

TD MICROFRAISAGE

TD 8

CI1-B : Performances d'un système > **Systèmes asservis**

v2.0

Lycée Jules Ferry - 82 Bd de la République - 06400 CANNES

MICROFRAISAGE PAR ÉLECTRO-ÉROSION



Compétences visées :

Compétence	Intitulé
A3-04	Identifier la structure d'un système asservi : chaîne directe, capteur, commande (fonction différence, correction).
A4-03	Extraire du cahier des charges les grandeurs pertinentes.
A4-05	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation.
A5-06	Exploiter et interpréter des résultats de mesure ou de simulation.
B2-20	Déterminer les fonctions de transfert en boucle ouverte et boucle fermée.
B2-22	Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ou du second ordre à partir de sa réponse indicielle.
C2-02	Prévoir les réponses fréquentielles des systèmes linéaires.
C2-05	Déterminer des paramètres permettant d'assurer la stabilité, en s'appuyant sur les tracés fréquentiels dans le plan de Bode.
C2-06	Déterminer l'erreur en régime permanent vis-à-vis d'une entrée en échelon ou en rampe (consigne ou perturbation).
C2-29	Déterminer les courants et les tensions dans les composants.

1 Mise en situation

1.1 Principe du micro fraisage

L'électro-érosion est un procédé d'usinage consistant à enlever de la matière par l'intermédiaire de décharges électriques entre deux électrodes immergées dans un fluide diélectrique (liquide ou gaz). L'une des électrodes constitue l'outil et l'autre la pièce à usiner.

1.2 Mise en situation

Une bobine de débobinage de fil en alliage de cuivre de diamètre de $200\text{ }\mu\text{m}$ est débobinée en amont de la zone de taillage à l'aide du moteur de débobinage par l'intermédiaire d'un train d'engrenages. Ce moteur assure également la récupération du fil utilisé en aval du taillage sur la bobine de bobinage par l'intermédiaire d'un second train d'engrenages.

Le fil est alors déroulé entre deux armatures conductrices d'un capteur dit d'élévation permettant de contrôler l'horizontalité du fil déroulé. Lorsque le fil est en contact avec l'une des deux armatures, un système de régulation active un moteur d'élévation des bobines en liaison avec un système pignon-crémaillère déplaçant verticalement le bloc constitué des bobines, du moteur de débobinage et des trains d'engrenages. Le fil se déroule ainsi toujours dans le même plan.

Le fil est ensuite guidé par une poulie danseuse se déplaçant en fonction de la tension du fil en sortie de bobine. Ce déplacement est assuré par un capteur inductif (non représenté sur la figure) utilisé pour contrôler la vitesse de rotation du moteur de débobinage et donc la vitesse de déroulement du fil. La régulation en vitesse et en tension (mécanique) du fil s'opère à l'aide de deux moteurs pilotés en courant et montés sur les axes de deux rouleaux (cabestans). Le moteur d'avance fil donne le mouvement d'avance au fil par l'intermédiaire du rouleau d'avance. Le fil est maintenu en contact sur ce rouleau à l'aide d'un système à galets presseurs réglables.

La vitesse du fil est quant à elle régulée par l'intermédiaire d'un système équivalent à l'aide d'un moteur de régulation en liaison directe avec un rouleau de régulation. La régulation en courant de ces deux moteurs permet ainsi de contrôler la vitesse moyenne du fil dans la zone de taillage et également de contrôler la tension dans le fil.

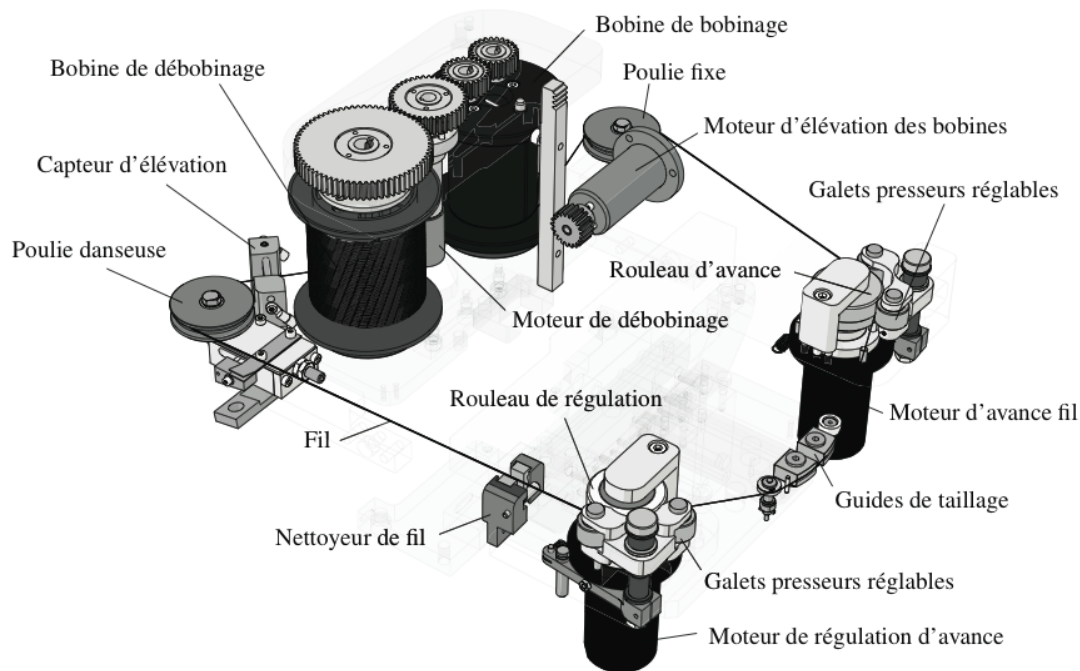


FIGURE 1 – Structure du mécanisme de micro fraisage

2 Validation du variateur de vitesse

Objectif

L'objectif est de valider la solution retenue, sachant que le procédé d'électro-érosion impose d'avoir une ondulation relative de vitesse du fil inférieure à 1%, soit :

$$\frac{\Delta v_i}{v_i} = \frac{\Delta \Omega_m}{\Omega_m} < 0,01 \text{ avec } \Delta \Omega_m = \Omega_{m,\max} - \Omega_{m,\min}$$

où $\Omega_{m,\max}$ et $\Omega_{m,\min}$ désignent les vitesses de rotation maximale et minimale du moteur et Ω_m la vitesse de rotation moyenne en régime stabilisé.

Les alimentations disponibles permettent d'avoir 230 V alternatif sinusoïdal 50 Hz et 24 V continu. Le moteur de débobinage fonctionne sur un quadrant.

Avant la mise en place de cette solution et afin de s'assurer que le critère d'ondulation relative de la vitesse est respecté, on réalise une simulation à partir des caractéristiques du variateur de vitesse du moteur.

On donne sur la figure 2 page suivante les chronogrammes du courant absorbé par le moteur et de la tension à ses bornes :

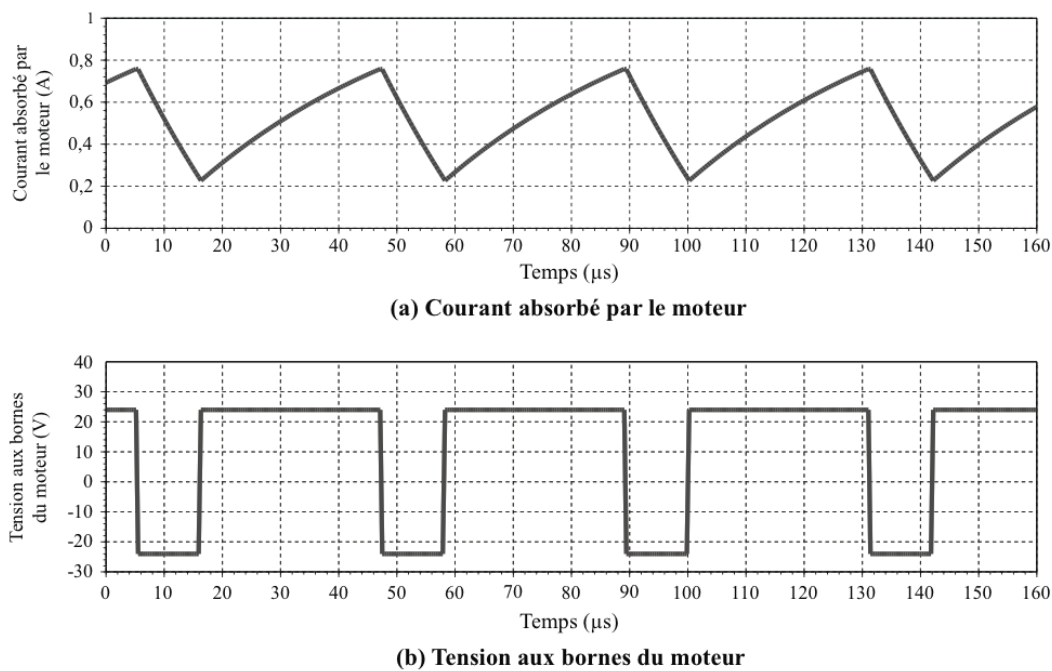


FIGURE 2 – Tension et courant simulés

Le modèle retenu pour le moteur à courant continu est rappelé figure 3 ci-contre, et les caractéristiques de ce moteur sont :

- $L = 710 \mu H$, inductance d'induit ;
- $R = 16 \Omega$, résistance d'induit ;
- $K_e = 32 mV.rad.s^{-1}$, constante électrique ;
- $K_t = K_e$, constante de couple.

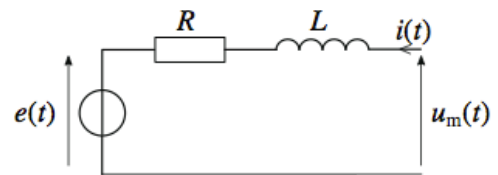


FIGURE 3 – Modèle du moteur

Question 1 Déterminer la période T , la fréquence f ainsi que le rapport cyclique α des signaux obtenus.

Question 2 En faisant l'hypothèse simplificatrice d'une évolution linéaire du courant, déterminer le courant moyen I_{mo} ainsi que la tension moyenne U_{mo} .

Donner l'expression de la force contre-électromotrice E_{mo} ainsi que celle de la vitesse de rotation Ω_{mo} . Faire les applications numériques.

Pour la suite, nous prendrons $\Omega_{mo} = 115 rad.s^{-1}$.

Question 3 Déterminer l'ondulation de courant $\Delta I = I_{max} - I_{min}$ avec I_{max} et I_{min} les valeurs respectives du courant maximal et minimal au cours d'une période du courant moteur.

En déduire l'ondulation de couple moteur ΔC_m . Quelles peuvent être les conséquences de cette ondulation ?

Ces ondulations ne doivent pas générer une variation de vitesse supérieure à 1 %. Pour cela, un essai indiciel sous une tension moteur de 12 V a été réalisé. L'évolution de la vitesse de rotation est donnée figure 4 page suivante :

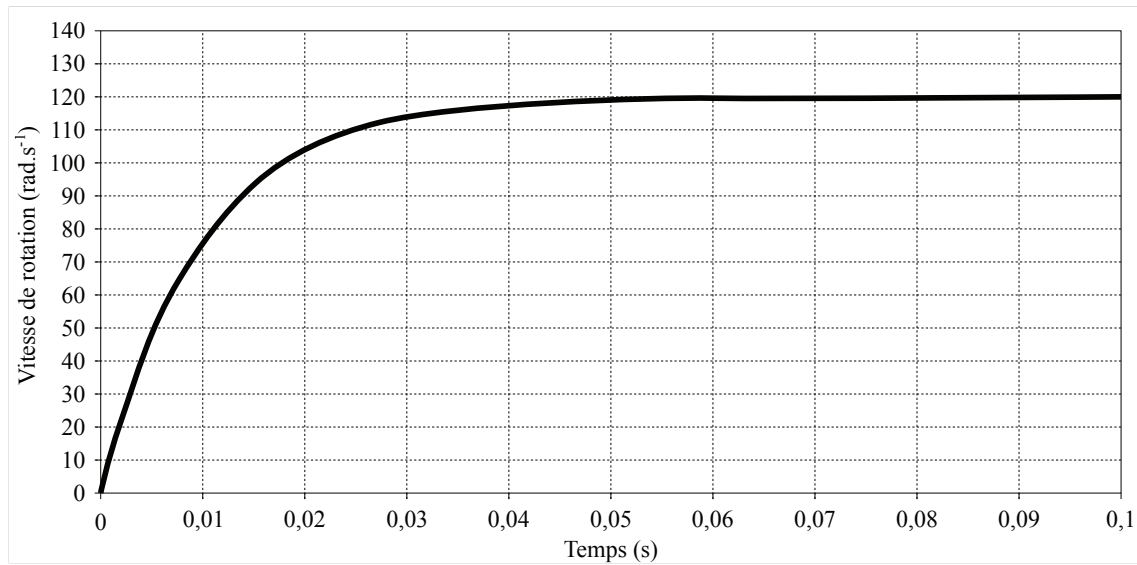
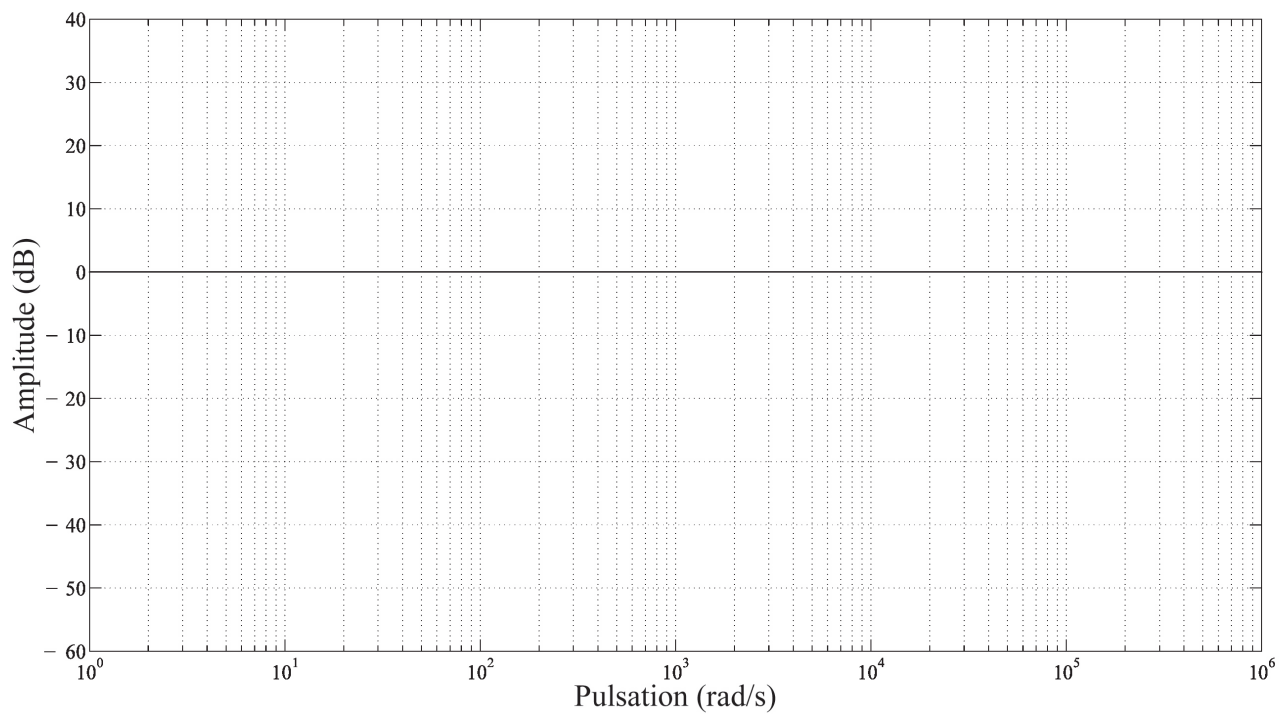


FIGURE 4 – Réponse indicielle à un échelon de tension de 12V

Question 4 Identifier la fonction de transfert $H(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)}$ en expliquant la méthode.

Question 5 En déduire l'expression de la fonction de transfert en régime harmonique $\underline{H}(j\omega) = \frac{\Omega_m(j\omega)}{U_m(j\omega)}$

Question 6 Tracer sur la figure suivante l'évolution asymptotique du gain $|\underline{H}(j\omega)|$:



La tension d'alimentation du moteur peut être décomposée en série de Fourier. Par souci de simplification, on ne tient compte que des 3 premiers harmoniques. On supposera que $u_m(t)$ peut s'écrire :

$$u_m(t) = U_{m0} + U_{m1} \cos(\omega t) + U_{m2} \cos(2\omega t) + U_{m3} \cos(3\omega t)$$

avec $U_{m0} = 11.5 \text{ V}$; $U_{m1} = 22.3 \text{ V}$; $U_{m2} = -15.3 \text{ V}$; $U_{m3} = 6.5 \text{ V}$

Question 7 Donner la pulsation des 3 premiers harmoniques de tension.

La vitesse de rotation du moteur $\Omega_m(t)$ peut s'écrire comme suit :

$$\omega_m(t) = \Omega_{m0} + \Omega_{m1} \cos(\omega t + \phi_1) + \Omega_{m2} \cos(2\omega t + \phi_2) + \Omega_{m3} \cos(3\omega t + \phi_3)$$

Question 8 A l'aide du diagramme de gain ci-dessus établi à la question 6, déterminer Ω_{m0} , Ω_{m1} , Ω_{m2} et Ω_{m3}

Question 9 En se plaçant dans le pire des cas à chaque fois, donner une valeur approchée des vitesses de rotation maximale $\Omega_{m,\max}$ et minimale $\Omega_{m,\min}$.

En déduire une estimation par excès de l'ondulation relative $\frac{\Omega_{m,\max} - \Omega_{m,\min}}{\Omega_{m0}}$.

3 Asservissement de la tension du fil

La tension du fil est assurée en gérant les courants des deux moteurs de régulation représentés sur la figure 5 ci-dessous :

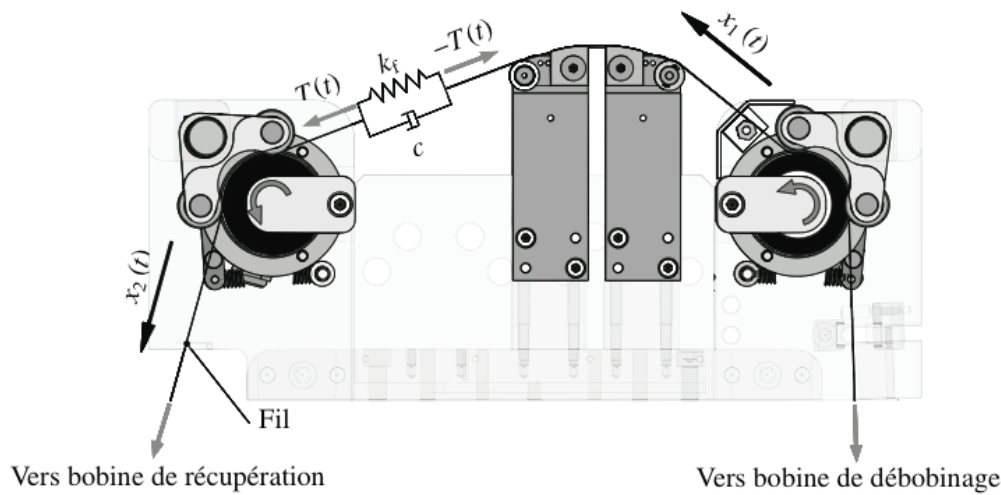


FIGURE 5 – Régulation de la tension du fil

La fonction de transfert entre $T(p)$ - transformée de Laplace de la tension du fil $T(t)$ - et $I_d(p)$ - transformée de Laplace de la différence de courant entre les 2 moteurs de régulation, est fournie :

$$H_2(p) = \frac{T(p)}{I_d(p)} = K_2 \frac{1 + \tau_2 p}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2}$$

Cette tension est asservie. Le schéma de la boucle de régulation est donné dans la figure 6 ci-dessous :

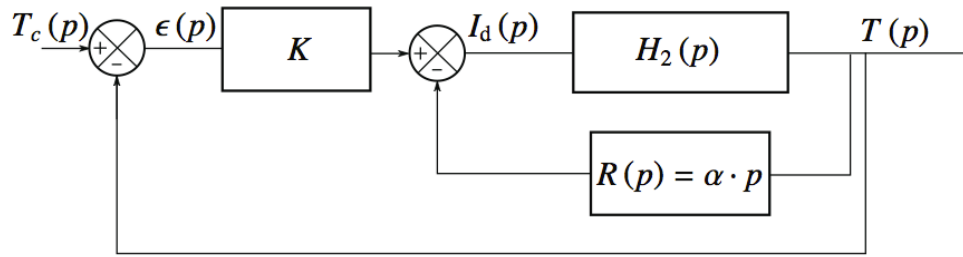


FIGURE 6 – Schéma bloc de la structure de la régulation

La mesure de la tension du fil est obtenue par un capteur dont la fonction de transfert est $R(p) = \alpha p$ avec $\alpha = 0.017 \text{ A.s.N}^{-1}$.

Objectif

L'objectif de cette partie est de vérifier que les performances du système asservi sont conformes à celles attendues :

- une erreur statique inférieure à 5 % ;
- une marge de phase de 45° minimum ;
- une marge de gain supérieure à 6 dB ;
- un temps de réponse de 30ms ;
- le premier dépassement doit être inférieur à 10 % de la valeur finale.

Question 10 À l'aide du schéma-bloc de l'asservissement, figure 6, écrire l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $H_c(p) = \frac{T(p)}{T_c(p)}$ du système, ainsi que la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{cBO}(p) = \frac{T(p)}{\epsilon(p)}$ en fonction de K , α et $H_2(p)$

Une étude du comportement de la boucle d'asservissement a permis de choisir $K = 2.5 \text{ A.N}$. La réponse indicielle en boucle fermée à un échelon de 1 N est alors donnée page suivante :

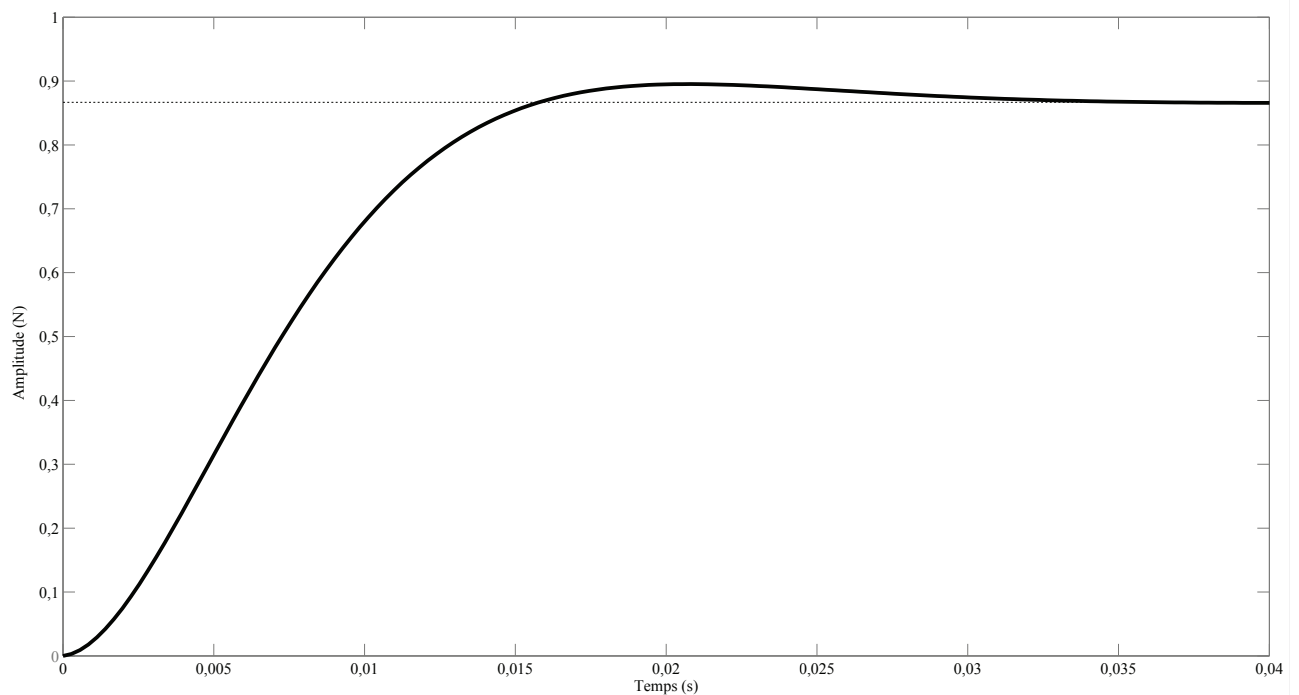


FIGURE 7 – Réponse indicielle en boucle fermée à un échelon d'amplitude 1 N

Question 11 À partir de la réponse indicielle, déterminer le temps de réponse à 5% noté $t_{5\%}$, l'erreur statique absolue $\epsilon_{+\infty}$, l'erreur statique relative $\epsilon_{\%}$ et le premier dépassement relatif $D_1\%$.

Question 12 Conclure sur les performances de précision, de rapidité et d'oscillation. Proposer une solution le cas échéant.

Une simulation a permis de tracer le diagramme de Bode, présenté page suivante, de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{BO}(j\omega)$.

Question 13 Déterminer les marges de phases et de gain obtenues. Conclure quant au respect du cahier des charges. Proposer une solution pour respecter ces performances le cas échéant.

