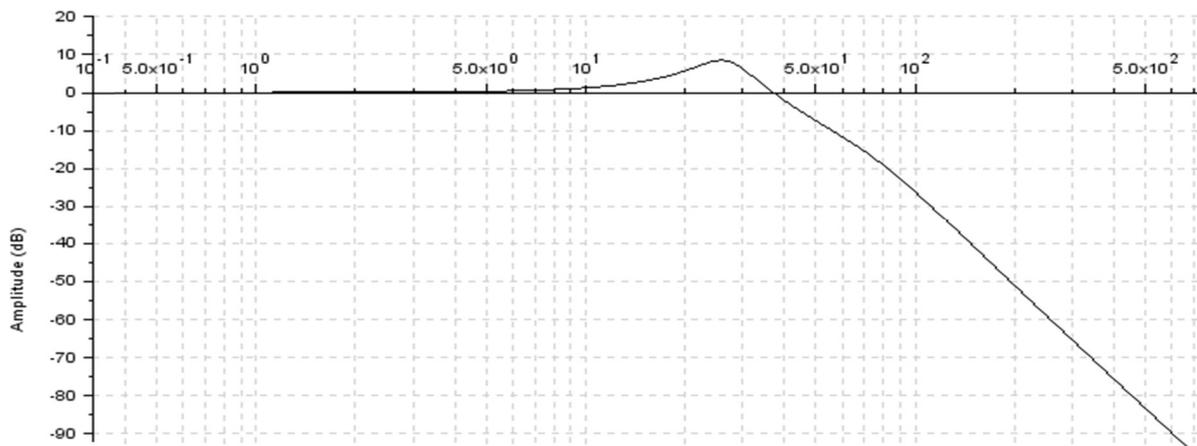
Q.8. Établir à partir de cette courbe l'expression de la fonction de transfert $H_3(p)$, déterminer les valeurs caractéristiques de celle-ci. Un abaque est disponible en fin d'exercice.

4. Analyser le déplacement de l'instrument

La fonction de transfert du système complet est $H(p) = \frac{1}{(1+0,014p+0,00017p^2)(1+0,015p+0,0014p^2)}$.

Q.9. Le critère du cahier des charges sur la précision est-il respecté ?

On donne sur la figure suivante la courbe de gain de $H(p)$.



Q.10. Le critère sur la bande passante à -3dB est-il respecté ?

La main du chirurgien est prise d'un tremblement sensiblement sinusoïdal dont la période est de 0,25 secondes et l'amplitude 1 mm.

Q.11. Déterminer à partir du diagramme de Bode l'amplitude du mouvement pris par l'instrument. Quelle est alors le risque sur la plaie chirurgical ?

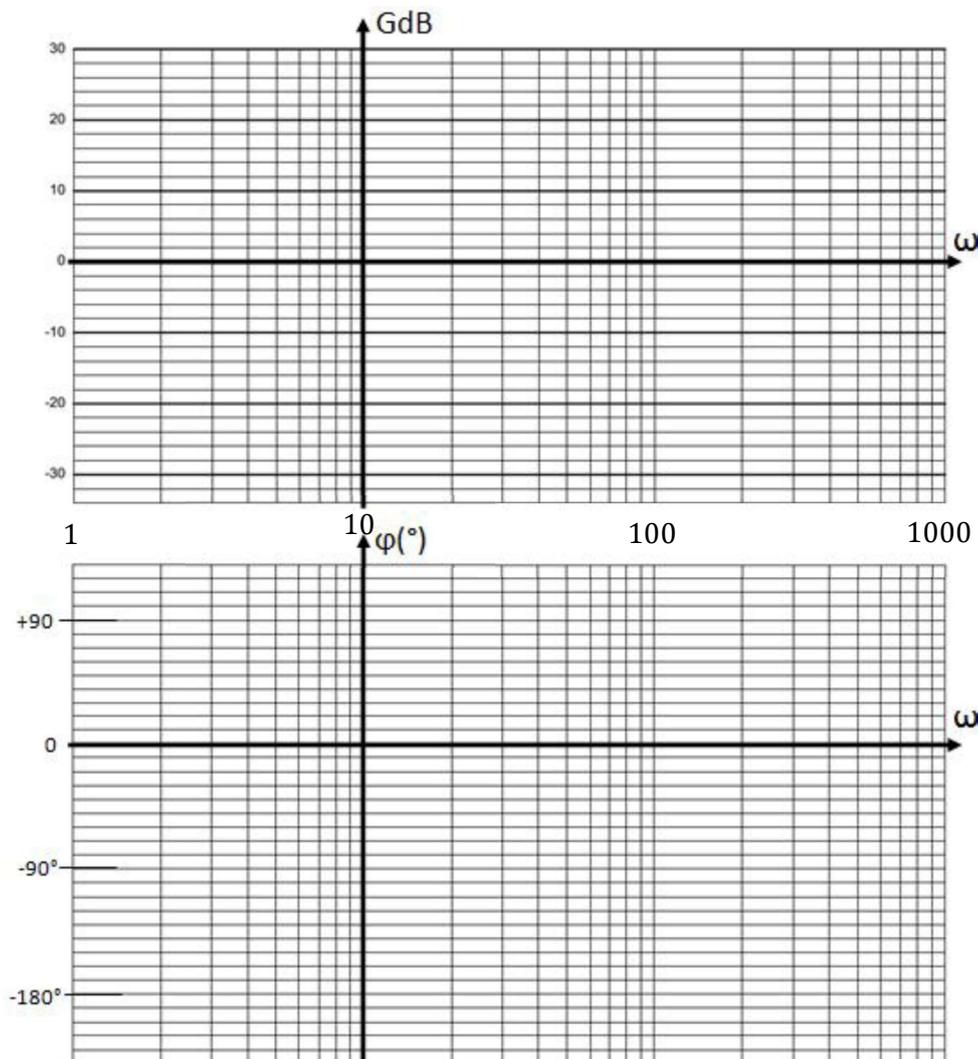
On souhaite limiter l'amplitude du mouvement de l'outil lors du tremblement de la main en filtrant le signal traité par le capteur-codeur C_1 de sorte que les tremblements n'apparaissent plus sur le soustrac-teur. On propose trois filtres du premier ordre, de gain statique égaux à 1 et de constante de temps $T_1 = 0,04$ s ; $T_2 = 0,1$ s ; $T_3 = 0,5$ s.

Q.12. Tracer sur la courbe de gain précédentes les trois diagrammes de gain de ses filtres avec des couleurs différentes.

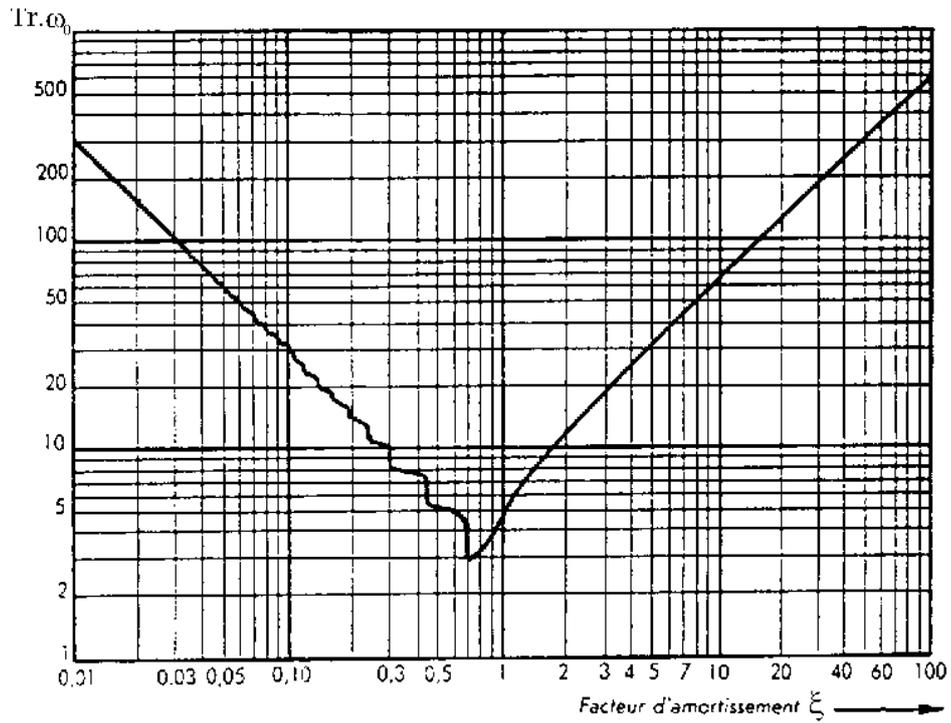
Q.13. Sachant que les mouvements dont la période est inférieure à une seconde ne doivent pas être atténuer de plus de 1 dB, indiquer le (ou les) filtre(s) qui ne convient (conviennent) pas.

Pour filtrer correctement un tremblement de fréquence 4Hz, il faut choisir le correcteur de telle sorte que le pic soit complètement compensé.

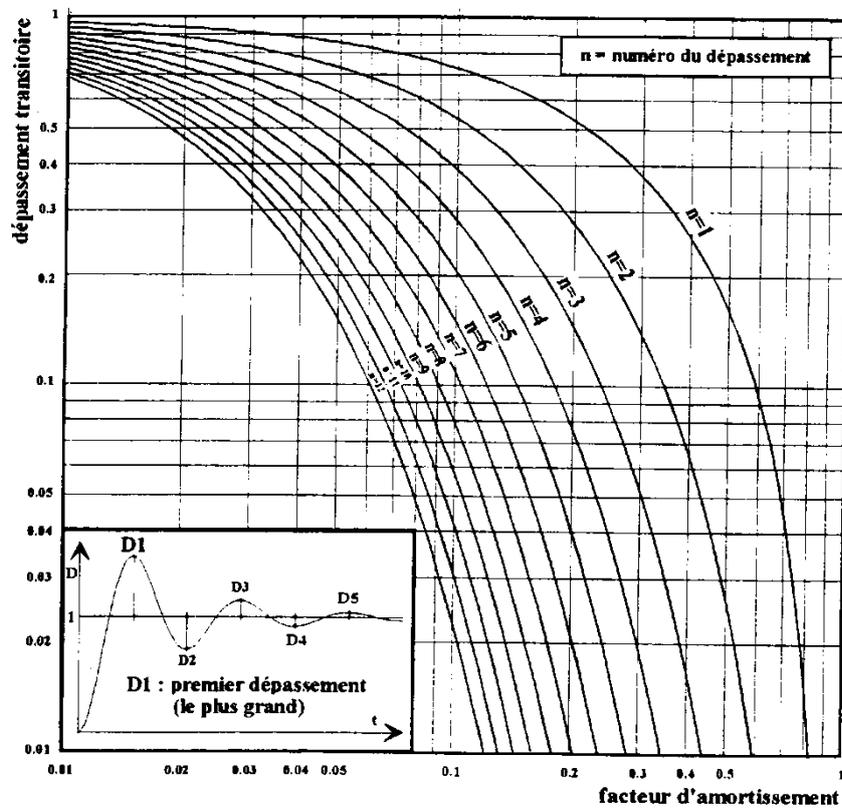
Q.14. Quel est le filtre qui convient le mieux ?



Abaque des temps de réponse réduits



Abaque des dépassements transitoires



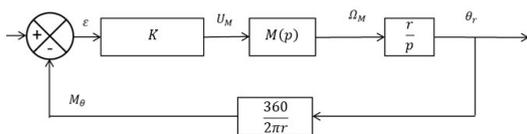
Eléments de correction

Robot endoscopie

Q.1. pente à l'origine non nulle → premier ordre. avec $K = 0,44 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \text{V}^{-1}$ et $\tau = 0,015 \text{ s}$

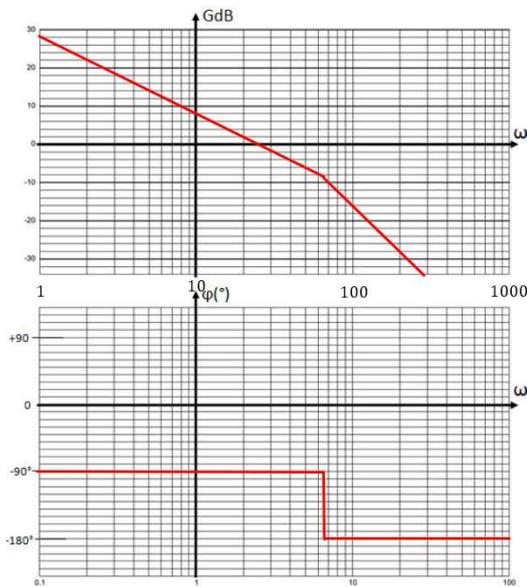
Q.2. le modèle du premier ordre est cohérent jusqu'à $\omega = 10^3 \text{ rad/s}$

Q.3. $H_{cap}(p) = \frac{360}{2\pi} H_I(p) = \frac{1}{p} H_{red}(p) = r$



Q.4.

Q.5. $FTBO(p) = K \cdot M(p) \cdot B(p) \cdot C$



Q.6.

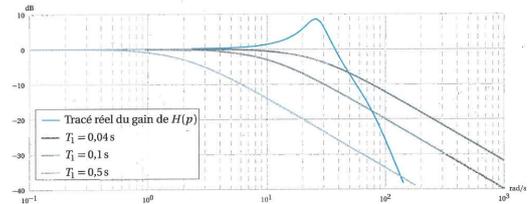
Q.7. Le tracé est une droite affine, on peut donc modéliser H_2 par un gain. La valeur de ce gain est donné par le coefficient directeur de la droite : $H_2 = 19,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{rad}^{-1}$.

Q.8. dépassement et pente à l'origine nulle → second ordre. Le gain est égal à 1, $\xi = 0,2$ et $\omega_0 = 30 \text{ rad/s}$.

Q.9. $e_{rs} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) - s(t) = \lim_{p \rightarrow 0} (1 - H(p)) = 0$

Q.10. La courbe passe sous les -3 dB à la pulsation 40 rad/s, ce qui correspond à une fréquence de 6 Hz, ce qui est bien supérieur à la valeur du cahier des charges (4Hz mini). Le critère est bien respecté.

Q.11. A partir de diagramme de gain, on détermine pour une pulsation de 4Hz (inverse de la période) soit 25 rad/s, un gain de 8 dB. Cela correspond donc à un gain de la fonction de transfert de $10^{\frac{8}{20}} = 2,5$. Ainsi, l'amplitude de sortie est plus que doublé, et donc le phénomène de tremblement est accentué par la machine.



Q.12.

Q.13. Le filtre 3 ne convient pas car sa pulsation de coupure est en dessous de $6,28 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ (1Hz)

Q.14. C'est le deux qui sera le plus adapté.