



DM 5

Consignes

- Copies propres et bien présentées: encadrer vos résultats, souligner les applications numériques (avec une règle bien sûr)...
- **Aucun retard ne sera accepté.** *Date de rendu au pied des autres pages.*
- Ne pas oublier de rendre les Documents Réponses (DR), avec vos noms. Même s'ils ne sont pas remplis.

1. Robot d'endoscopie

1.1 Analyser le Rambo endoscopie

Les avancées technologiques dans le domaine de la chirurgie permettent actuellement la réalisation des opérations de très grande complexité (chirurgie cardiaque, digestive, urologique, ...) avec des avantages pour le patient. Par exemple la réduction du traumatisme opération par la limitation des zones de dissection.

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

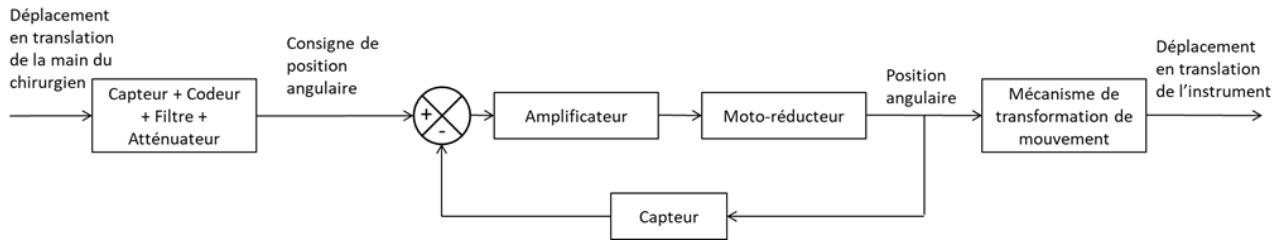
La chirurgie endoscopique robotisée utilise des robots à actionneur électrique pour positionner et commander les instruments. Le chirurgien est alors plus confortablement installé devant un poste de commande et de contrôle pour piloter à distance les robots et donc les outils chirurgicaux.



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.



La console permet de capter le déplacement de la main, de le coder et 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.

L'**objectif** est de montrer que le système peut permettre d'atténuer les tremblements du chirurgien. 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.

Cahier des charges

Dans cette étude, seuls les deux critères suivants sont considérés :

- Le robot endoscopique doit reproduire fidèlement le déplacement du chirurgien. Il est important d'avoir une erreur statique nulle pour une entrée type échelon unitaire.
- La bande passante à $-3dB$ du système doit être supérieure à $4Hz$.

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 Figure 1.

Question 1: Identifier la fonction de transfert correspondante au moteur en faisant apparaître les éventuels tracés.

Une identification fréquentielle du motoréducteur est effectuée pour valider le modèle précédent. On obtient le diagramme de Bode :

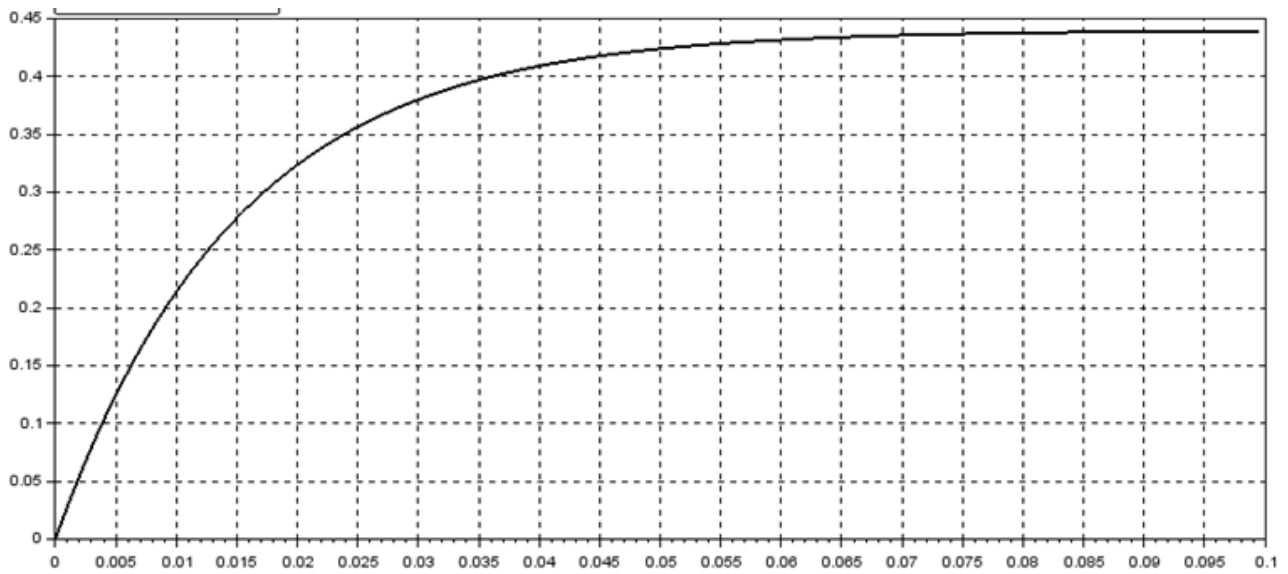
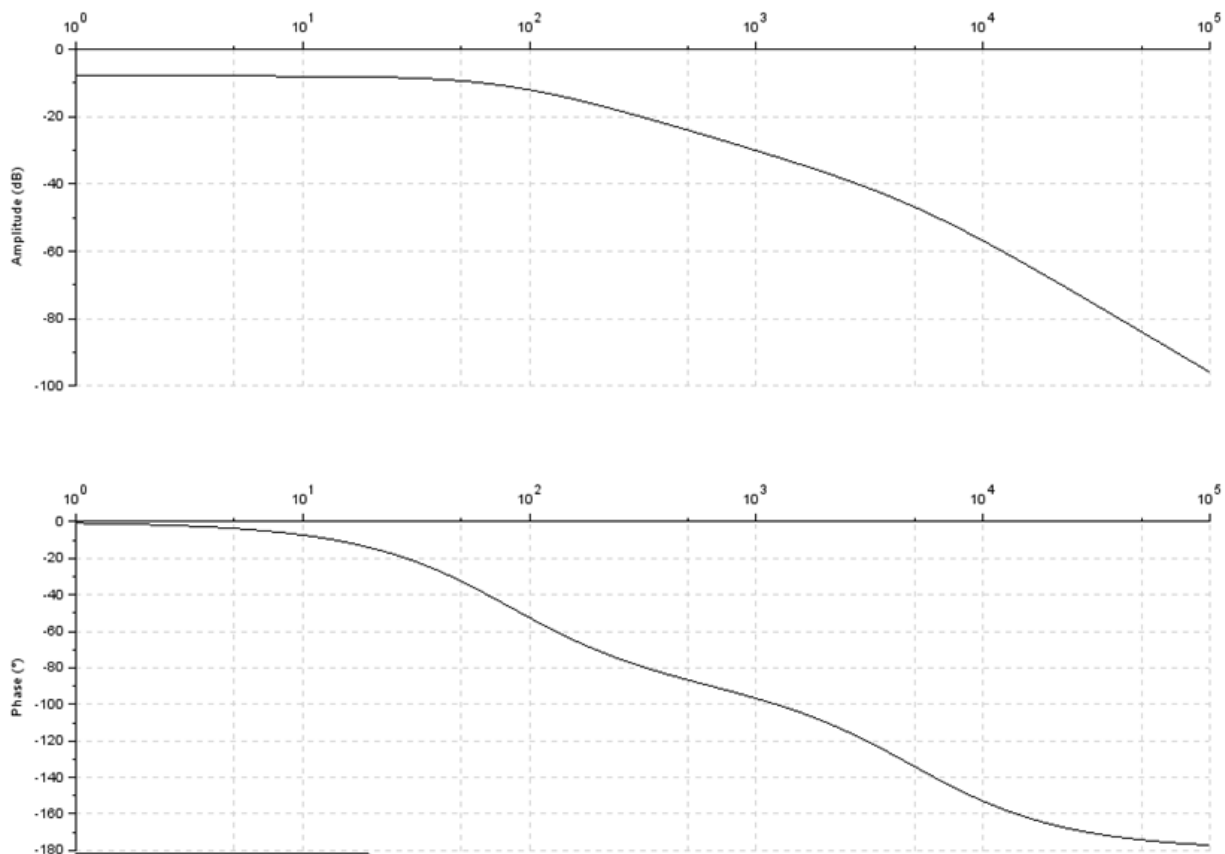


FIGURE 1 – Réponse du moteur pour un essai indiciel : $\omega_m(t)$ en $rad.s^{-1}$ en fonction du temps en seconde.



Question 2: Identifier la fonction de transfert correspondante au diagramme de Bode en faisant apparaître les éventuels tracés.

Question 3: Justifier que le modèle identifié précédemment est pertinent dans une certaine bande de pulsation à préciser. Vérifier que les caractéristiques obtenus pour la fonction de transfert du motoréducteur par l'identification temporelle sont cohérents avec ceux obtenus par l'identification fréquentielle.

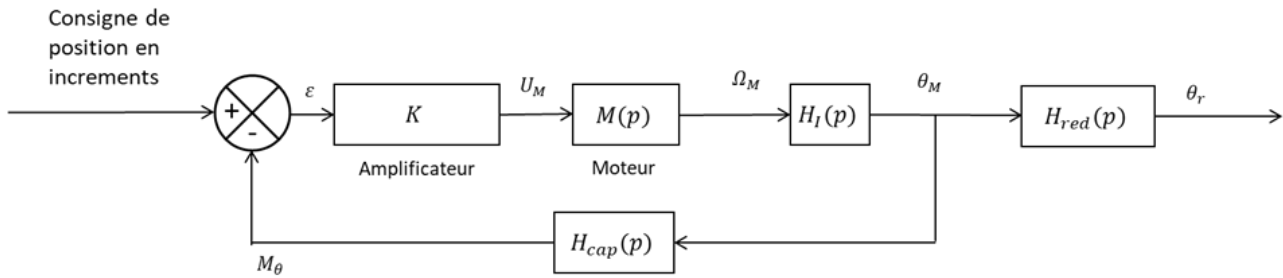


FIGURE 2 – Schéma bloc fonctionnel de l'asservissement du motoréducteur.

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

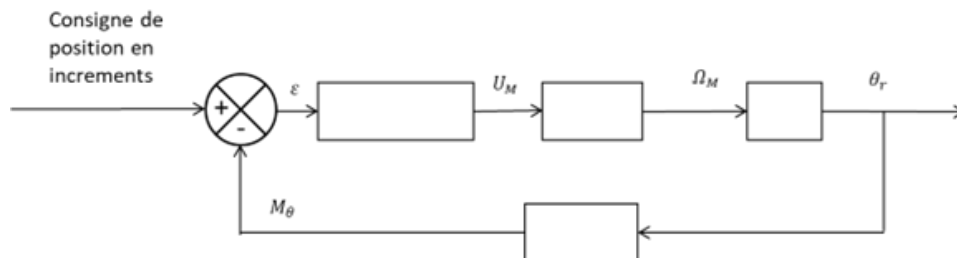
2.2 Modéliser l'asservissement du moteur

Le convertisseur amplificateur de gain K élabore la commande du moteur. Le codeur incrémental **placé 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 $r = \frac{1}{50}$.

Le schéma bloc fonctionnel de la Figure 2 correspond à l'asservissement du moteur.

Question 4: Exprimer les fonctions de transferts $H_{cap}(p)$, $H_i(p)$ et $H_{red}(p)$.

On souhaite mettre le schéma bloc de l'asservissement du moteur sous la forme suivante :



Question 5: Compléter ce schéma bloc pour qu'il soit équivalent à celui de la Figure 2.

Question 6: Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte peut être donnée par $FTBO(p) = \frac{25K}{(1 + 0,015p)p}$.

Question 7: Tracer les diagrammes de Bode asymptotique et réel de la fonction de transfert en boucle ouverte pour $K = 1$.

Diagramme de gain :

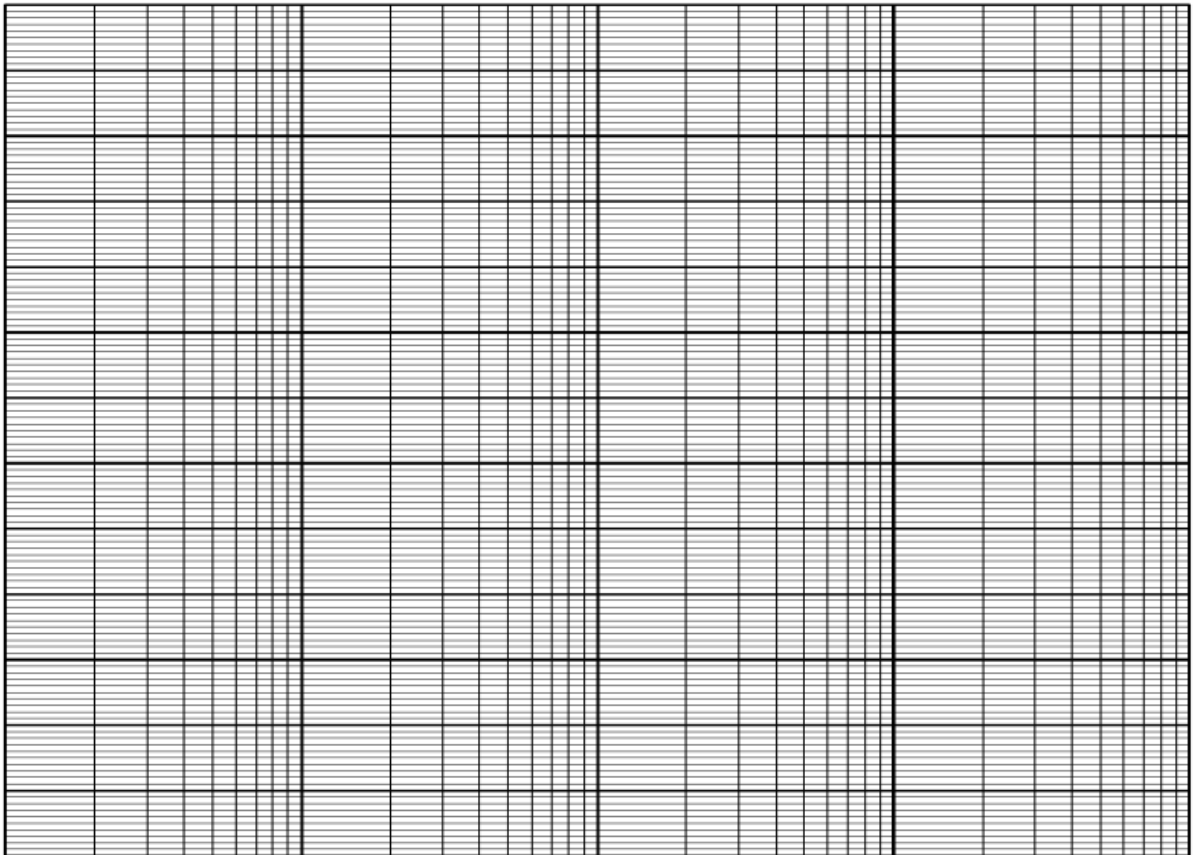
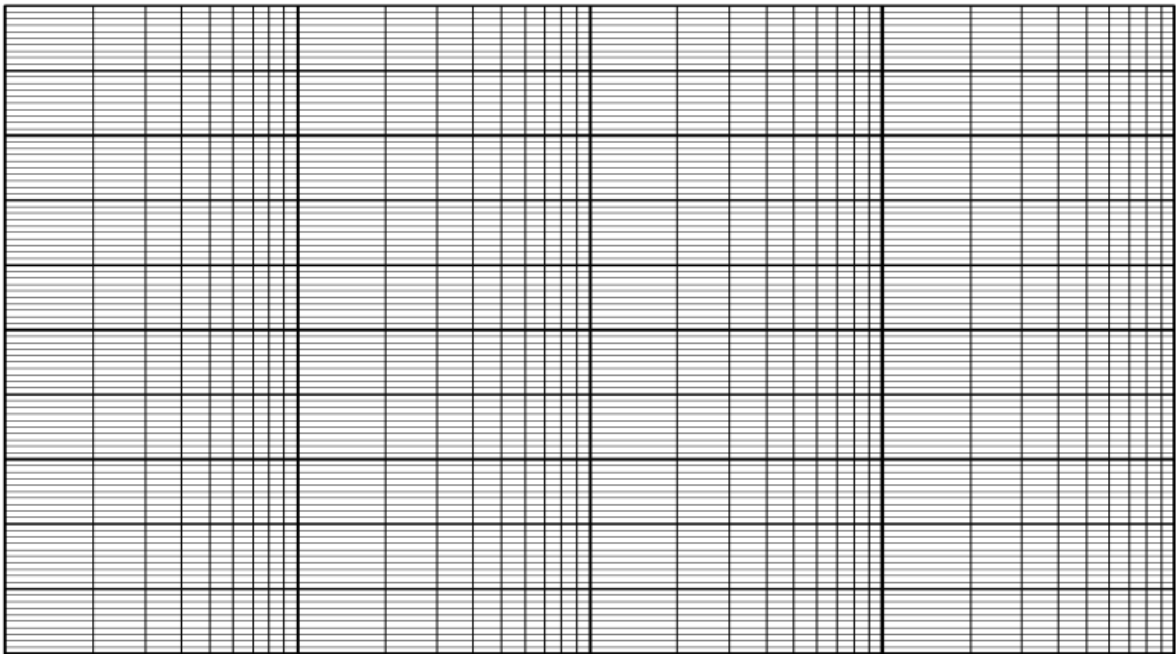


Diagramme de phase :



Question 8: Déterminer les marges de gain et de phase et en déduire la stabilité du système. Faire apparaître les tracés sur le diagramme.

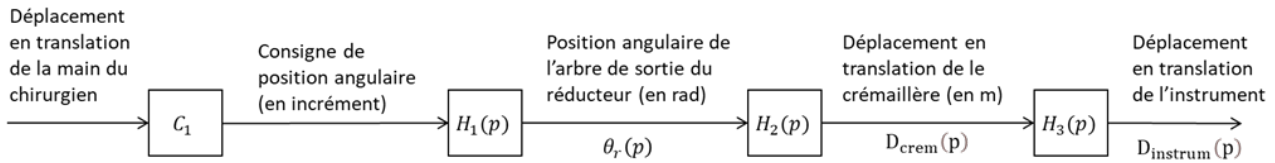


FIGURE 3 – Représentation du système complet

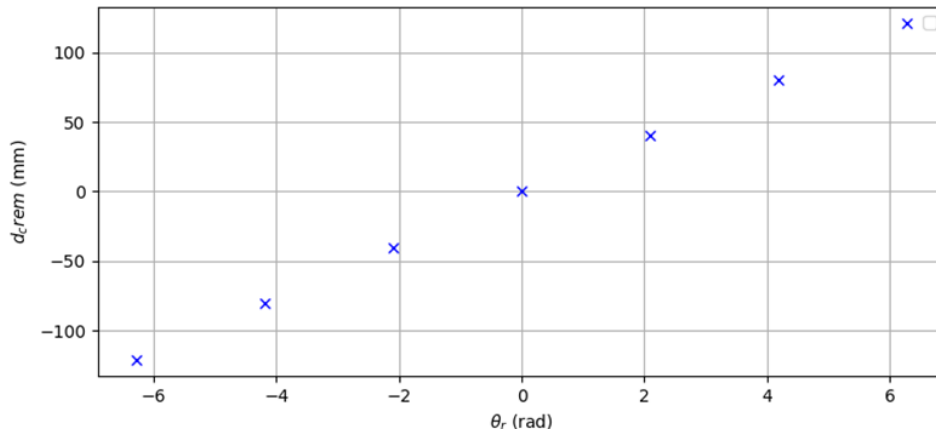


FIGURE 4 – Déplacement de la crémaillère en fonction de l'angle de sortie du réducteur

2.3 Modéliser le déplacement en translation de la crémaillère

Le système complet est représenté sur la Figure 3.

Lorsque la boucle d'asservissement est bien réglée, la fonction de transfert devient

$$H_1(p) = \frac{3,5 \cdot 10^{-4}}{1 + 0,014p + 1,7 \cdot 10^{-4}p^2}$$

Cette fonction pourrait être obtenue à partir de la FTBF du bloc moteur de la partie précédente.

Ce résultat sera admis.

Pour identifier la fonction de transfert $H_2(p) = \frac{D_{crem}(p)}{\theta_r(p)}$, le déplacement de la crémaillère d_{crem} est mesuré en fonction de différentes valeurs d'angle en sortie de réducteur θ_r . Le graphique obtenu est présenté Figure 4.

Question 9: Comment 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 la crémaillère un échelon de déplacement $d_{crem}(t) = 20 \cdot 10^{-3} m$ à partir de la position d'équilibre. La courbe de déplacement de l'instrument $d_{instrum}(t)$ en fonction du temps est présentée sur la Figure 5.

Question 10: Établir l'expression de la fonction de transfert $H_3(p)$ et déterminer ses valeurs caractéristiques. Un abaque est disponible en fin d'exercice.

2.4 Analyser le déplacement de l'instrument

La fonction de transfert du système complet est

$$H(p) = \frac{1}{(1 + 0,014p + 1,7 \cdot 10^{-4}p^2)(1 + 0,015p + 1,4 \cdot 10^{-3}p^2)}$$

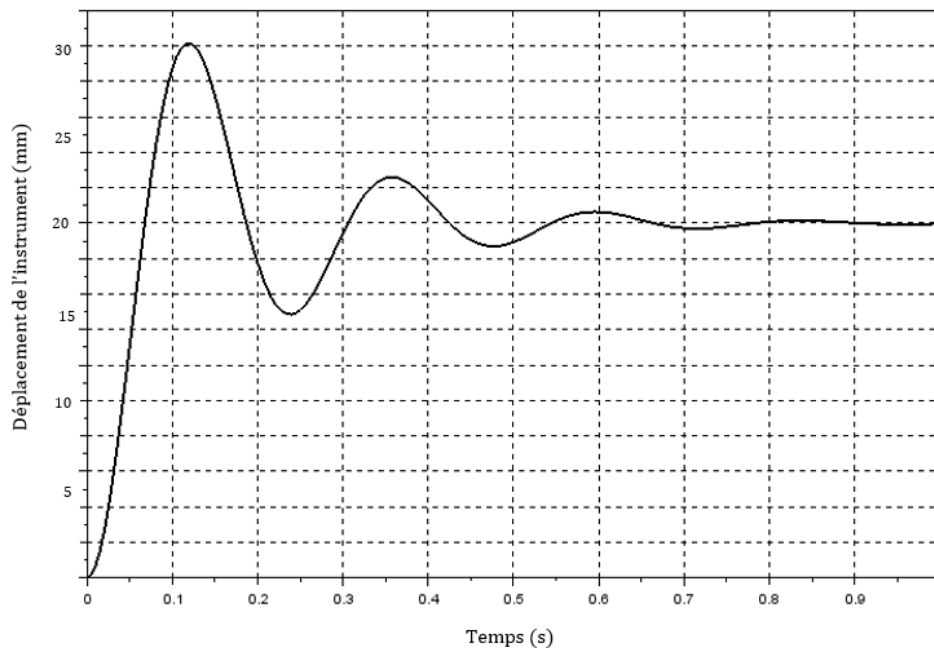


FIGURE 5 – Déplacement de l'instrument en mm en fonction du temps en seconde

Question 11: Conclure quant au critère de précision du cahier des charges.

La Figure 6 présente le diagramme de Bode en gain de le $H(p)$.

Question 12: Conclure quant au critère sur la bande passante du cahier des charges.

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

Question 13: Déterminer l'amplitude du mouvement pris par l'instrument. Quel est alors le risque pour la plaie ?

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 soustracteur. On propose trois filtres du premier ordre, de gains statiques égaux à 1 et de constante

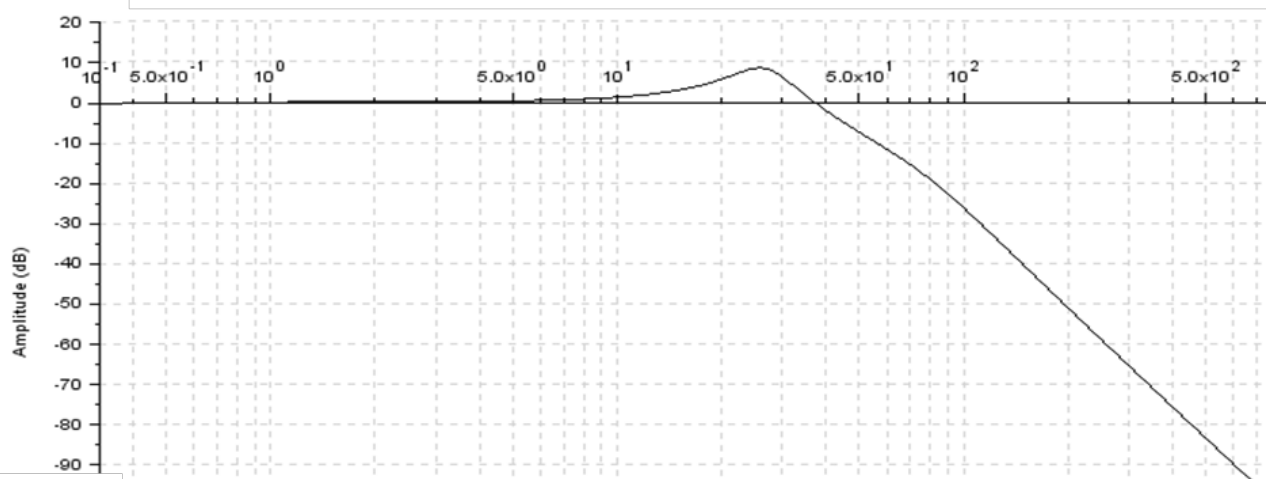


FIGURE 6 – Diagramme de Bode en gain de $H(p)$

de temps $T_1 = 0,04s$; $T_2 = 0,1s$; $T_3 = 0,5s$.

Question 14: Tracer sur la courbe de gain de la Figure 6 les trois diagrammes de gain de ses filtres avec des couleurs différentes.

Question 15: Sachant que les mouvements dont la période est inférieure à une seconde ne doivent pas être atténués de plus de 1dB, indiquer le (ou les) filtre(s) qui ne convient (conviennent) pas.

