

Exercice 1:

Robot piscine AXIOM



L'étude proposée concerne un robot nettoyeur de piscine publique. Ce robot est conçu pour s'adapter à tout type de bassin, et peut nettoyer aussi bien les parois que le fond.

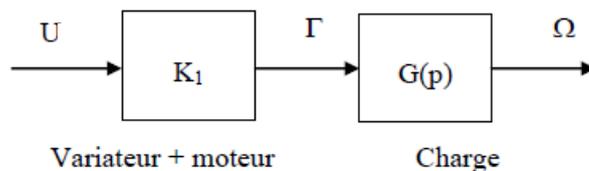
Pour certaines applications, on souhaite maîtriser la trajectoire du robot dans la piscine, et donc la vitesse de chacun des rouleaux brosses.

A cette fin, on veut asservir la vitesse de rotation de chacun des deux moteurs à courant continu équipant le robot.

Un moteur est piloté par une électronique de puissance (variateur) qui induit, au niveau de l'axe du moteur, un couple Γ proportionnel à la tension U en entrée du variateur :

$$\Gamma = K_1 \cdot U, \text{ avec } K_1 = 0,2 \text{ Nm/V.}$$

La charge qu'il entraîne, est modélisée par la fonction de transfert $G(p) = \frac{9025}{1,69 + p}$.



Pour réaliser l'asservissement de vitesse, une dynamo tachymétrique est montée sur l'axe du moteur. Elle délivre une tension U_v proportionnelle à la vitesse de rotation Ω :

$$U_v = K_2 \cdot \Omega \text{ et } K_2 = 6 \text{ V / 1000 tr/min.}$$

La tension de consigne U_c pilotant la vitesse du moteur est comparée à la tension U_v au niveau d'un soustracteur idéal qui donne en sortie le signal $\varepsilon = U_c - U_v$.

Le signal ε est modulé par un correcteur de fonction de transfert $C(p)$ pour fournir la tension U aux bornes du variateur.

Question 1 : dessiner le schéma bloc complet de cet asservissement en vitesse (n'oubliez pas l'IHM).

Dans un premier temps le correcteur sera de type proportionnel : on prendra $C(p) = K$

Question 2 :

- Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte sous forme littérale et canonique.
- Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée sous forme littérale et canonique.
- Quel est l'ordre de la FTBF ?
- Déterminer en fonction de K les caractéristiques de cette FTBF.



DM SLCI - cinématique

Le robot devant avancer à vitesse constante, alors qu'il est à l'arrêt, on met une entrée échelon d'amplitude E_0 .

Question 3 :

Calculer le temps de réponse à 5% ainsi que l'erreur statique, si le gain du correcteur est $K = 1$.
Pour cet asservissement, qu'elle est le paramètre le plus important : le temps de réponse à 5% ou l'erreur statique ?

Question 4 :

On considère $FTBF = K_{\text{sys}} / (1 + \tau_{\text{sys}} \cdot p)$

Par une décomposition en éléments simples, donner l'expression de la réponse temporelle du système avec l'entrée échelon E_0 sous forme littérale.

Question 5 :

Tracer, sur une même figure, l'évolution de la vitesse du robot en fonction du temps, avec une entrée échelon d'amplitude E_0 pour $K = 1$ et $K = 0,1$.
Comparer les performances du système avec les deux réglages de correcteur. Conclure.

Exercice 2: Agitateur médical

Introduction :

Dans le cadre d'expérimentations pour soigner les malades du diabète, une équipe de chercheurs travaille sur une technique de greffe de cellules du pancréas.

Ces cellules sont obtenues à partir d'un pancréas issu d'un don d'organes.

Elles sont isolées du pancréas puis purifiées. Ces dernières, responsables de la sécrétion d'insuline, sont, après un maintien en culture (24 à 48 heures) greffées à un patient diabétique.

Afin d'isoler les cellules, on place des fragments de pancréas au sein d'une petite enceinte thermostatée (photo 1). On a préalablement injecté un mélange d'enzymes à l'intérieur de l'enceinte. Une fois placés dans l'enceinte, les fragments de pancréas vont «baigner» dans cette enzyme, ce qui va enclencher un phénomène de digestion. Tout au long de la manipulation, la solution va circuler, dans un circuit fermé constitué de l'enceinte, de tuyaux et d'une pompe. Pour faciliter l'action de l'enzyme, l'opération se fait sous agitation permanente.

La digestion est aussi facilitée par le mouvement de billes en acier au sein de l'enceinte. L'agitation dure 1h30 à 2h30 et doit permettre la libération et la récolte des cellules du pancréas.

Nous allons dans la suite étudier le système d'agitation et de chauffage de l'enceinte thermostatée (photo 1).

Description de l'agitateur et du système de chauffage :

- Le système doit permettre l'agitation de l'enceinte par des mouvements continus alternatifs de bas en haut (100 mm) et par des mouvements de rotation alternée (+/- 45°).
- L'enceinte est maintenue à une température constante de 37°C pendant la digestion. La température de 37°C est produite par un collier chauffant disposé autour de l'enceinte. Ce collier chauffe la solution qui circule dans le circuit fermé.
- L'enceinte thermostatée s'adapte sur le système d'agitation.



DM SLCI - cinématique

La température de la solution est modifiée en suivant un protocole établi afin d'optimiser l'extraction.

- Élévation de la température de 15 °C à 37 °C.
- Maintien de la Chambre à 37 °C pendant 20-30 min.
- Début des manipulations à 37 °C pendant 10 min environ.
- Abaissement de la température à 20 °C.
- Fin des manipulations à 20 °C pendant 1h30.

Les contraintes de fonctionnement sont les suivantes :

- Montée en température rapide : 3 minutes maximum
- Ne doit en aucun cas dépasser 37.5°C (sinon cuisson des îlots)
- Précision de température +/-0.5°C

La maîtrise de la température joue un rôle crucial. L'objectif de notre étude est de réduire les temps de réaction et d'augmenter la précision en température du système de chauffage.

Nous utilisons, pour chauffer la solution circulant dans la chambre, un collier chauffant situé sur le pourtour de la chambre, alimenté en tension par une unité comprenant un correcteur et un amplificateur.

Cette unité élabore une tension, dépendant de la tension de consigne fournie par un appareillage auxiliaire U_{tc} (non étudié dans cette étude) et de la tension U_t provenant d'un capteur de température situé dans la chambre (figure 14).

U_{tc} : tension de consigne,

U_t : tension à l'image de la température (capteur de température mesurant la température dans la chambre),

U_a : tension d'alimentation du collier chauffant,

q_c : énergie calorifique fournie par le collier chauffant,

q_p : énergie calorifique perdue ou reçue par la chambre (en dehors du collier chauffant), perte par convection, par circulation de l'enzyme.

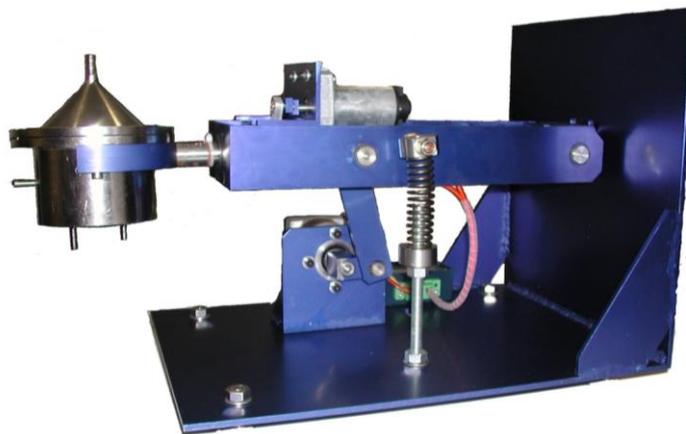


Photo 1 : l'agitateur

Identification du système

Un modèle de la boucle de régulation est donné figure 14. Il s'agit d'un schéma bloc comportant un correcteur, un ampli, le collier chauffant, la chambre et le capteur de température.

On considère que la fonction de transfert du correcteur est $C = 1$ et que $q_p = 0$.

Le système est stabilisé à 17°C avec une tension $U_c=0V$. Le capteur de température est calibré pour fournir une tension de 0V à cette température. On réalise un essai en boucle ouverte (entrée U_c ; sortie U_t) :

On applique brusquement une tension de 10V à l'entrée de l'amplificateur pour faire passer la température de 17°C à 37°C. On relève à l'aide du capteur de température l'augmentation de température (valeur de tension en sortie du capteur de température U_t : figure 16).

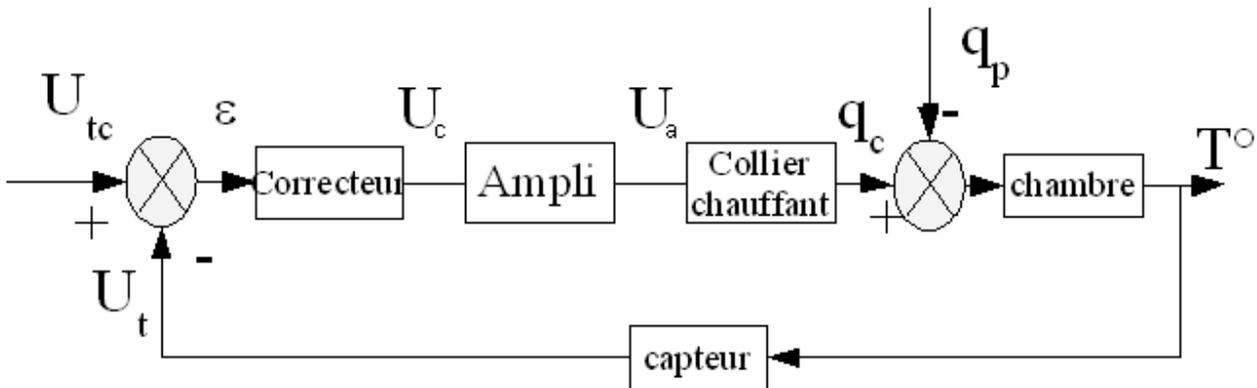


Figure 14: Boucle de régulation

Question 18 : A l'aide du tracé expérimental de la figure 16 qui correspond à l'augmentation de tension U_t en sortie du capteur de température, déterminer la forme générale de la fonction de transfert du système en Boucle ouverte défini par le rapport :

$$FTBO = \frac{U_t}{U_c}$$

Pour cela vous montrerez que cette FTBO est une fonction de transfert du 2^{ème} ordre, vous déterminerez la nature de ses pôles et la valeur de son gain.

Analyse des performances

On considère maintenant le système régulé avec pour entrée U_{tc} tension de consigne et pour sortie U_t , tension image de la température. La boucle de retour est alors unitaire. Le capteur de température se trouve dans la chaîne directe.

Question 19 : Tracer le schéma bloc de la régulation afin d'avoir un retour unitaire, une entrée U_{tc} et la sortie U_t .

Question 20 : Déterminer la valeur du gain du capteur de température. Déduire de ce résultat et de la contrainte de précision en température, la contrainte de précision en tension.

A partir d'une identification précise et en considérant la perturbation nulle, on trouve la FTBO (sans correcteur) de ce système égale à :

$$\frac{U_t}{U_c} = \frac{0,5}{(1+5p).(1+100.p)}$$

Question 21 : Calculer le temps de réponse à 5% du système régulé, en vous aidant de la figure 15 : « Temps de réponse réduit pour second ordre ». Réalisez l'application numérique. Conclure par rapport à la contrainte du cahier des charges.

Question 22 : Calculer l'écart pour une entrée en échelon (écart de position). Réalisez l'application numérique. Conclure par rapport à la contrainte du cahier des charges.



DM SLCI - cinématique

Question 23 : Tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert en Boucle ouverte du système ; utiliser le document réponse (Tracé de Bode), sur lequel vous réaliserez le tracé du gain et du déphasage.

Préciser :

- les asymptotes,
- l'expression du module en décibels et du déphasage en fonction de la pulsation ω ,
- les valeurs du gain en décibels et du déphasage pour $\omega=0,01$, $\omega=0,1$ et $\omega=1$,
- l'allure réelle des courbes de gain et de phase.

Question 24 : Que pensez vous des marges de gain et de phase? Le système est-il stable ?

Amélioration des performances

On désire améliorer les performances de la commande afin de réduire les temps de réaction du système en utilisant un correcteur C (voir figure 14).

Question 25 : pour $C(p)=K$, correcteur action Proportionnelle.

Compte tenu de la contrainte de non dépassement, choisir la valeur optimale du coefficient d'amortissement puis déterminer la valeur du correcteur qui optimise les performances du système. Sur le document réponse, tracer le lieu de transfert de la FTBO du système corrigé dans Bode en vous appuyant sur le tracé initial.

Question 26 : Déterminer les éléments de performances, temps de réponse à 5% et écart de position. Faire l'application numérique. Conclure par rapport aux contraintes du cahier des charges.

Question 27 : pour $C(p)=\frac{K}{T_i p}(1+T_i p)$ action Proportionnelle et Intégrale.

Ecrire l'expression de la nouvelle FTBO. Afin d'améliorer la rapidité du système, déterminer la valeur de T_i qui permet d'éliminer la plus grande constante de temps de la FTBO initiale (compensation du pôle dominant). Puis déterminer la valeur de K qui optimise les performances du système toujours compte tenu des contraintes du cahier des charges.

Question 28 : Déterminer les éléments de performances, temps de réponse à 5% et écart de position. Faire l'application numérique. Conclure par rapport aux contraintes du cahier des charges.

Question 29 : Calculer la marge de phase du système corrigé.

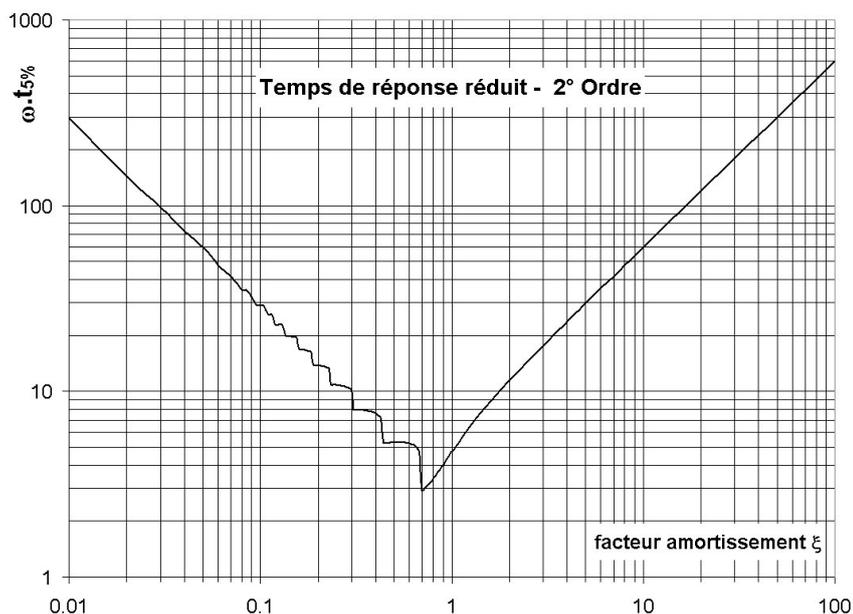


Fig 15 : temps réponse réduit



DM SLCI - cinématique

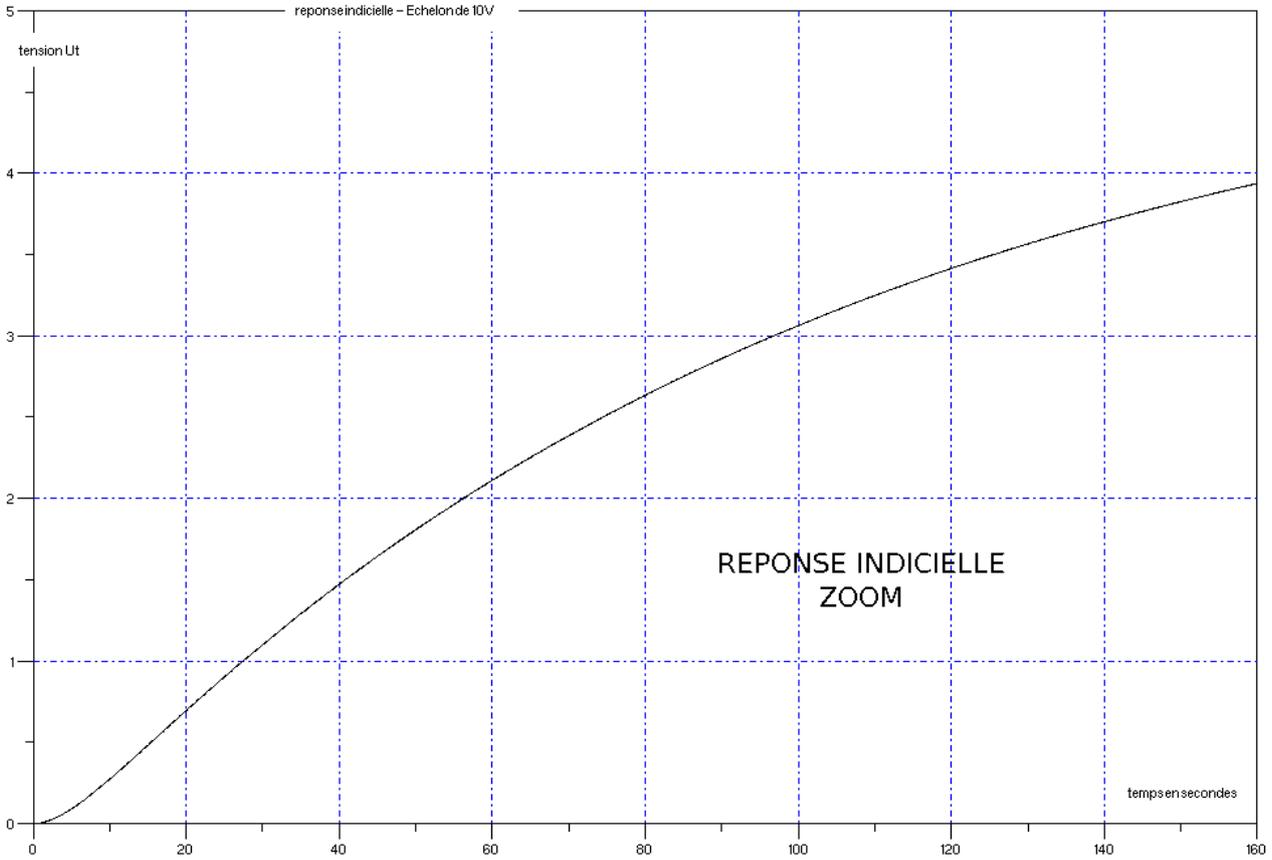
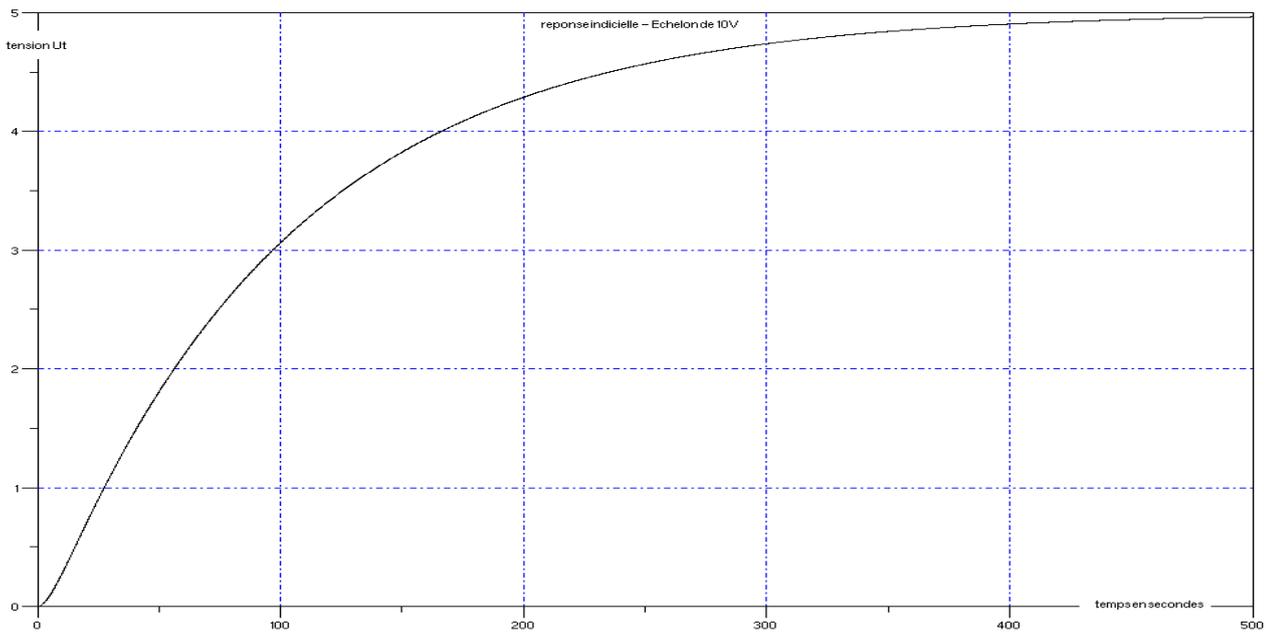


Figure 16: Réponse à un échelon de 10V

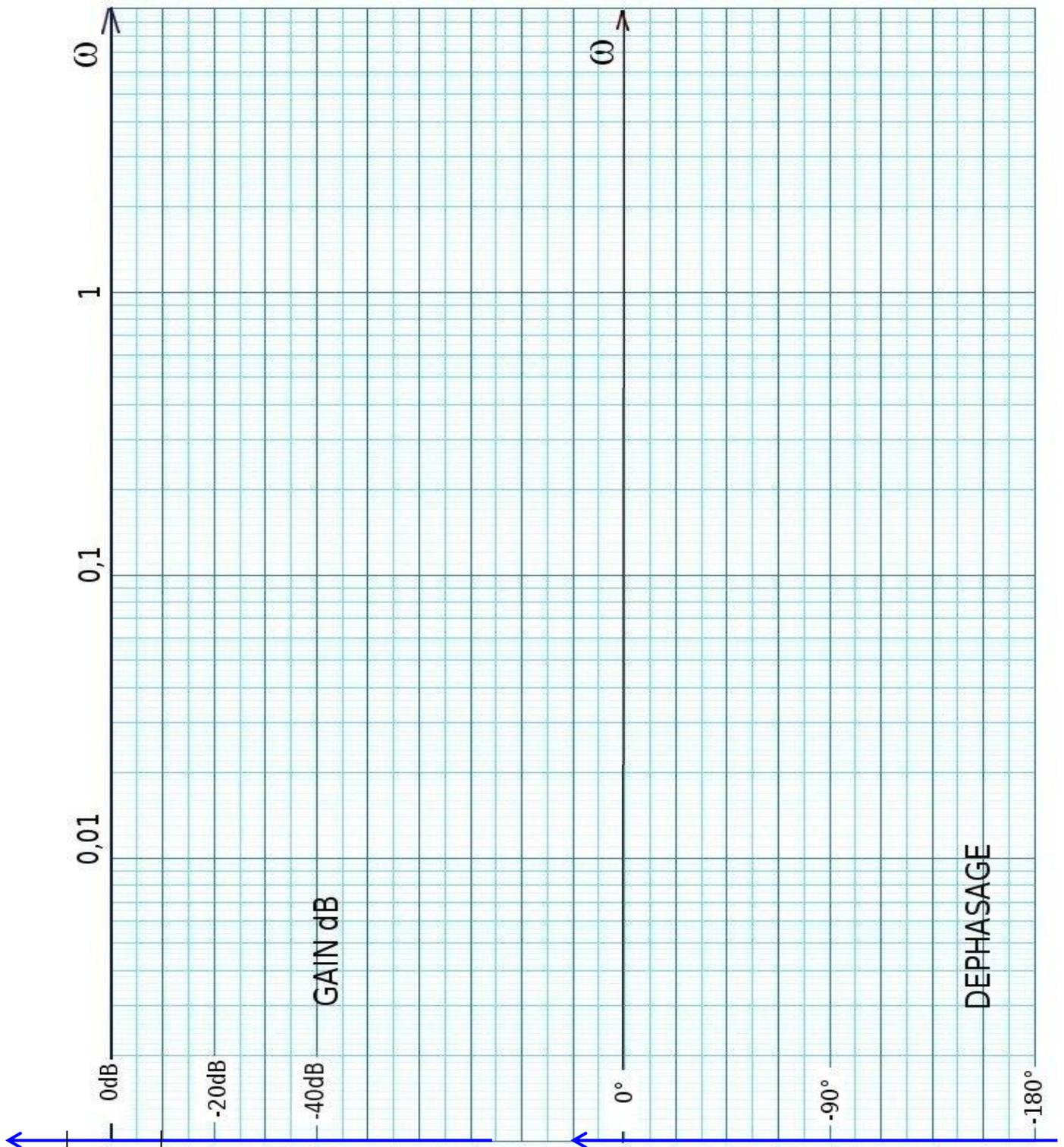




DM SLCI - cinématique

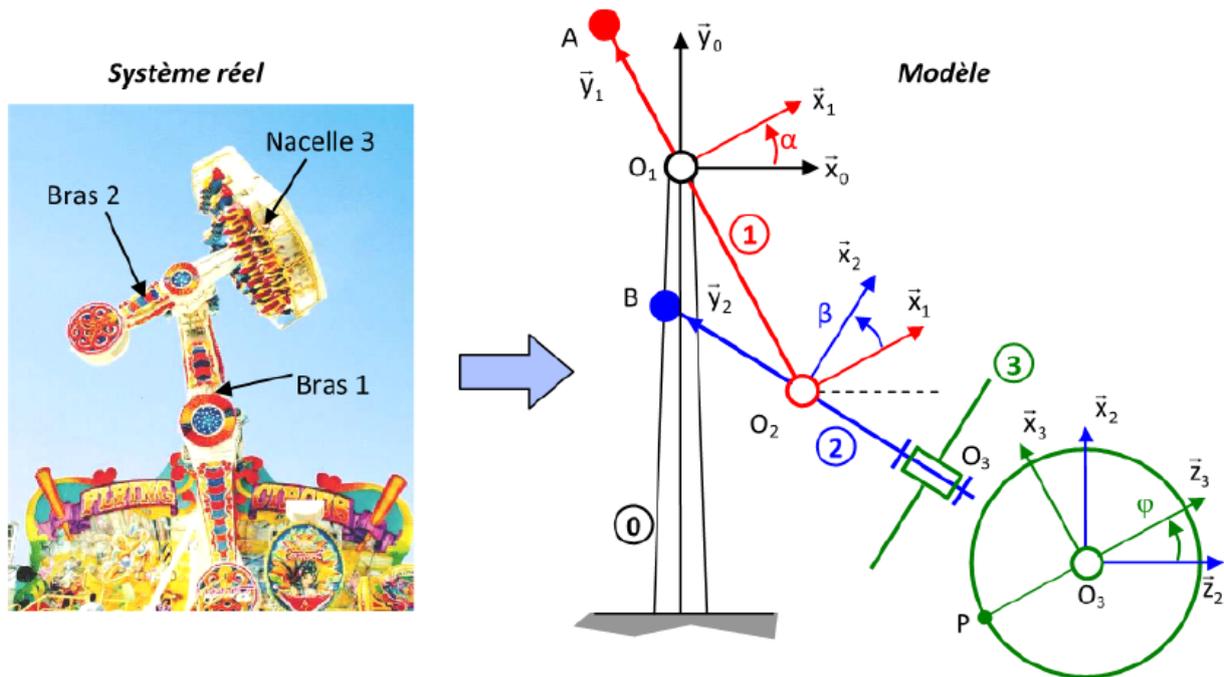
DOCUMENT REPONSE

Question 23 : *Tracé de Bode*



Exercice 3 : Magic arms

La manège Magic Arms dont la modélisation ainsi qu'un extrait de cahier des charges fonctionnel est composé d'une structure métallique d'environ 12 m de haut avec deux bras mobiles. Les passagers s'assoient sur 39 pièces disposées sur une plate-forme tournante. Dès que tous les passagers sont assis et attachés, la nacelle tourne autour de son axe, le bras principal (bras 1) et le bras secondaires (bras 2), liés l'un à l'autre au début du cycle, commencent à tourner. Après 9 secondes, le maximum de hauteur est atteint et les deux bras se désindexent et se mettent à tourner indépendamment l'un de l'autre. Tous les mouvements sont pilotés par ordinateur.



Exigences techniques	Critère	Niveau
Exigence 1.2	Accélération subie par le passager	2,5g maxi

Le manège, schématisé ci-dessus, comporte :

- un bras principal 1 assimilé à une barre AO_1O_2 . Il est en liaison pivot parfaite d'axe (O_1, \vec{z}_1) caractérisé par le paramètre α avec le bâti 0. On pose $\vec{O_1O_2} = -l_1 \cdot \vec{y}_1$.
- un bras secondaire 2 assimilé à une barre BO_2O_3 . Il est en liaison pivot parfaite d'axe (O_2, \vec{z}_2) caractérisé par le paramètre β avec le bras principal 1. On pose $\vec{O_2O_3} = -l_2 \cdot \vec{y}_2$.
- une nacelle 3 assimilée à un disque de centre O_3 et de rayon R . Elle est en liaison pivot parfaite d'axe (O_3, \vec{y}_2) caractérisé par le paramètre φ avec le bras 2. On s'intéresse plus particulièrement à un passager considéré comme un point matériel P tel que $\vec{O_3P} = -R \cdot \vec{z}_3$.

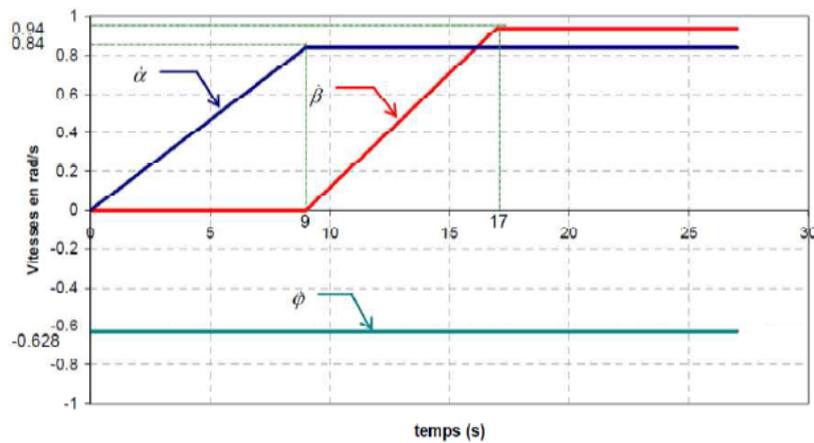


DM SLCI - cinématique

Q.1. Construire les figures planes de repérage/paramétrage puis Exprimer les vecteurs vitesses instantanés de rotation $\vec{\Omega}_{10}$, $\vec{\Omega}_{20}$ et $\vec{\Omega}_{30}$ de chacun des solides 1,2 et 3 dans leur mouvement respectif par rapport au bâti 0.

Q.2. Déterminer l'expression générale de la vitesse du point P associé au passager par rapport au bâti 0, notée $\vec{V}_{P,3/0}$.

On donne ci-contre l'évolution des vitesses angulaires des moteurs du manège en fonction du temps.



Q.3. Déterminer les valeurs des paramètres α , β et ϕ puis l'expression analytique des positions angulaires $\alpha(t)$, $\beta(t)$ et $\phi(t)$ dans l'intervalle de temps [17-27] secondes en sachant qu'à l'instant $t=17s$, on a $\alpha= 10,5$ rad, $\beta= 3,76$ rad et $\gamma = -10,676$ rad.

Q.4. Déterminer à partir des équations obtenues Q.3. les valeurs numériques à l'instant $t_1=19,8$ s de α , β et ϕ .

Q.5. On pose $\vec{V}_{P,3/0} = V_{x2} \cdot \vec{x}_2 + V_{y2} \cdot \vec{y}_2 + V_{z2} \cdot \vec{z}_2$. Déterminer les expressions littérales de V_{x2} , V_{y2} et V_{z2} puis les valeurs numériques de V_{x2} , V_{y2} et V_{z2} à l'instant $t_1=19,8s$. (Données : $l_1 = 3,9m$, $l_2 = 2,87m$, $R = 2,61m$).

Q.6. Déterminer l'expression générale de l'accélération du point P associé au passager par rapport au bâti 0, notée $\vec{\Gamma}_{P,3/0}$