Concours Centrale-Supélec, France

Session 2016, filière MP

Option sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : mise en évidence de l'objectif de l'étude
- Partie II : asservissement de vitesse de la chaîne de motorisation
- Partie III : recherche de l'origine des vibrations
- Partie IV : performances de la boucle collaborative

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/mp/2016/si

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

CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

S2I

MP

2016

4 heures

Calculatrices autorisées

Bras manipulateur collaboratif ZE Solution

Cet énoncé est accompagné d'un document réponse à remettre avec la copie.

Dans le contexte industriel actuel, il existe encore un grand nombre de tâches pénibles qui ne peuvent pas être automatisées et où le geste humain reste indispensable. L'introduction d'une assistance robotique peut alors être envisagée pour réduire les efforts que l'opérateur doit fournir et ainsi éviter l'occurrence de troubles musculo-squelettiques. Le bras collaboratif de l'entreprise SAPELEM, nommé ZE Solution, permet de manipuler intuitivement différents types de charges allant jusqu'à 200 kg « sans effort ». Afin de respecter la confidentialité de ce système, les données et résultats présentés dans ce sujet sont approchés et limitatifs par rapport à la solution industrielle réelle.



Figure 1 Photos du bras manipulateur collaboratif SAPELEM et d'un environnement de manutention

BY-NC-SA

I Mise en évidence de l'objectif de l'étude

Objectif

S'approprier la problématique du sujet en effectuant une vérification partielle des exigences d'un bras manipulateur collaboratif conçu par la société SAPELEM.

I.A – Exigences du commanditaire

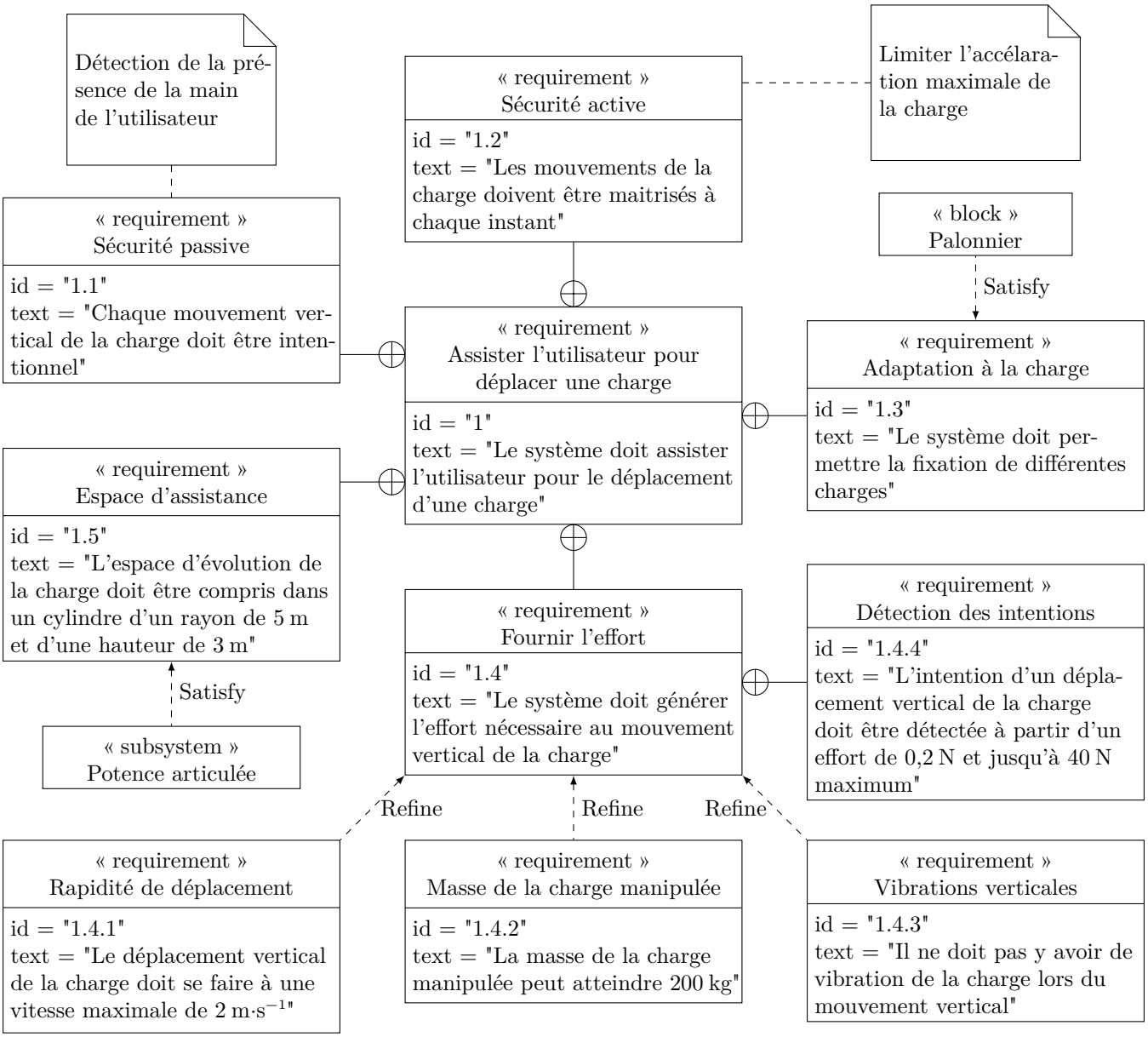


Figure 2 Diagramme des exigences du bras manipulateur collaboratif SAPELEM

I.B – Architecture matérielle de la solution conçue par SAPELEM

Le diagramme de définition de blocs du bras manipulateur collaboratif qui constitue l'objet de cette étude est fourni sur la figure 3.

Dans toute l'étude, seul le mouvement vertical de la charge sera étudié.

I.C – Vérification partielle des exigences

I.C.1) Sécurité active

Afin de satisfaire l'exigence id 1.2, il est nécessaire de s'assurer que le câble de levage est toujours tendu.

On désigne l'ensemble {palonnier + charge transportée} sous le terme générique « charge ». Cette charge a pour masse M. Lors d'un déplacement vertical, le câble exerce, sur cette charge, une action mécanique de résultante $T\vec{z}$ où $\vec{z}$ est un vecteur unitaire dirigé vers le haut. On note $a\,\vec{z}$ le vecteur accélération vertical de la charge par rapport au référentiel galiléen. L'action de la main de l'utilisateur sur la poignée est négligée par rapport aux autres actions durant cette phase.

BY-NC-SA

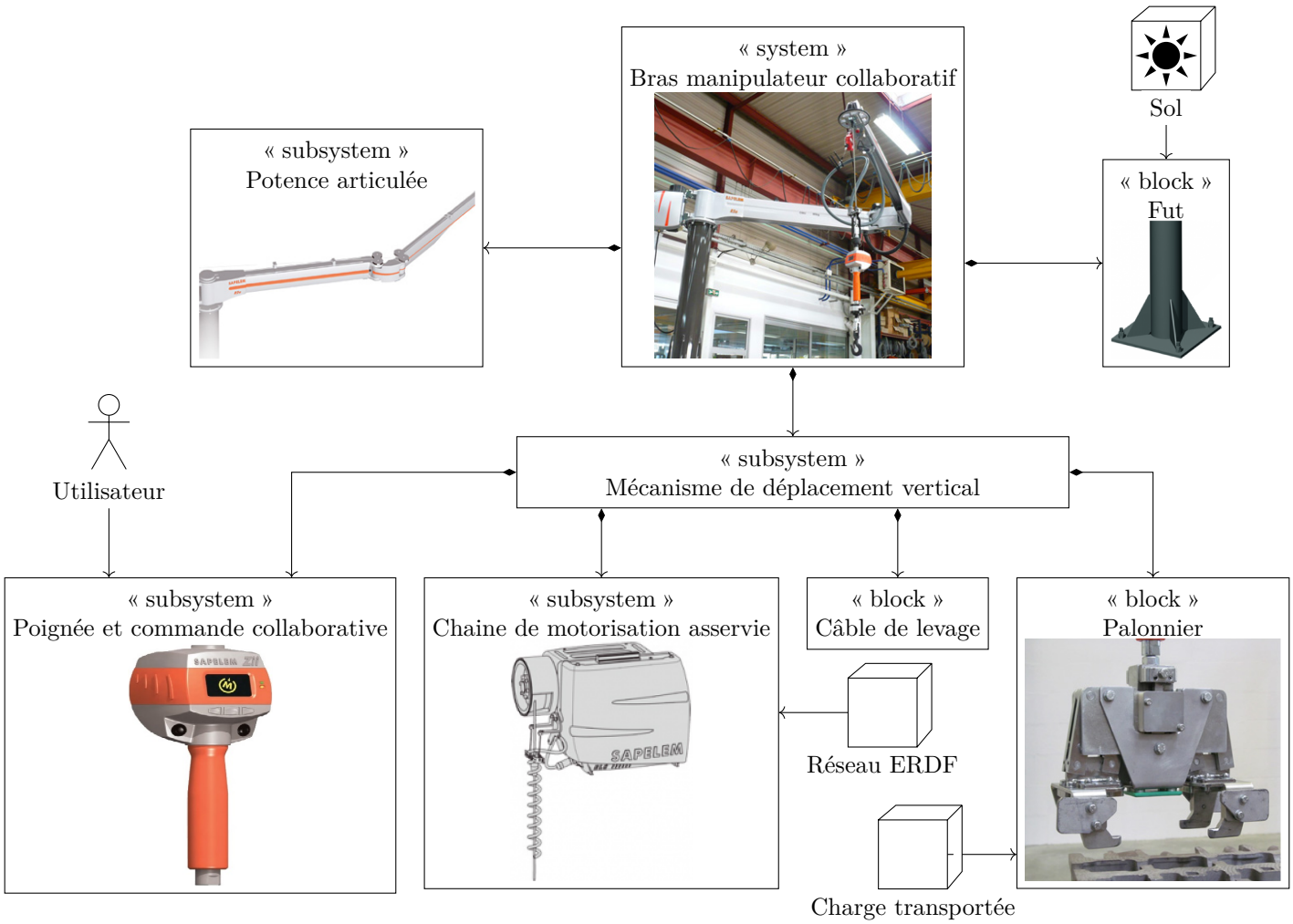


Figure 3 Diagramme de définition de blocs du bras manipulateur collaboratif SAPELEM

Q 1. Déterminer la valeur de T en fonction de M, a et g, l'accélération de la pesanteur. Pour cela, isoler la charge et préciser le théorème employé. Pour quelle valeur de l'accélération a, la résultante T s'annule-t-elle ? Conclure sur le critère à respecter pour valider l'exigence id 1.2.

I.C.2) Comportement attendu

L'intention de l'utilisateur est détectée par la mesure de la résultante d'action mécanique $\vec{F}_{op} = F_{op}\vec{z}$ qu'il exerce sur la poignée (figure 5), par l'intermédiaire d'un capteur d'effort. La commande collaborative traite cette information et élabore la consigne de mouvement de la charge destinée à la chaine de motorisation asservie. Cette dernière met en mouvement la charge.

Le comportement attendu du bras manipulateur collaboratif est le suivant :

- si l'utilisateur exerce un effort $F_{op} \geqslant 0{,}2$ N, la charge doit se déplacer verticalement ;
- si l'utilisateur relâche la poignée, $F_{op} = 0$, la charge doit s'arrêter dans la position où elle se trouve.

Le schéma de la figure 5 décrit le principe de la boucle collaborative.



Figure 4 Bras manipulateur en situation

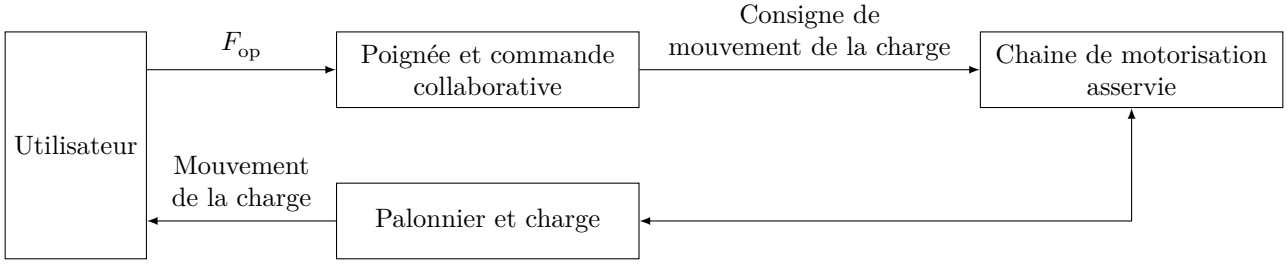


Figure 5 Architecture de la boucle collaborative

BY-NC-SA

On considère dans un premier temps que l'ensemble poignée et commande collaborative est modélisé par un gain proportionnel. Dans ce cas, la consigne de mouvement de la charge envoyée à la chaine de motorisation asservie est proportionnelle à l'effort exercé par l'utilisateur sur la poignée. Plusieurs consignes de mouvement de la charge peuvent être envisagées :

— consigne d'accélération ;
— consigne de vitesse.

On se propose de justifier que seule une consigne de vitesse permet de satisfaire au comportement attendu.

Q 2. Considérons un système en translation possédant, à l'instant initial $t = 0$, une vitesse linéaire V_0 et une position z_0. Donner l'expression de la position $z(t)$ de ce système lorsqu'il est soumis à une accélération a constante. Que vaut F_{op} dans le cas où l'utilisateur lâche la poignée ? Justifier alors que seule une des deux consignes envisagées engendre le comportement attendu.

I.C.3) Vibrations et vitesse maximale

On procède à un essai sur le bras manipulateur collaboratif. Une charge étant suspendue au palonnier, l'utilisateur exerce sur la poignée un échelon d'effort $F_{op} = -20$ N (donc dirigé vers le bas). La figure 6 présente la consigne de vitesse ainsi que l'évolution temporelle de la vitesse de la charge par rapport à la potence articulée en réponse à cette consigne.

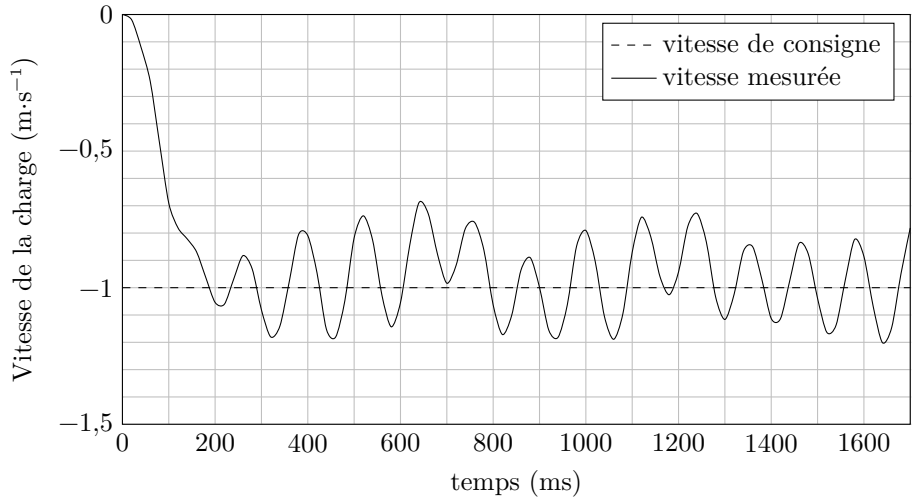


Figure 6 Courbe de vitesse de la charge par rapport à la potence articulée

Q 3. À partir de la figure 6, en admettant que l'exigence id 1.4.4 soit satisfaite et dans l'hypothèse d'un modèle de proportionnalité de l'ensemble poignée et commande collaborative, vérifier si les exigences id 1.4.1 et id 1.4.3 sont satisfaites.

Le constructeur fournit les informations de la figure 7 dans sa documentation commerciale du système.

Q 4. À partir de la figure 7 et du diagramme des exigences, identifier quelle exigence est satisfaite par l'introduction du filtre « DSC » (Dynamic Stability Control).

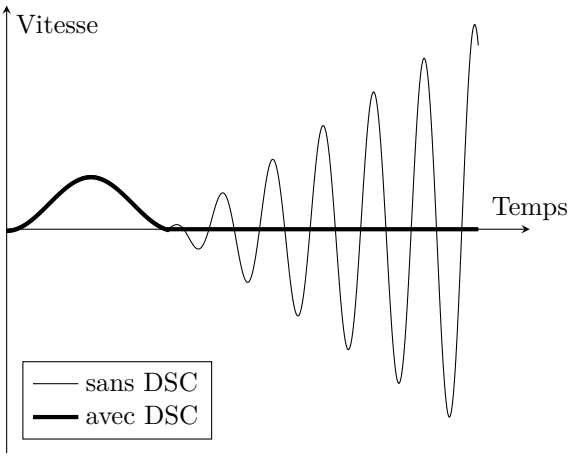


Figure 7 Extrait de la documentation commerciale

I.C.4) Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude qui suit est de proposer une solution permettant de limiter les vibrations. Pour atteindre cet objectif, l'étude est organisée en deux phases :

— identifier l'origine des vibrations ;
— valider les performances de la boucle collaborative avec un filtre DSC.

II Étude de l'asservissement de vitesse de la chaine de motorisation asservie

Objectif

Vérifier que l'asservissement en vitesse du sous-système chaine de motorisation asservie n'est pas à l'origine des vibrations.

BY-NC-SA

Dans cette partie, on suppose que la potence articulée est indéformable, que le câble de levage est inextensible et que l'exigence id 1.2 est vérifiée.

II.A – Analyse structurelle du mécanisme de déplacement vertical

Objectif

Analyser l'architecture matérielle du mécanisme de déplacement vertical.

Les diagrammes de définition de blocs et de blocs internes, permettant de décrire la structure du mécanisme de déplacement vertical de la charge, sont fournis sur les figures 8 et 9.

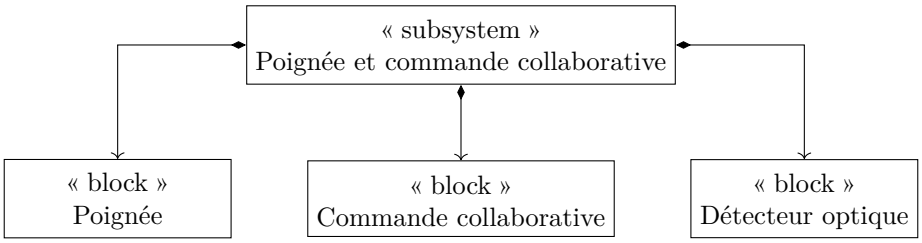


Figure 8 Diagramme de définition de blocs du sous-système « poignée et commande collaborative »

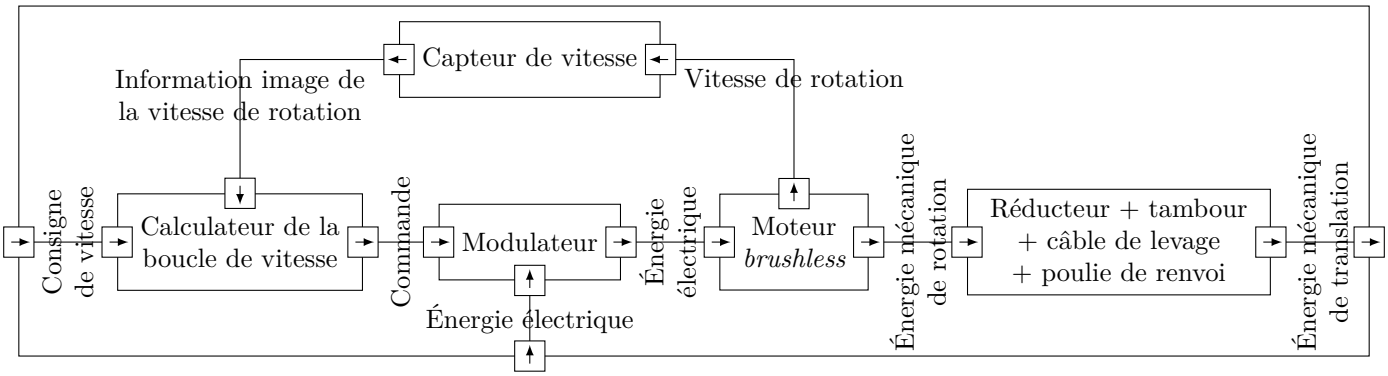


Figure 9 Diagramme de blocs internes de la chaine de motorisation asservie

Q 5. À l'aide des figures 5, 8 et 9, compléter sur le document réponse les zones manquantes des chaines fonctionnelles du bras manipulateur collaboratif. Entourer sur ce schéma, en rouge, les éléments de la chaine d'énergie et, en bleu, ceux de la chaine d'information.

II.B – Choix du correcteur de la chaine de motorisation asservie

Objectif

Déterminer les paramètres du correcteur de la boucle de vitesse.

II.B.1) Caractéristiques des constituants de la chaine fonctionnelle du mécanisme de déplacement vertical

Le schéma-blocs de la chaine de motorisation asservie est présenté sur le document réponse.

- Le calculateur de la boucle de vitesse génère la consigne de courant d'intensité $i_c(t)$ à imposer au moteur *brushless* en comparant la vitesse angulaire de consigne à la vitesse angulaire réelle mesurée par un capteur de vitesse placé sur l'arbre moteur.
- La boucle interne de courant du moteur *brushless* est considérée parfaite et en conséquence est modélisée par un gain unitaire, comme indiquée dans le document réponse.
- Le couple $C_m(t)$ fourni par le moteur *brushless* au réducteur vérifie la relation $C_m(t) = K_m i(t)$.

Paramétrage cinématique

Grandeur	**Notation**	**Valeur**
Vitesse angulaire du moteur	$\omega_m(t)\vec{z}$	
Vitesse angulaire du tambour	$\omega_T(t)\vec{z}$	
Rayon du tambour et de la poulie de renvoi	R	$R = 0{,}05$ m
Rapport de réduction du réducteur	$\frac{1}{\rho} = \frac{\omega_T(t)}{\omega_m(t)}$	$\rho = 15{,}88$
Vitesse linéaire de la masse en translation	$v(t)\vec{z} = \dot{z}(t)\vec{z}$	

BY-NC-SA

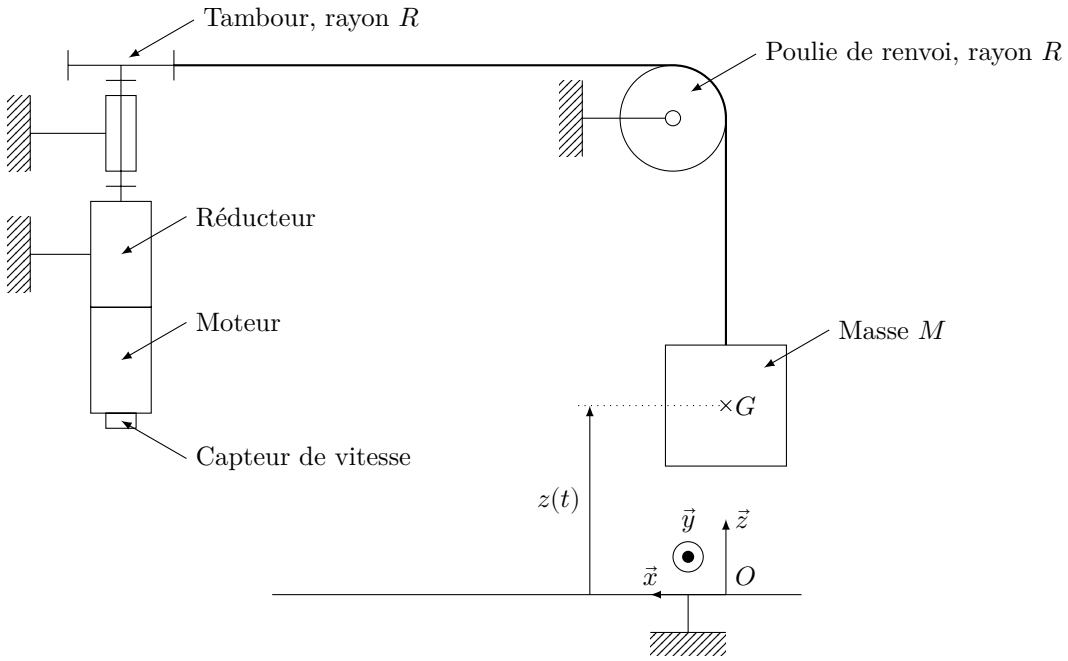


Figure 10 Schéma de principe du mécanisme de déplacement vertical

Paramétrage des masses et inerties

Grandeur	**Notation**	**Valeur**
Masse entrainée	M de centre de gravité G	$M \leqslant 200$ kg
Inertie du moto-réducteur autour de son axe de rotation, rapportée sur l'axe du moteur *brushless*	J_0	$J_0 = 0{,}00315$ kg·m^2
Masses du rotor et des éléments mobiles du réducteur		Négligées
Câble de levage		Masse et inertie négligées Câble inextensible
Poulie de renvoi		Masse et inertie négligées
Tambour		Masse et inertie négligées

Paramétrage des actions mécaniques

Grandeur	**Notation**	**Valeur**
Couple imposé par le stator du moteur *brushless* sur le rotor	$C_m(t)\vec{z}$	
Rendement du réducteur		1
Accélération de la pesanteur	$-g\vec{z}$	$g = 9{,}81$ m·s^{-2}

L'actionneur (moto-réducteur) choisi par le constructeur est l'association d'un moteur *brushless* et d'un réducteur, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Moteur *brushless* 400V/0016	**Caractéristiques**	**Valeur**
	Vitesse maximale du moteur en charge	6 200 tr·min^{-1}
	Couple moteur nominal	3,15 N·m
	Couple moteur maximal	10,8 N·m
	Courant nominal	3,5 A
	Courant maximal	12 A

II.B.2) Vérification du choix de l'actionneur

Dans le cadre des hypothèses retenues, on pose $v(t) = K_{\text{rigide}}\omega_m(t)$ avec $K_{\text{rigide}} > 0$ par convention.

Q 6. Déterminer la valeur numérique de K_{rigide}. Vérifier que l'actionneur retenu permet de respecter l'exigence id 1.4.1.

On souhaite déterminer l'équation du mouvement de l'axe du moteur *brushless* liant le couple $C_m(t)$ à la vitesse angulaire $\omega_m(t)$ à l'aide du théorème de l'énergie cinétique.

BY-NC-SA

Q 7. Préciser le système isolé et les puissances mises en jeu en vue de déterminer l'équation de mouvement de l'axe du moteur *brushless*.

Q 8. Montrer que l'équation du mouvement s'écrit sous la forme $A\dfrac{\mathrm{d}\omega_m(t)}{\mathrm{d}t} = C_m(t) - B$ et expliciter les constantes A et B en fonction des paramètres M, g, J_0 et K_{rigide}.

Q 9. Déterminer, en descente, l'accélération maximale qu'il est possible d'atteindre avec l'actionneur retenu pour une masse maximale $M = 200\,\text{kg}$. Valider ou non l'hypothèse de satisfaction de l'exigence id 1.2 faite pour cette étude.

Q 10. Conclure en justifiant que le contrôle du courant $i(t)$ permettra de s'assurer de la satisfaction de l'exigence id 1.2.

II.B.3) Réglage du correcteur de la boucle de vitesse

Le cahier des charges de l'asservissement de vitesse de la chaine de motorisation asservie est donné dans le tableau ci-dessous.

Stabilité	Marge de phase	$M_\varphi = 80°$
Précision	Écart en régime permanent vis-à-vis d'une entrée en échelon	Nul
	Écart en régime permanent vis-à-vis de la perturbation (B) constante	Nul
Rapidité	Pulsation de coupure à 0 dB de la fonction de transfert en boucle ouverte	$\omega_{0dB} = 40\,\text{rad·s}^{-1}$

On note $\omega_{mc}(t)$ la vitesse angulaire de consigne et $C_v(p)$ la fonction de transfert du correcteur de la boucle de vitesse.

Q 11. Compléter le schéma-blocs du document réponses (dans le domaine de Laplace) en fonction des paramètres A, ρ, R et K_m. Les conditions initiales sont supposées nulles.

Pour une charge à déplacer de $M = 100\,\text{kg}$, la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée (c'est-à-dire en considérant $C_v(p) = 1$) vaut numériquement : $\text{FTBO}_{nc}(p) = \dfrac{\Omega_{mR}(p)}{\varepsilon_\Omega(p)} = \dfrac{K_{BO}}{p}$ avec $K_{BO} = 218$.

Q 12. Déterminer la marge de phase M_φ. Est-ce satisfaisant vis-à-vis du critère de stabilité du cahier des charges ?

Le constructeur choisit un correcteur de type Proportionnel Intégral : $C_v(p) = K_i\left(1 + \dfrac{1}{T_i p}\right)$.

Q 13. Quelle performance du cahier des charges justifie l'utilisation de ce type de correcteur ? Tracer le diagramme de Bode asymptotique du correcteur $C_v(p)$ en précisant les points caractéristiques en fonction de K_i et T_i.

Q 14. Déterminer la valeur numérique de T_i afin que la marge de phase du système corrigé soit exactement de 80° tout en respectant l'exigence de rapidité du cahier des charges. En déduire alors la valeur de K_i permettant de satisfaire l'ensemble des performances attendues dans le cahier des charges.

Les réponses temporelles simulée et réelle de la chaine de motorisation asservie (avec une charge à déplacer de masse $M = 100\,\text{kg}$) à un échelon de vitesse de consigne de $5\,000\,\text{tr·min}^{-1}$ avec les réglages déterminés précédemment sont fournies sur la figure 11.

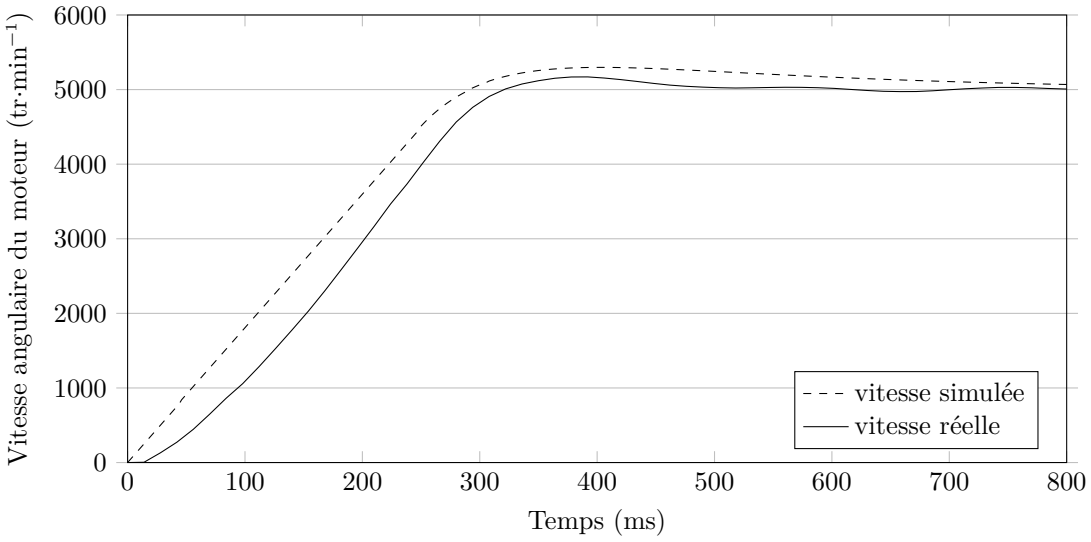


Figure 11 Réponses temporelles simulée et réelle de la chaine de motorisation asservie à un échelon de vitesse

BY-NC-SA

Q 15. Comparer les résultats simulés et les résultats expérimentaux sur les critères du temps de réponse à 5% et de la valeur finale.

Conclusion – La chaine de motorisation asservie correctement réglée n'est pas à l'origine des vibrations observées sur la figure 6. Par la suite, on remet en cause l'hypothèse d'une potence articulée indéformable.

Remarque – Les performances de la chaine de motorisation asservie sont dépendantes de la masse M, mais sont supposées toujours vérifiées quelle que soit la masse de la charge à déplacer. Le modèle élaboré dans cette partie est retenu pour l'ensemble du sujet.

III Poursuite de la recherche de l'origine des vibrations

Objectif

Identifier l'origine des vibrations et déterminer un modèle de comportement de la potence articulée.

III.A – Étude expérimentale

On soumet la chaine de motorisation asservie à une consigne de vitesse de $3\,000\ \text{tr·min}^{-1}$, en l'absence d'action de l'utilisateur sur la poignée ($F_{\text{op}} = 0$), et on mesure le signal en sortie du capteur d'effort (tension notée S_j en mV) placé dans la poignée. Le capteur d'effort se comporte alors comme un accéléromètre.

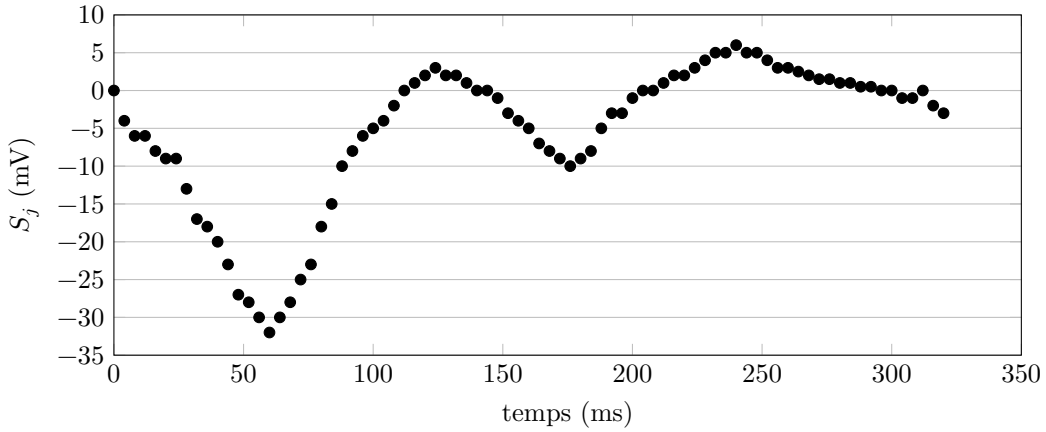


Figure 12 Mesure du signal S_j en sortie du capteur d'effort

III.B – Modélisation du capteur d'effort

Dans un premier temps, on émet l'hypothèse que le capteur d'effort intégré à la poignée de commande est à l'origine du comportement vibratoire. En conséquence, on conserve l'hypothèse d'une potence articulée indéformable. Le capteur d'effort est modélisé par un système masse+ressort+amortisseur tel que représenté sur la figure 13.

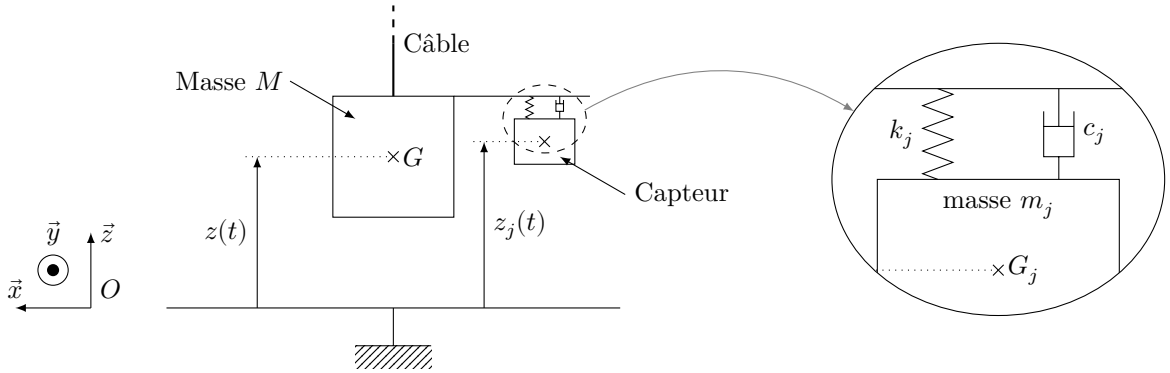


Figure 13 Schéma de principe du capteur d'effort associé à la poignée

Grandeur	**Notation**	**Valeur**
Masse du corps d'épreuve	m_j de centre de gravité G_j	$m_j = 100\ \text{g}$
Coefficient de frottement visqueux de l'amortisseur	c_j	$c_j = 60\ \text{N·m}^{-1}\text{·s}$
Raideur du ressort	k_j	$k_j = 1 \times 10^4\ \text{N·m}^{-1}$
Effort mesuré par le capteur	$F_j(t)$	
Gain du conditionneur	K_{capt}	$K_{\text{capt}} = 100\ \text{mV·N}^{-1}$

Tableau 1 Tableau des grandeurs caractéristiques du capteur d'effort

BY-NC-SA

Le théorème de la résultante dynamique appliqué au corps d'épreuve de masse m_j selon l'axe vertical $\vec{z}$ permet d'obtenir l'équation

$$m_j \frac{\mathrm{d}^2 z_j(t)}{\mathrm{d}t^2} = -k_j(z_j(t) - z(t)) - c_j \frac{\mathrm{d}(z_j(t) - z(t))}{\mathrm{d}t}$$

L'effort mesuré par le capteur est donné par $F_j(t) = k_j(z_j(t) - z(t))$ et le signal qu'il délivre est $S_j(t) = K_{\text{capt}} F_j(t)$.

On rappelle qu'avec l'hypothèse d'une potence articulée indéformable, on a $v(t) = \dfrac{\mathrm{d}z(t)}{\mathrm{d}t} = K_{\text{rigide}} \omega_m(t)$.

Q 16. Déterminer la fonction de transfert $\dfrac{S_j(p)}{\Omega_m(p)}$ sous forme littérale et la mettre sous la forme $\dfrac{K_j p}{1 + \dfrac{2\xi_j}{\omega_j} p + \dfrac{p^2}{\omega_j^2}}$.

Donner la forme littérale et la valeur numérique de la pulsation propre du système non amortie ω_j.

On complète le modèle validé dans la partie II avec l'hypothèse d'une potence articulée indéformable, avec celui du capteur d'effort déterminé précédemment. On simule ce modèle avec une consigne de vitesse en échelon de $3000\,\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$. Le résultat de simulation est fourni sur la figure 14.

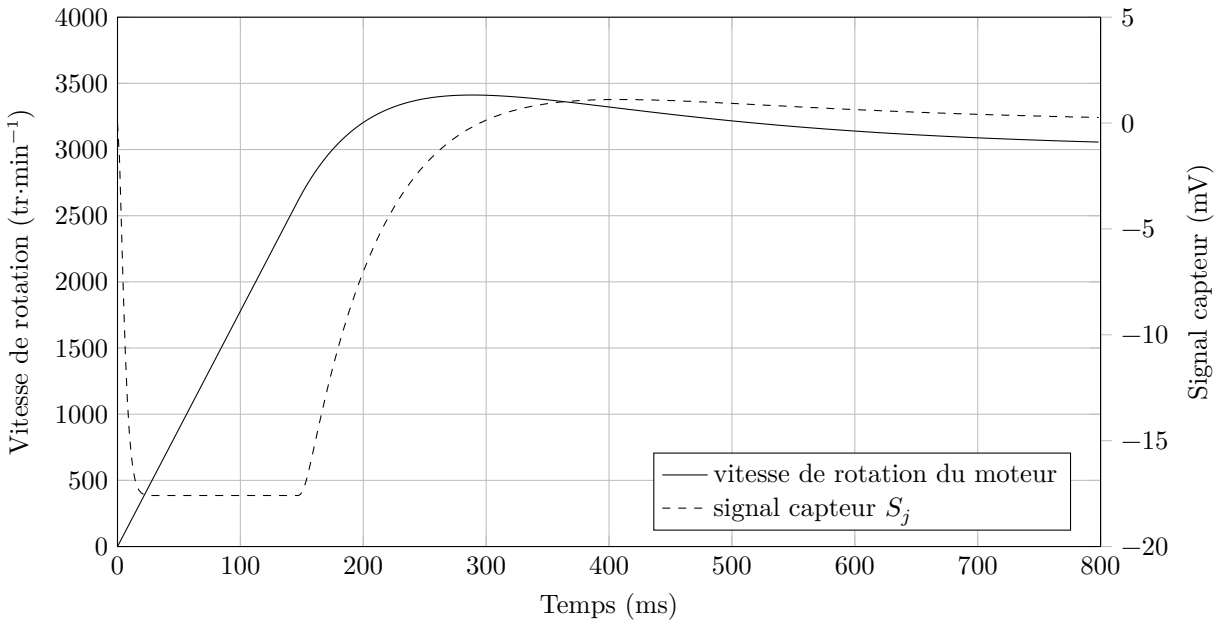


Figure 14 Résultat de simulation du modèle constitué des modèles de la chaine de motorisation asservie et du capteur d'effort

Conclusion – La comparaison des courbes simulées et réelles met hors de cause le capteur d'effort vis-à-vis de l'origine des vibrations. On remet en cause définitivement l'hypothèse d'une potence articulée indéformable.

Q 17. Déterminer la pulsation propre ω_0 du système réel à partir de la courbe de la figure 12, le facteur d'amortissement ξ étant évalué à 0,6. Comparer avec la pulsation propre ω_j du capteur d'effort de la poignée. Est-ce que cette comparaison conforte la conclusion précédente ?

III.C – Modélisation de la potence articulée

La souplesse de la potence articulée est modélisée par un système masse+ressort+amortisseur au niveau de la poulie de renvoi, dont les paramètres (raideur du ressort k et coefficient de frottement visqueux de l'amortisseur c) sont à identifier. Le schéma cinématique de ce nouveau modèle est donné figure 15.

Hypothèses :
- l'angle entre le brin 1 et l'horizontale est négligé ;
- les liaisons sont supposées parfaites ;
- le câble de levage ne glisse pas par rapport à la poulie de renvoi ni par rapport au tambour.

On note M_1 la masse du solide 1. On note S le système matériel défini par $S = \{1\text{+poulie de renvoi+portion de câble enroulé sur la poulie de renvoi+brin 2+masse } M\}$, et $\vec{T} = T\vec{z}$ la résultante de l'action mécanique exercée par le brin 2 sur la charge à déplacer de masse M.

Q 18. Faire l'inventaire des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur le système matériel S. Écrire la condition d'équilibre du système matériel S en fonction de M, M_1, g, k, et ℓ_0, ℓ_0 étant la longueur en charge à l'équilibre du ressort. Déterminer l'équation (notée équation 1) issue du théorème de la résultante dynamique appliqué à S en projection sur $\vec{z}$ sous la forme $\alpha \dfrac{\mathrm{d}^2 z(t)}{\mathrm{d}t^2} + \beta \dfrac{\mathrm{d}^2 z_p(t)}{\mathrm{d}t^2} = -\lambda z_p(t) - \mu \dfrac{\mathrm{d}z_p(t)}{\mathrm{d}t}$. Exprimer α, β, λ et μ en fonction de k, c, M et M_1.

BY-NC-SA

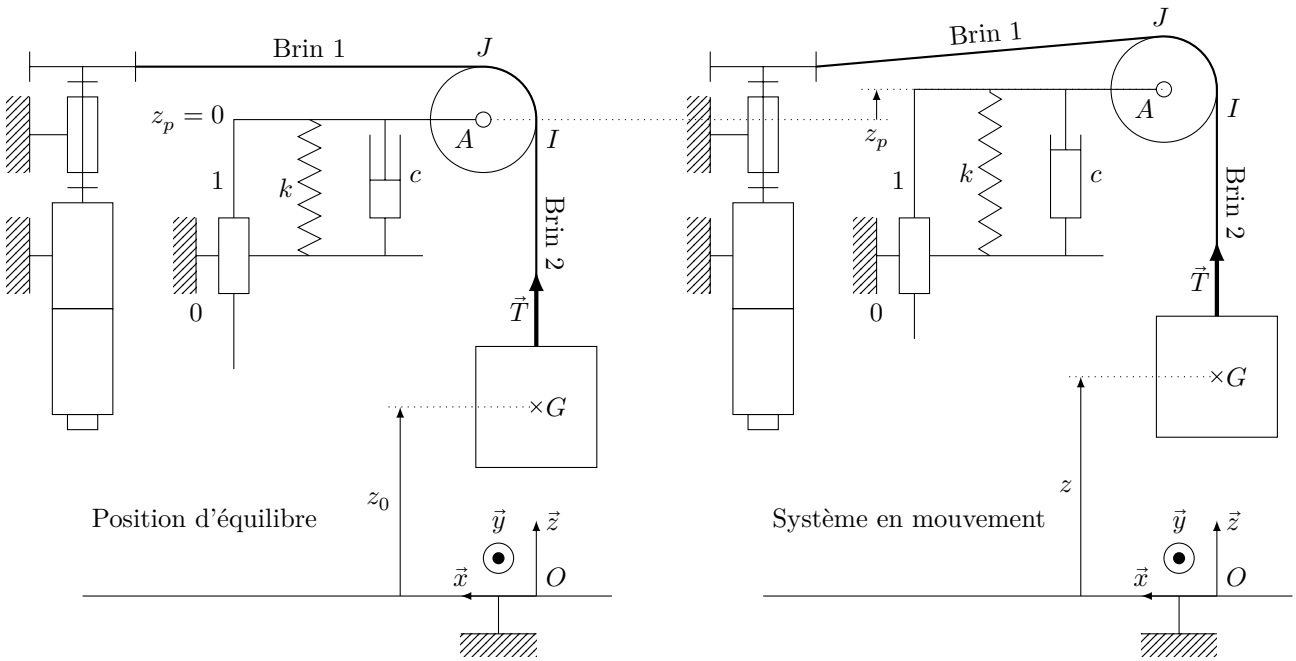


Figure 15

Pour déterminer l'expression de $\Omega_m(p)$ en fonction de $C_m(p)$ et de l'action mécanique de pesanteur, on doit compléter l'équation 1 par les trois équations suivantes

$$2 \qquad J_0 \frac{\mathrm{d}\omega_m(t)}{\mathrm{d}t} = C_m - \frac{R}{\rho} T$$

$$3 \qquad M \frac{\mathrm{d}^2 z(t)}{\mathrm{d}t^2} = T - Mg$$

$$4 \qquad \frac{\mathrm{d}z(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{R}{\rho}\omega_m(t) + \frac{\mathrm{d}z_p(t)}{\mathrm{d}t}$$

Q 19. Exposer les démarches qui ont permis de déterminer les équations 2, 3 et 4. Préciser, lorsque cela est pertinent, le système isolé et le théorème utilisé.

Le modèle de la chaine de motorisation asservie est alors complété par celui de la souplesse de la potence articulée.

III.D – Détermination expérimentale des paramètres du modèle de la potence articulée

Les réponses temporelles simulées du capteur d'effort à une consigne en échelon de vitesse de $3\,000\ \mathrm{tr{\cdot}min^{-1}}$, dans les mêmes conditions que celle de la figure 14, avec ce nouveau modèle pour différentes valeurs des paramètres k et c sont fournies sur la figure 16.

Q 20. En justifiant votre raisonnement, procéder au choix des paramètres k et c.

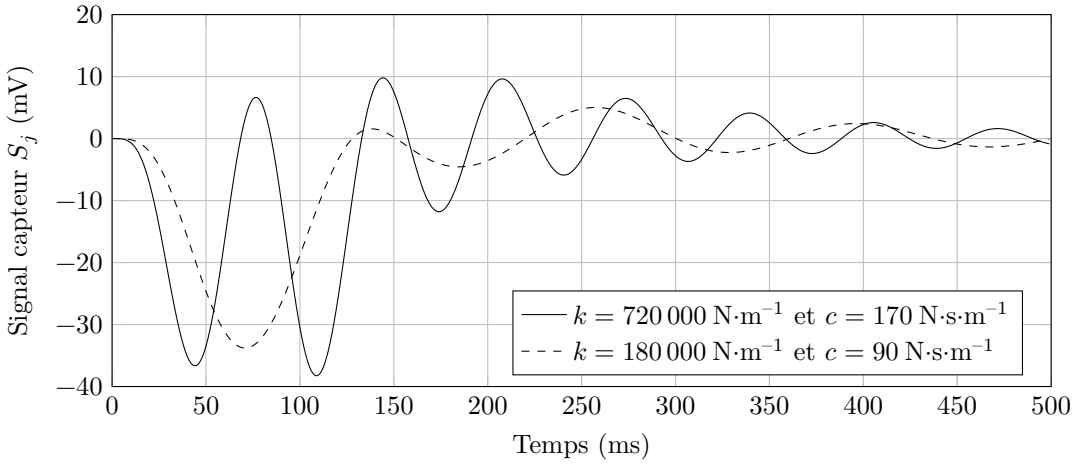


Figure 16 Réponses du capteur vis-à-vis de l'échelon de consigne de $3\,000\ \mathrm{tr{\cdot}min^{-1}}$ pour différentes valeurs des paramètres

Conclusion – Le modèle du mécanisme de déplacement vertical est maintenant validé et ses paramètres connus, il est possible de l'utiliser pour mettre au point la commande collaborative.

BY-NC-SA

IV Analyse des performances de la boucle collaborative

IV.A – Structure et performances de la boucle collaborative

La commande collaborative génère la consigne de la chaine de motorisation asservie à partir du signal en sortie du capteur d'effort placé dans la poignée noté S_j. Le mouvement engendré par la motorisation a pour objectif de satisfaire l'utilisateur et donc d'annuler l'effort qu'il doit exercer. Le bras manipulateur collaboratif peut alors être modélisé par un asservissement du signal en sortie du capteur d'effort. La consigne de cet asservissement est alors nulle (fonctionnement en régulation).

Le signal S_j délivré par la poignée est à la fois affecté par l'effort exercé par l'utilisateur sur la poignée et par la souplesse de la potence articulée.

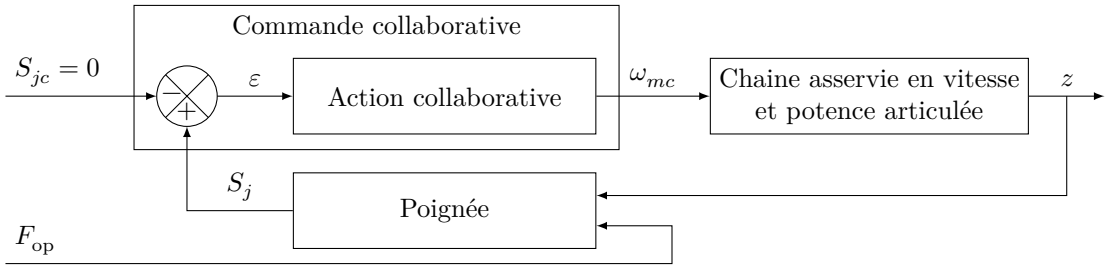


Figure 17 Architectures fonctionnelle et matérielle du bras manipulateur collaboratif

Le modèle de simulation complet incluant la commande collaborative permet de simuler la réponse du bras manipulateur collaboratif pour une charge à déplacer de masse $M = 100\,\text{kg}$ et un effort exercé par l'utilisateur $F_{\text{op}} = -20\,\text{N}$ (dirigé vers le bas) du type échelon.

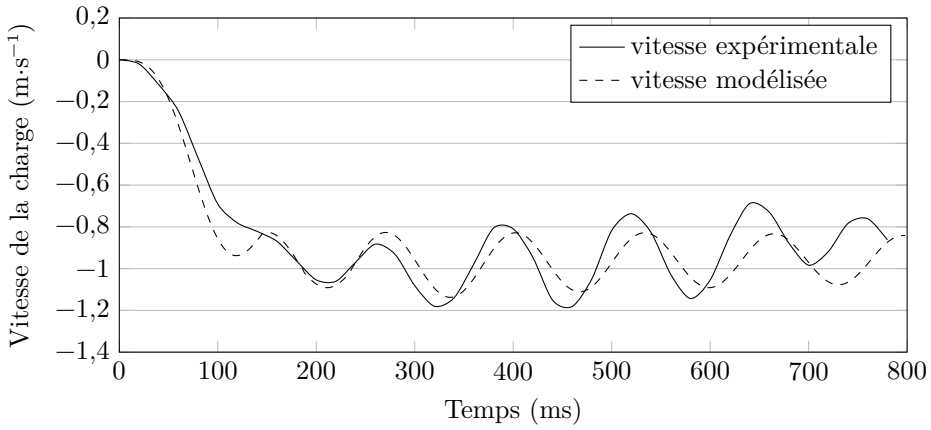


Figure 18 Vitesses de la charge simulée et expérimentale en fonction du temps

Q 21. Comparer les résultats de simulation et les mesures obtenues sur le système réel, sur les critères du comportement à l'origine, de la valeur asymptotique en régime permanent et de la pseudo-pulsation.

Conclusion – Le modèle du système complet en l'absence de filtre étant validé, il est nécessaire d'introduire un filtre dans la commande collaborative afin de limiter les vibrations.

IV.B – Mise en place du filtre de la commande collaborative

Objectif

Analyser et valider le choix du filtre de la commande collaborative.

Le tracé du diagramme de Bode de la fonction de transfert de la boucle ouverte non corrigée $\dfrac{S_j(p)}{\varepsilon(p)}$ (bloc « action collaborative » considéré de gain unitaire) du bras manipulateur collaboratif à partir d'un modèle simplifié est fourni sur la figure 19.

Afin d'améliorer les performances, le constructeur met en place un filtre DSC (*Dynamic Stability Control*) dans la boucle collaborative (bloc « action collaborative ») dont la fonction de transfert, moyennant des hypothèses simplificatrices, est :

$$F(p) = \frac{p^2 + 2\zeta_F \omega_0 p + \omega_0^2}{p^2 + 2\omega_0 p + \omega_0^2} \qquad \text{avec } \zeta_F = 0{,}01 \text{ et } \omega_0 = 45\,\text{rad·s}^{-1}$$

BY-NC-SA

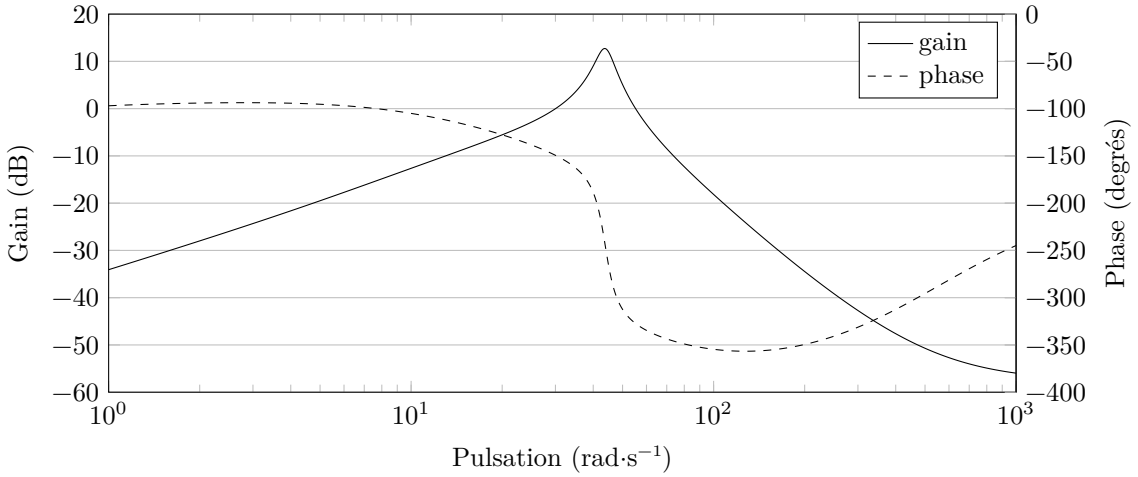


Figure 19 Diagramme de Bode de la fonction de transfert de la boucle ouverte non corrigée

Q 22. Déterminer la valeur numérique du gain, exprimé en dB, du filtre DSC à la pulsation ω_0. Tracer l'allure du diagramme de Bode du gain de ce filtre et en déduire la valeur du gain de la boucle ouverte corrigée à la pulsation ω_0.

Q 23. Au regard de la figure 19 et des études précédentes, justifier le choix de la valeur de la pulsation ω_0.

Le filtre DSC est élaboré par un microcontrôleur et est donc réalisé en numérique. L'utilisation d'un schéma d'Euler en vue de déterminer l'équation de récurrence s'avère insuffisante car ce schéma ne conserve pas la réponse fréquentielle. Non seulement ce schéma va modifier la pulsation propre, mais il va aussi atténuer l'effet attendu du filtre. Il est alors préférable de choisir une méthode de conservation des pôles et zéros (*Matched Transform* en anglais).

Les différents instants d'échantillonnage sont notés t_k et la période d'échantillonnage est $T_e = 20\,\text{ms}$. La valeur d'une fonction temporelle $s(t)$ à l'instant t_k, $s(t_k)$ est notée $s(k)$ pour simplifier les écritures.

Soient $s_j(t)$ le signal en sortie du capteur d'effort de la poignée et $s_f(t)$ le signal en sortie du filtre. L'équation de récurrence à implanter dans le microcontrôleur est donnée par :

$$s_f(k) = b_0 s_j(k) + b_1 s_j(k-1) + b_2 s_j(k-2) - a_1 s_f(k-1) - a_2 s_f(k-2)$$

avec b_0, b_1, b_2, a_1 et a_2 des coefficients constants dépendant de ω_0 et de T_e.

Q 24. Écrire, en langage Python ou Scilab, une fonction `Rejecteur(Sj,b0,b1,b2,a1,a2)` renvoyant une liste de valeurs `Sf` (correspondant aux s_f) pour chaque instant et ayant notamment comme argument une liste de valeurs `Sj` de longueur supérieure à 3 (correspondant aux s_j).

Le filtre numérique précédent est implanté dans le modèle complet du bras manipulateur collaboratif. Les résultats de la simulation pour une charge à déplacer de masse $M = 100\,\text{kg}$ et un effort de l'utilisateur $F_{\text{op}} = -20\,\text{N}$ (dirigé vers le bas) du type échelon sont donnés sur la figure 20.

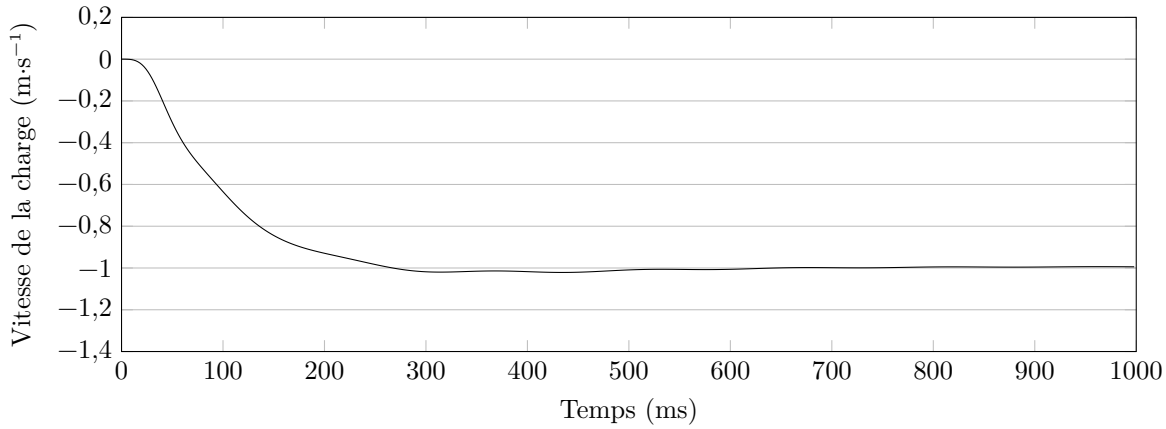


Figure 20 Vitesse de la charge simulée avec commande collaborative et filtre DSC

Q 25. Les exigences id 1.2, id 1.4.1 et id 1.4.3 sont-elles satisfaites ?

BY-NC-SA

Objectif

Vérifier les performances globales de la solution industrielle proposée par la société SAPELEM.

Sur le bras manipulateur collaboratif et en présence du filtre DSC, différents échelons d'effort sur la poignée et avec différentes charges à déplacer de masse variable sont réalisés. Les résultats expérimentaux sont consignés dans la figure 21.

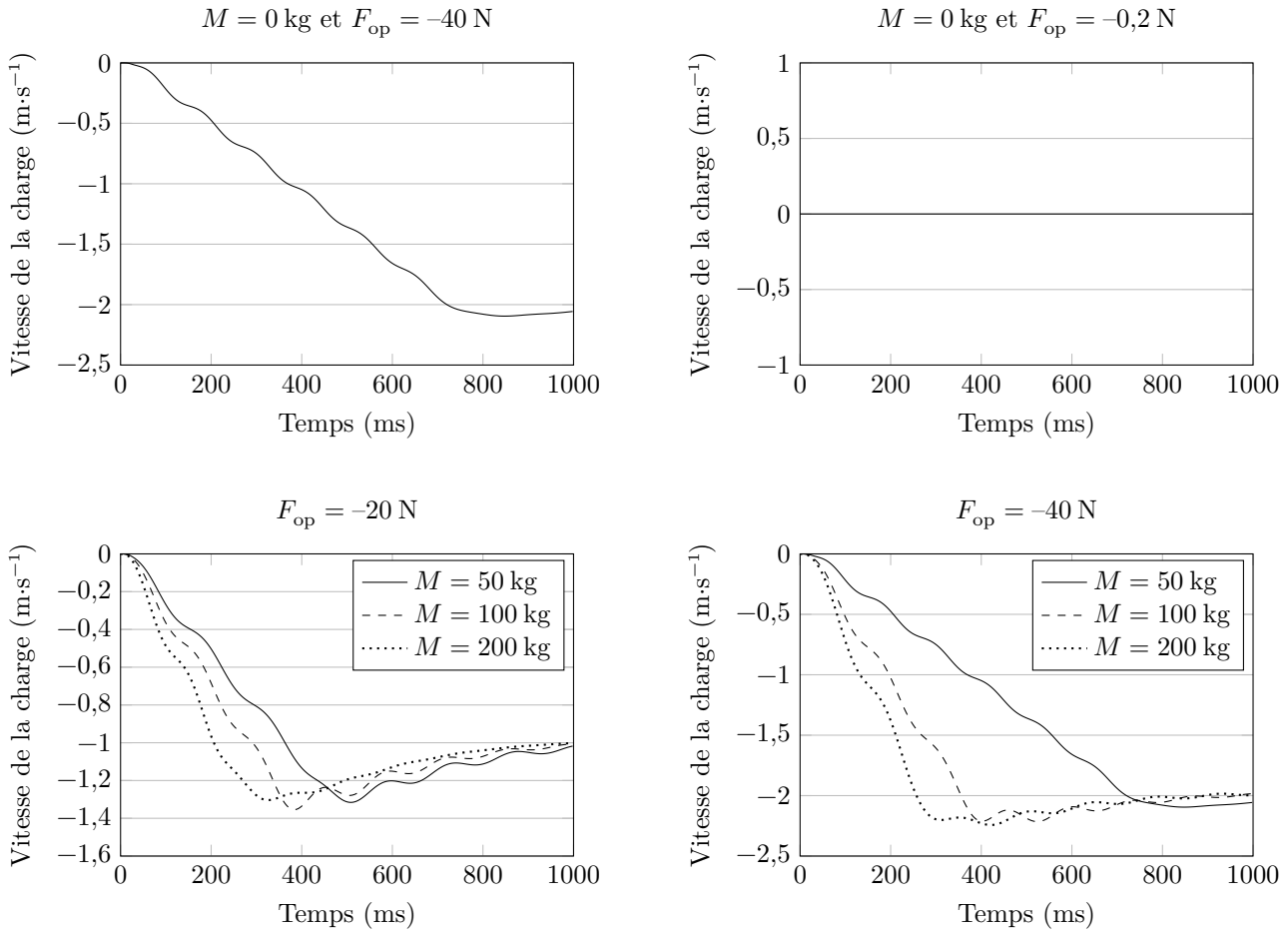


Figure 21 Résultats expérimentaux obtenus sur le système réel avec le filtre DSC

Q 26. Quelle est la conséquence d'une multiplication par deux de l'effort exercé par l'utilisateur sur la poignée ? Est-ce conforme au comportement attendu au paragraphe I.C.2 ?

Q 27. En analysant précisément les résultats expérimentaux de la figure 21, vérifier que les exigences du commanditaire sont satisfaites.

• • • FIN • • •

BY-NC-SA

2016-02-14 15 :31 :34

Ne rien écrire dans la partie barrée

2014-001-DR

CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

NOM : .....

Prénom : .....

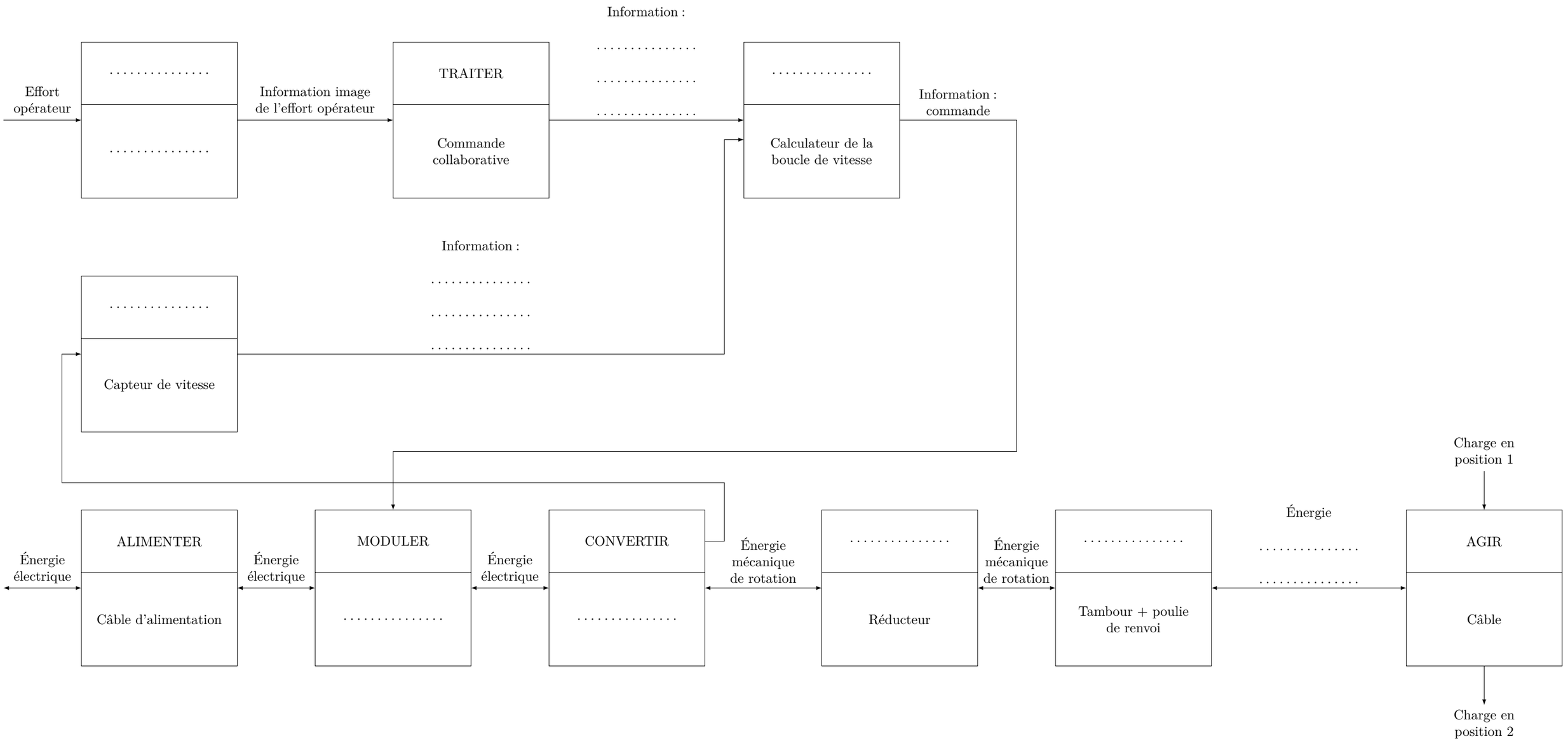
Signature :

Épreuve de **S2I** Filière **MP**

NUMÉRO DE PLACE

Ne rien porter sur cette feuille avant d'avoir rempli complètement l'en-tête

Question 5 Compléter les . . . . .



2016-02-14 15 :31 :34

Ne rien écrire dans la partie barrée

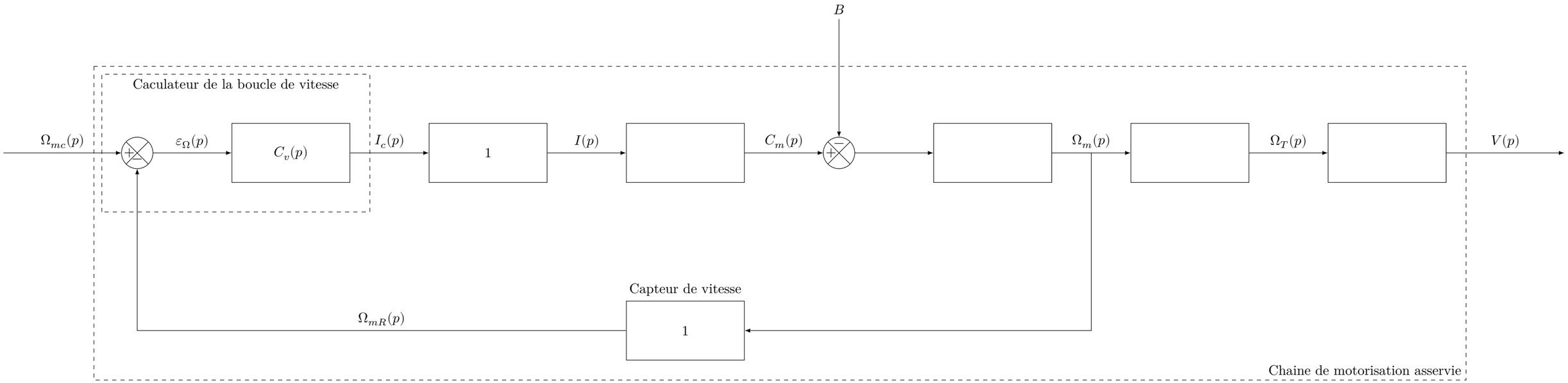
2014-001-DR

2016-02-14 15 :31 :34

Ne rien écrire dans la partie barrée

2014-001-DR

Question 11



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

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Description et paramétrage du mouvement d'un point
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification

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/centrale/mp