Concours e3a-Polytech, France

Session 2008, filière MP

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 3 heures

Ce que traite le sujet

- Mise en situation : champ observé et tangage
- Partie 1 : commander le déplacement (FT31)
- Partie 2 : limiter le tangage (FT32)

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/e3a/mp/2008/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

IM12

e3a

CONCOURS ENSAM - ESTP - ARCHIMEDE

Épreuve de Sciences Industrielles MP

Durée 3 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est autorisé.

Le candidat formulera toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaire pour résoudre les questions posées. De plus, le candidat prendra soin de rédiger ses réponses et donnera les justifications utiles.

A rendre avec les copies 3 documents réponses non-pliés.

Tournez la page S.V.P

CABLECAM de HYMATOM

La société Hymatom conçoit et fabrique des systèmes de vidéosurveillance.
Le système câblecam (figure 1) est composé d'un chariot mobile sur quatre roues posé sur deux câbles porteurs d'une longueur de 100 m. Ces câbles servent également à alimenter la caméra et ses moteurs d'orientations qui sont liés au chariot. Un câble tracteur dont les deux extrémités sont attachées au chariot est actionné par un moteur à courant continu fixé au bâti. Deux contrepoids via un moufle (voir l'agrandissement sur la figure 1) maintiennent les câbles porteurs en tension.

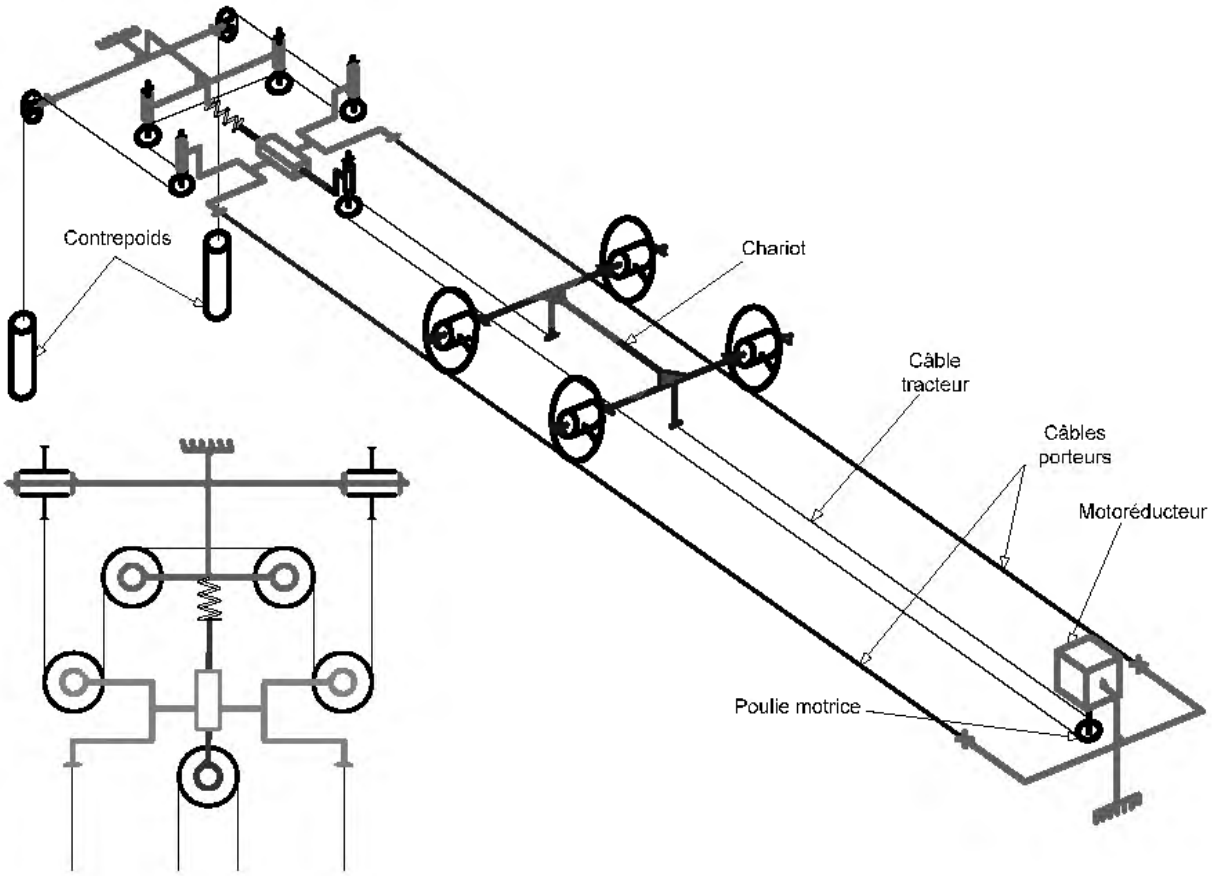


Figure 1 : *Schéma du système câblecam* et détail du moufle vu de dessus.

Le chariot transporte une caméra (figure 2) en liaison rotule à doigt avec son support dont les axes, l'un vertical et l'autre horizontal peuvent être pilotés à distance par le télésurveilleur ou le logiciel de télésurveillance. De plus, le chariot embarque le système de communication sans fil.



Figure 2 : *Chariot (sans le capot supérieur) intégrant une caméra deux axes.*

Un prototype a été réalisé et testé, ce qui a permis d'améliorer certaines parties et de contrôler que le cahier des charges fonctionnel pouvait être respecté ; lors de ces tests des mouvements parasites ont été

observés. Un phénomène de pompage (déplacement vertical), des oscillations de tangage (avant/arrière) et de roulis (tribord/bâbord) surviennent dès que l'on met le chariot en mouvement. Ces mouvements limitent l'utilisation de la caméra dans ses grossissements les plus forts. En effet, le zoom de la caméra peut réduire l'angle de champ (ou angle de vue) jusqu'à 1,8°. Par ailleurs, le stabilisateur d'image incorporé ne permet de corriger des tremblements que sur un tiers de la largeur ou de la hauteur des images.

Q1)

a) Calculer en mètres, le champ observable à 100 m avec le plus fort grossissement.
b) Calculer également l'angle de roulis admissible grâce au stabilisateur.

L'étude qui est proposée dans ce sujet porte sur le comportement du chariot lors d'un déplacement et plus précisément sur les limites de stabilité. Voici le diagramme simplifié des interacteurs pour cette phase de vie :

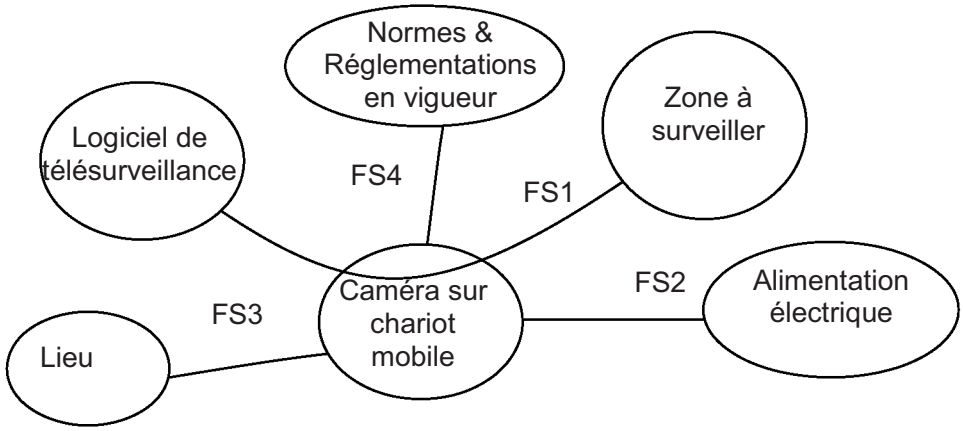


Figure 3 : *le diagramme simplifié des interacteurs*

Description des Fonctions de Services :

FS1 : obtenir des images des zones à surveiller exploitables par le logiciel.
FS2 : être alimentée en énergie électrique réglementée.
FS3 : évoluer sans gêne ni danger dans le lieu d'exploitation.
FS4 : être adaptée aux normes et aux réglementations en vigueur.

Le logiciel peut piloter la caméra en la déplaçant et en l'orientant sur les zones à couvrir, par exemple, les allées transversales d'un grand entrepôt. Des événements inhabituels peuvent être détectés et analysés par le logiciel. Un objet mobile peut être suivi dans les zones surveillées. Tout ceci nécessite que les images acquises et leur transmission soient de bonne qualité. Donc, les déplacements de la caméra doivent être suffisamment stables.

Caractérisation d'une partie de la Fonction de Service FS1 :

Qualification	Critère	Niveau
Pompage	Amplitude des oscillations	2 cm maxi
Tangage	Amplitude des oscillations	3° maxi
Roulis	Amplitude des oscillations	3° maxi
Positionnement	Position finale	±5 cm maxi
Suivi	Vitesse Maxi	2 m/s
Contrôle de la vitesse	Respecter la vitesse	±1% maxi de la vitesse de consigne
…		

Étude de la Fonction de Service FS1 :

Obtenir des images des zones à surveiller exploitables par le logiciel.

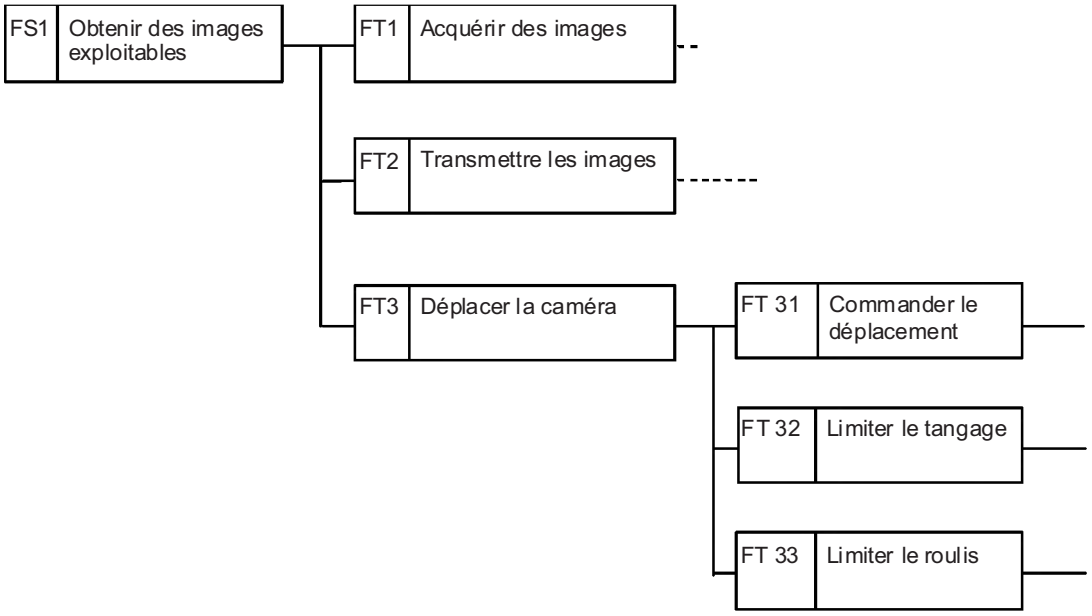


Figure 4 : *FAST partiel*

L'étude sera limitée à des analyses des sous fonctions techniques de FT3.

Q2) Expliquer qualitativement et succinctement ce qui peut provoquer le tangage.

1 FONCTION TECHNIQUE FT31 : COMMANDER LE DEPLACEMENT

Objectif de l'étude :

Vérifier le respect de la précision imposée par le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) en positionnement et en vitesse sans tenir compte des mouvements parasites.

Le schéma bloc physique de la commande du déplacement du chariot est le suivant :

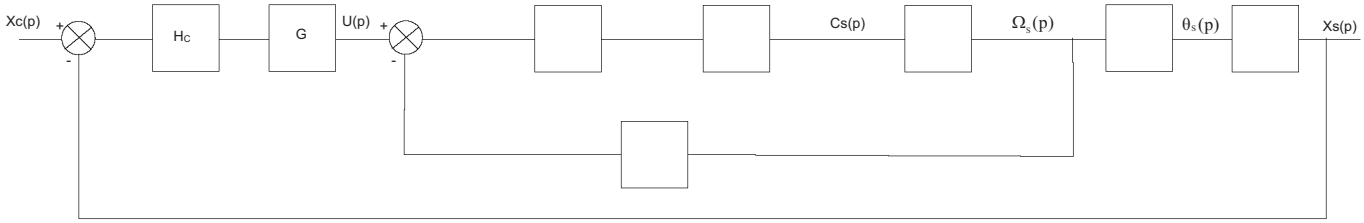


Figure 5 : *Schéma bloc physique de la commande*

Avec :

x_c	consigne de position à atteindre	θ_s	position angulaire de l'arbre de sortie du motoréducteur
x_s	position réelle du chariot	ω_s	vitesse de rotation de l'arbre de sortie du motoréducteur
G	gain de l'amplificateur	H_C	transmittance du correcteur
c_s	couple en sortie du motoréducteur	u	tension d'alimentation du moteur

Les transmittances des différents blocs seront déterminées dans la suite du sujet pour pouvoir étudier le comportement global du système.

1.1 MODÉLISATION DU MOTOREDUCTEUR

Remarque :

Pour toute l'étude, les variables temporelles seront écrites en minuscule et les variables dans le domaine de Laplace en majuscule.

Le comportement linéarisé du motoréducteur autour de son point d'équilibre est modélisé par les quatre équations suivantes :

Équation mécanique : $c_s(t) + c_r(t) = J_{eq}.d^2\theta_s(t)/dt^2$
Équation électrique : $u(t) = R.i(t) + e(t) + L.di(t)/dt$
Équation de couplage tension – vitesse : $e(t) = k_e.\ \omega_s(t)$
Équation de couplage couple – intensité : $c_s\ (t) = k_t.i(t)$

Avec :

u	tension d'alimentation du moteur en V.	c_r	couple résistant appliqué à l'arbre de sortie du motoréducteur en N.m.
ω_s	$d\theta_s/dt$ vitesse de rotation de l'arbre de sortie du motoréducteur en rad/s.	L	inductance de l'induit en H.
i	intensité dans l'induit du moteur en A.	e	force contre électromotrice du bobinage du moteur en V.
R	résistance de l'induit en Ohm.	J_{eq}	moment d'inertie équivalente de l'ensemble mobile rapportée à l'arbre de sortie du motoréducteur en kg.m².

Le moment d'inertie équivalente du motoréducteur rapportée à son arbre de sortie est $J_m = 9{,}0.10^{-3}$ kg.m².
Le couple résistant c_r est négligé car les câbles porteurs sont supposés horizontaux dans cette partie du problème et les frottements sont négligés.

Données :

Tension maximale d'alimentation du moteur	U_{max}	= 24 V	Courant nominale de l'induit	I_n	= 7,8 A
Constante de couple	k_t	= 0,41 N.m/A	Constante de force contre électromotrice	k_e	= 0,41 V.s/rad
Résistance de l'induit	R	= 0,103 Ω	Inductance de l'induit	L	= 0,04 mH
Gain de l'amplificateur	G	= 400 V/m	Masse du chariot	M	= 4,3 kg
Rayon de la poulie motrice	R_m	= 50 mm			
Longueur total du câble tracteur	L_T	= 200 m	Rapport de réduction cinématique du réducteur (entrée/sortie)	r	= 7

Q3)

a) Exprimer les quatre équations relatives au motoréducteur dans le domaine de Laplace en considérant que les conditions de Heaviside (conditions initiales nulles) sont respectées.

b) Compléter les blocs modélisant le système sur le document réponse DR1.

On néglige l'inertie des poulies ainsi que l'inertie des roues du chariot par rapport à l'inertie du câble tracteur qui a une masse linéique ρ_T de 10^{-2} kg/m et une longueur L_T = 200 m.

Définition :

Soit un ensemble de solides S en mouvement sous l'action d'un moteur rotatif. Le moment d'inertie équivalent, rapporté à l'arbre moteur de cet ensemble S est noté Jéq. Ce moment d'inertie équivalent est défini par la relation 2 T(S/R) = Jéq ω^2 où T(S/R) est l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble S et ω la vitesse de rotation galiléenne.

Q4)

a) Déterminer le moment d'inertie équivalente J_{eq} de l'ensemble mobile (motoréducteur, câble tracteur et chariot, les moments d'inertie des autres éléments mobiles sont négligeables) rapportée à l'axe de sortie du motoréducteur.

b) Donner la part en pourcentage du moment d'inertie du moteur dans cette inertie équivalente sachant que l'inertie du moteur est J_{moteur} = 1430 g.cm² par rapport à son axe.

1.2 ÉTUDE DE LA BOUCLE FERMÉE

Q5)

a) Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte H_O du système sous la forme canonique.

b) Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée H du système sous la forme canonique.

$$H(p) = \frac{X_s(p)}{X_c(p)}$$

L'influence de l'inductance par rapport aux autres grandeurs caractéristiques sur la réponse du système étant faible, elle sera négligée dans la suite du sujet.
On considèrera $J_{eq} = 2{,}5.10^{-2}$ kg.m² pour les applications numériques dans la suite du sujet.
La transmittance du correcteur H_C est égale à 1 pour cette partie.

Q6) Déterminer le coefficient d'amortissement ξ, la pulsation propre non amortie ω_0 et le gain statique du système K.

Q7) Tracer l'allure de la réponse temporelle de ce système en faisant apparaître le signal de consigne pour une commande en échelon X_{C0} de 2 m. Exprimer et calculer l'amplitude du premier dépassement D_1 et la pseudo période T_n puis, les indiquer sur le graphe.

Q8) Déterminer l'erreur statique du système. Dire si le comportement est compatible avec son utilisation. Justifier succinctement.

Q9) Déterminer la valeur maximale de la tension appliquée aux bornes du motoréducteur pour cette commande. Vérifier si cette valeur est compatible avec les capacités physiques du motoréducteur. Justifier succinctement.

Afin d'éviter tout risque de saturation, on décide d'implanter une loi de commande en vitesse de type trapézoïdal.
Le démarrage s'effectuera plus progressivement et on restera dans des grandeurs de commande tolérables. De plus, les mouvements parasites du chariot lors des phases de démarrage et d'arrêt seront atténués.

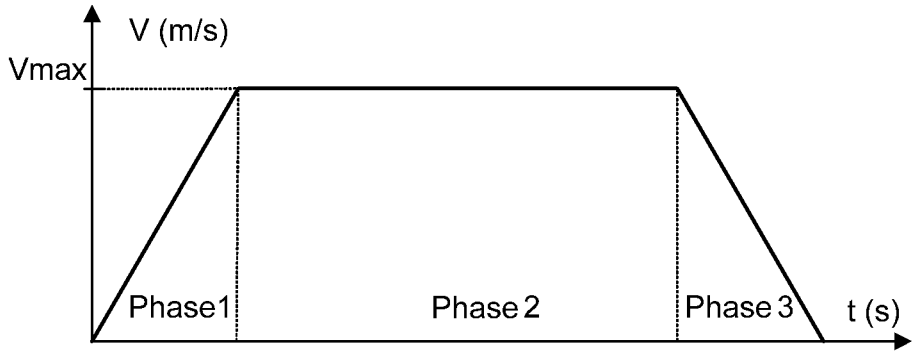


Figure 6 : *Loi de commande*

Le pilotage effectif du système est toujours réalisé en terme de position qui est le seul paramètre d'entrée. La conversion en position est effectuée par le microcontrôleur de gestion.

Q10)

a) Identifier de manière qualitative le type de consigne en position correspondant à chacunes de ces trois phases pour le système.

b) Sur le document réponse DR2, tracer l'allure de la position du chariot jusqu'à son arrêt. Ne pas faire de calculs.

Q11) Indiquer sur la courbe précédente l'endroit où l'erreur est maximale. Justifier succinctement.

En vue de comparer le comportement fréquentiel du système actuel avec sa version corrigée, on décide de tracer les diagrammes de Bode en gain et en phase.

Q12)

a) Sur le graphe semi log du document réponse DR3, tracer en bleu les diagrammes asymptotiques et l'allure des courbes réelles des lieux de Bode de la FTBO, H_O. Indiquer également la marge de gain MG et la marge de phase $M\varphi$.

b) Commenter succinctement ces valeurs vis-à-vis de la stabilité.

1.3 CORRECTION DU SYSTEME

Afin d'améliorer les performances du système, on décide de mettre en place une correction par avance de phase.

$$H_C(p) = \frac{1 + a\tau p}{1 + \tau p} \text{ avec } \tau = 0{,}01 \text{ s et } a = 2{,}9$$

Q13) Sur le graphe semi log du document réponse DR3, tracer en noir le diagramme asymptotique du lieu de Bode en gain correspondant au correcteur. La phase du correcteur est déjà tracée.

Q14) Sur le graphe semi log du document réponse DR3, tracer en vert l'allure des courbes réelles des lieux de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte du système corrigé. Indiquer également la marge de gain MG_c et la marge de phase $M\varphi_c$.

Q15) Commenter succinctement l'apport de ce correcteur sur la stabilité du système.

Conclusion de cette partie :

On a vérifié partiellement la qualité de l'asservissement au regard du Cahier des Charges Fonctionnel.
Toutefois, divers essais sur le prototype ont montré qu'avec cette commande le comportement général n'est pas celui attendu. Un écart statique apparaît systématiquement.
Une recherche des sources d'erreurs a mis en évidence que l'hypothèse formulée sur les câbles porteurs n'est pas correcte. En effet, malgré la mise en tension des câbles porteurs par le moufle, la déformation est non négligeable.

La prise en compte de cette déformation impose une modification de la structure de la commande. Ceci est étudié dans la seconde partie.

2 FONCTION TECHNIQUE FT32 : LIMITER LE TANGAGE

Objectif de l'étude :

Vérifier que l'angle de tangage est inférieur à celui imposé par le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF). Cette étude permettra d'affiner la loi du mouvement du chariot et donc, d'améliorer la modélisation de la commande utilisée pour la FT31.

Le référentiel $R_0(O_0 ; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au sol 0 est considéré comme galiléen avec $\vec{y}_0$ axe vertical ascendant et $\vec{x}_0$ un axe horizontal.

On associe le repère $R_1(O ; \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ au chariot 1. L'étude est faite ici en considérant le chariot comme un solide indéformable et ayant un roulis nul. De plus, à la vue du plan de symétrie du chargement, on considérera dans cette partie le problème comme plan.

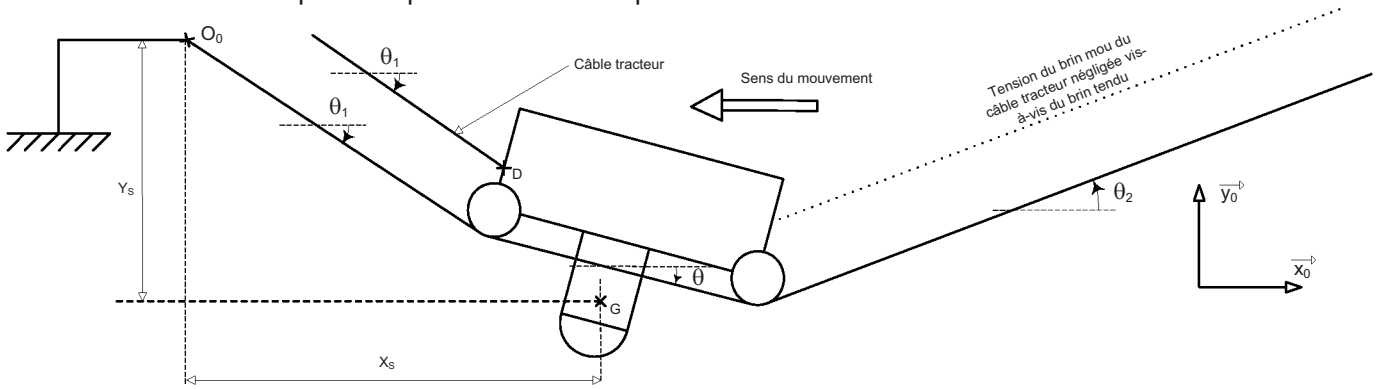


Figure 7 : *Schéma du paramétrage des câbles*

Q16) Afin de faciliter certains calculs qui vont suivre, tracer la figure de changement de base entre les repères R_0 et R_1. Puis, exprimer le vecteur rotation associé.

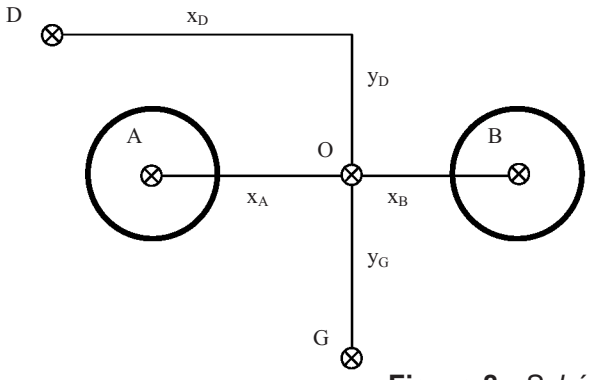


Figure 8 : *Schéma du paramétrage du chariot.*

Paramétrage : $\overrightarrow{OA} = -x_A.\vec{x}_1$; $\overrightarrow{OB} = x_B.\vec{x}_1$; $\overrightarrow{OG} = -y_G.\vec{y}_1$; $\overrightarrow{OD} = -x_D.\vec{x}_1 + y_D.\vec{y}_1$ et $\overrightarrow{O_0G} = x_S.\vec{x}_0 + y_S.\vec{y}_0$

Avec :

G	centre de gravité du mobile
A et B	centres des galets.
D	point d'attache du câble tracteur sur le chariot.
T_D	norme de l'effort tracteur.
M	masse du chariot. M = 4,3 kg
J_G	moment d'inertie du chariot par rapport à l'axe $(G, \vec{z}_0)$ avec J_G = 0,2 kg.m².
L_P	longueur des câbles porteurs. L_P = 100 m.

Hypothèses :

L'action mécanique du câble porteur sur respectivement, les roues avant ou les roues arrière peut être modélisée par un glisseur $\left(\overrightarrow{R_A} \text{ ou } \overrightarrow{R_B}\right)$ dont l'axe central est incliné d'un angle δ_A ou δ_B avec la verticale (voir figure 9) passant par le point A ou B.

Q17) Pour déterminer les équations scalaires du mouvement :

a) Appliquer au chariot le théorème de la résultante dynamique. Laisser l'équation sous sa forme vectorielle.

b) Appliquer au chariot le théorème du moment dynamique exprimé au point G. Laisser l'équation sous sa forme vectorielle.

c) En déduire le système d'équations scalaires du mouvement en projetant les équations vectorielles précédentes dans la base 0.

Pour résoudre ce système, il faut déterminer les angles δ_A et δ_B.

Q18) On suppose que l'action mécanique $\left(\overrightarrow{R_A} \text{ ou } \overrightarrow{R_B}\right)$ du câble porteur sur une roue peut être modélisée par un glisseur dont l'axe central passe par la bissectrice de l'angle d'enroulement. Exprimer les angles δ_A et δ_B en fonction des angles θ, θ_1 et θ_2.

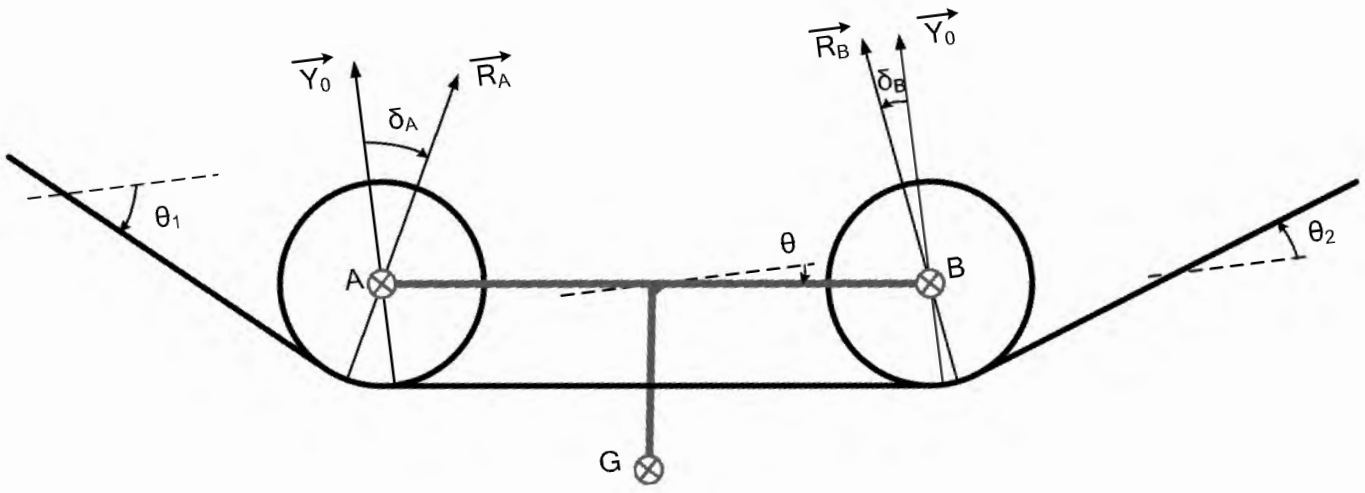


Figure 9 : *Schéma du contact entre le câble et les roues.*

Pour résoudre le système, il faut déterminer également les angles θ_1 et θ_2.

Q19) Les contrepoids ont chacun une masse M_P de 50 kg (voir le détail du moufle sur la figure 1). En déduire l'expression de la tension T_P, sur un des points d'attache des câbles porteurs sur le moufle. Décrire la démarche de résolution. Faire l'application numérique.

On fera l'hypothèse que l'on peut assimiler l'allure de chaque câble à deux segments de droite faisant un angle θ_1 ou θ_2 (figure 10) et on négligera les dimensions du chariot par rapport aux longueurs des câbles. De plus, on supposera que la tension dans les câbles porteurs au niveau du chariot est la même que celle au niveau des attaches.

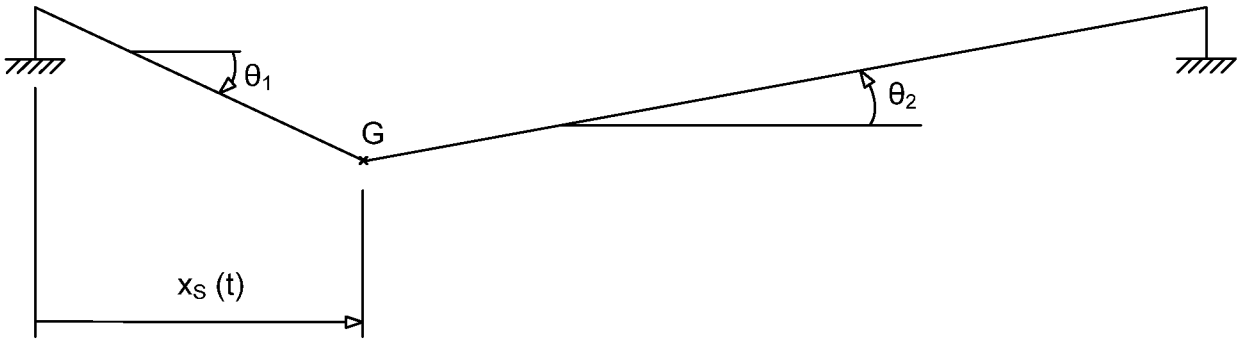


Figure 10 : *Schéma simplifié de l'allure des câbles.*

Q20) En déduire la relation géométrique, reliant les angles θ_1 et θ_2 des câbles porteurs en fonction de la position x_S du chariot.

Q21) Appliquer à l'ensemble, chariot plus les câbles dans son voisinage proche le théorème de la résultante dynamique en projection sur y_0.

En pratique, les angles θ_i sont très faibles.

Q22) Faire un développement à l'ordre 1 des équations précédentes pour en déduire les lois du mouvement. On négligera la composante verticale de la résultante dynamique par rapport aux autres actions mécaniques. De plus, on prendra y_G nul.

Conclusion de cette partie de l'étude :

On a les équations permettant d'avoir les lois du mouvement. On peut donc déterminer l'amplitude des oscillations de tangage et la transmittance entre T_D et X_S.

Le chariot devant rester en place, le système de commande doit générer un certain couple de maintien C_R. Après résolution, simplification et linéarisation des équations obtenues à la question précédente, on obtient :

$$9.10^{-3}\left(50 - x_s\right) - T_D = 4{,}3.\ddot{x}_S$$

Q23) Déterminer la transmittance $H_{MIC}(p) = C_R(p) / X_S(p)$.

Q24) Tracer le nouveau schéma bloc prenant en compte C_R.

Q25) Déterminer l'erreur statique et vérifier si le cahier des charges fonctionnel est respecté.

ANNEXE

Moto réducteur :

Tension maximale	U_{max} = 24 V
Constante de couple rapportée à l'arbre de sortie	k_t = 0,41 N.m/A
Constante contre-électrotromotrice rapportée à l'arbre de sortie	k_e = 0,41 V.s/rd
Inductance	L = 0,04 mH
Résistance de l'induit	R = 0,103 Ω
Moment d'inertie équivalente du moto réducteur rapportée à l'arbre de sortie	$J_m = 9{,}0.10^{-3}$ kg.m²
Rapport de réduction	r = 7
Moment d'inertie du moteur	J_{moteur} = 1430 g.cm²
Moment d'inertie équivalente	$J_{eq} = 2{,}5.10^{-2}$ kg.m²

Amplificateur :

Gain	G = 400 V/m

Poulie motrice :

Rayon de la poulie motrice	R_m = 50 mm

Câble tracteur :

Longueur totale du câble tracteur	L_T = 200 m
Masse linéique du câble tracteur	$\rho_T = 10^{-2}$ kg/m

Chariot :

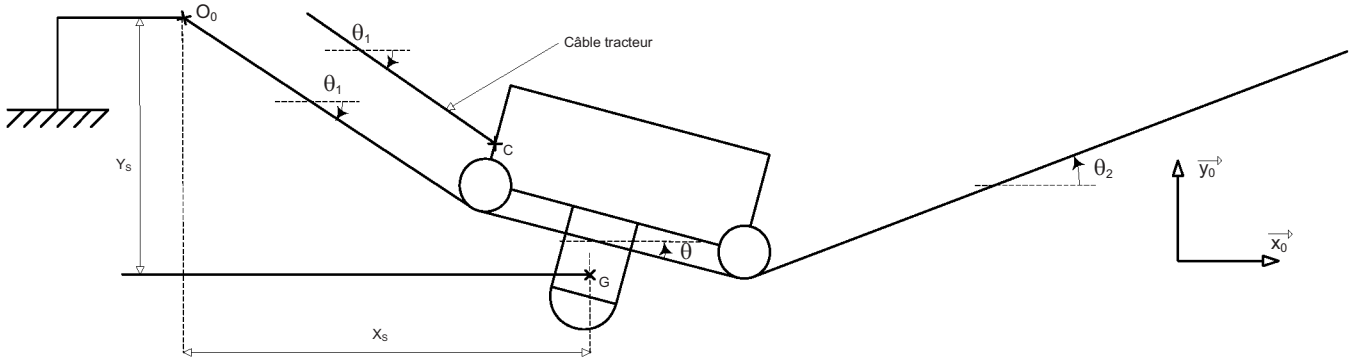
Moment d'inertie du chariot par rapport à l'axe $(G, \vec{z}_0)$	J_G = 0,2 kg.m²
Masse du chariot	M = 4,3 kg

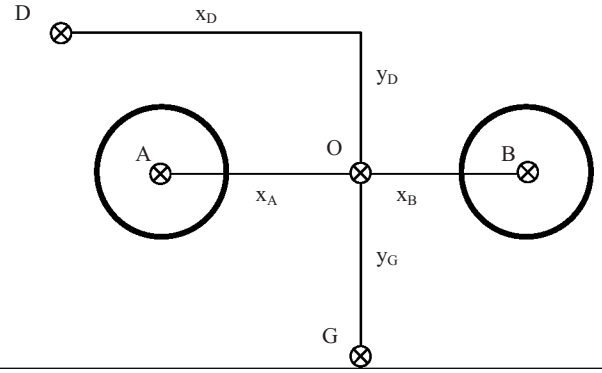
Câble porteur :

Longueur d'un câble porteur	L_P = 100 m
Masse linéique	ρ_p = 0,125 kg/m

Contrepoids :

Masse	M_P = 50 kg





$$\overrightarrow{OA} = -x_A.\vec{x}_1$$
$$\overrightarrow{OB} = x_B.\vec{x}_1$$
$$\overrightarrow{OG} = -y_G.\vec{y}_1$$
$$\overrightarrow{OD} = -x_D.\vec{x}_1 + y_D.\vec{y}_1$$
$$\overrightarrow{O_0G} = x_S.\vec{x}_0 + y_S.\vec{y}_0$$

DOC REPONSE 1 PAGE 29/01/08 9:39 Page 1

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

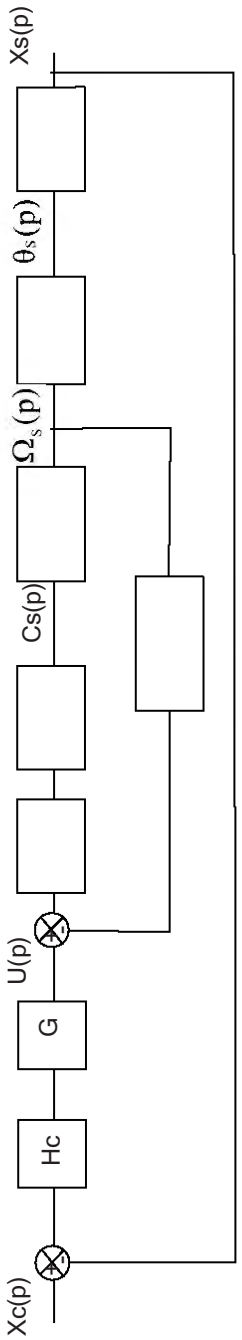
Prénoms :

Né(e) le :

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

Document Réponse DR1 :



DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

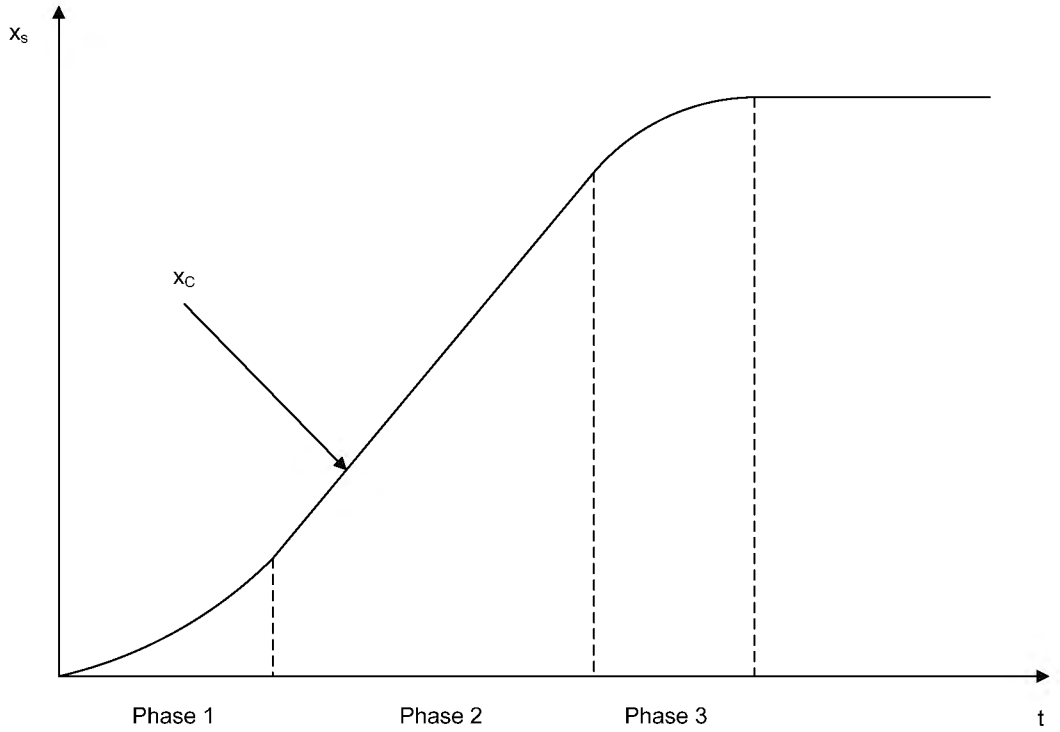
Prénoms :

Né(e) le :

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

Document Réponse DR2 :



DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

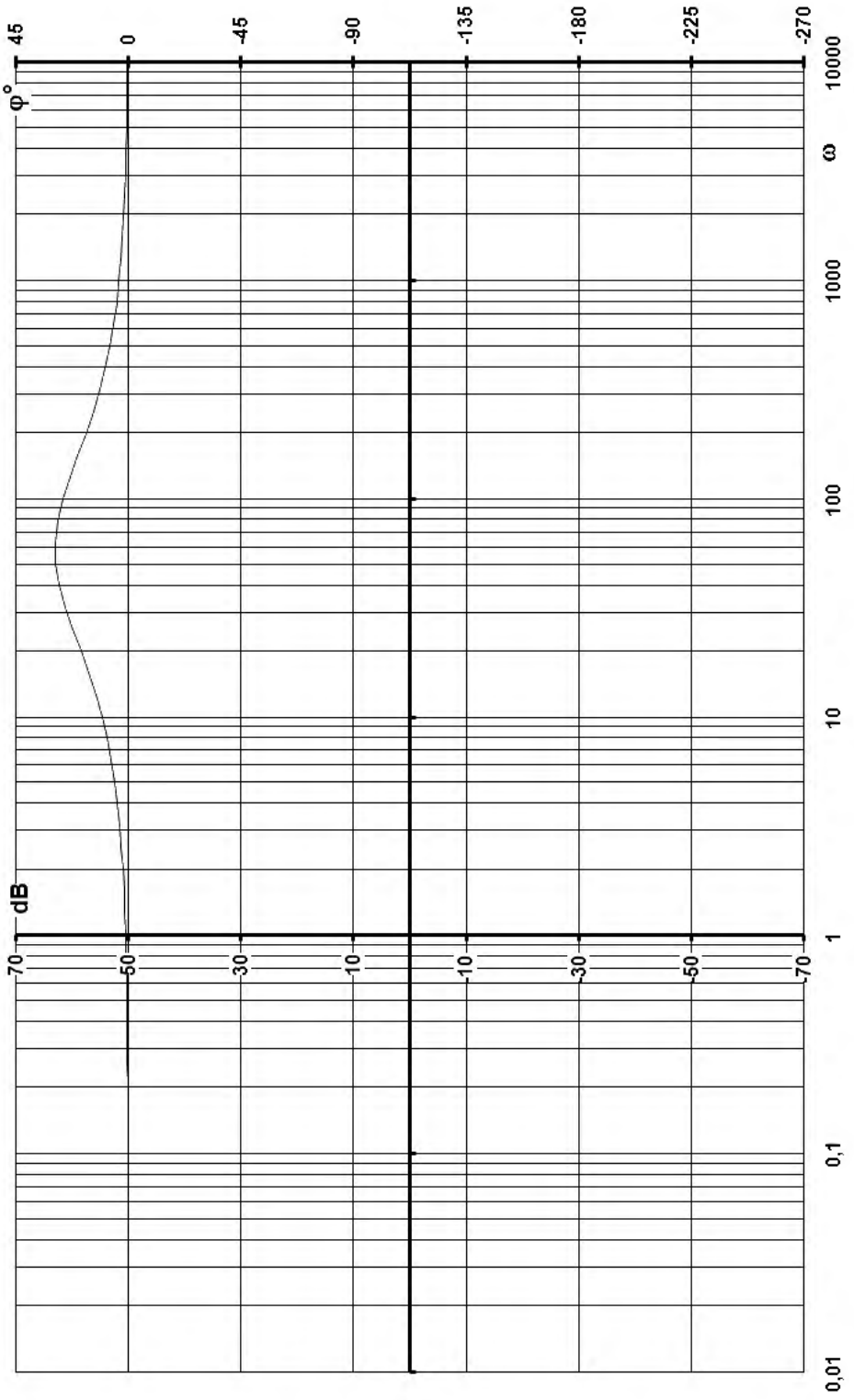
Prénoms :

Né(e) le :

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

Document Réponse DR3 :



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de MP chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Réponse fréquentielle et diagrammes de Bode
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Simplification d'un modèle : linéarisation, non-linéarités, pôles dominants, validité
- Cinématique du solide : paramétrage, vitesse, taux de rotation et torseur cinématique
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/e3a/mp