

DS 1

Micromanipulateur compact pour la chirurgie endosco-
pique

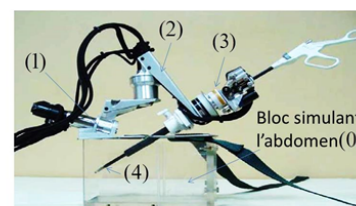
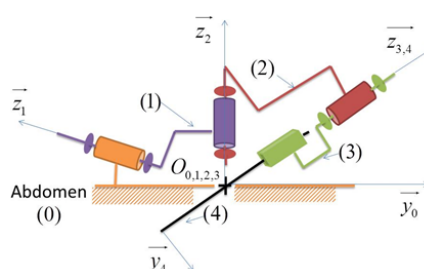
Direction Automobile Découplée

Mines Ponts 2016 – Banque PT SI A 2017

*Savoirs et compétences :*1 Micromanipulateur compact pour la chirurgie endoscopique (MC²E)

1.1 Présentation générale

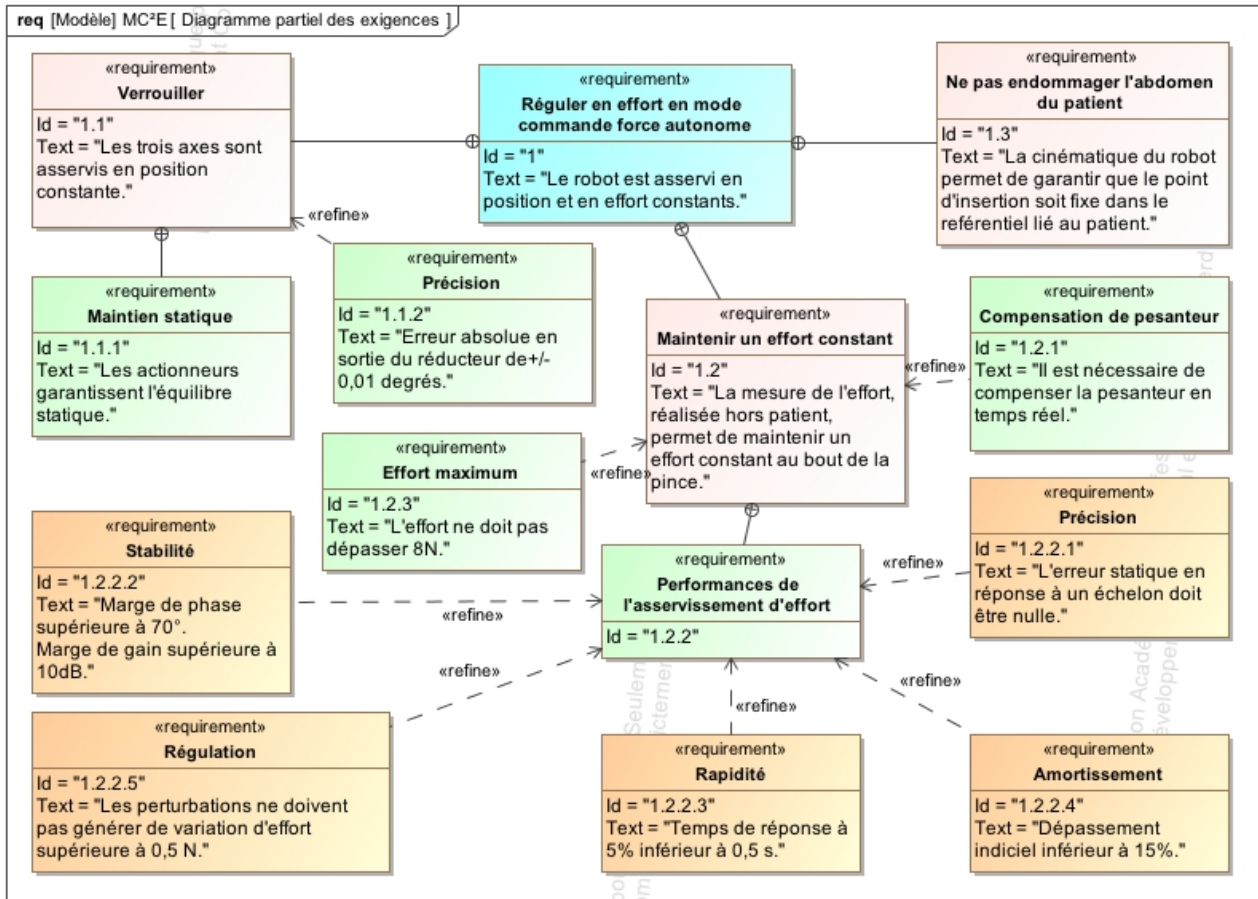
L'objet de cette étude est un robot appelé MC²E utilisé en chirurgie endoscopique. Ce type de robots médico-chirurgicaux est équipé de capteurs (caméra, capteur d'efforts...) permettant de maîtriser les interactions avec des environnements souvent déformables et difficilement modélisables comme le corps humain.



Le mode opératoire se décompose en quatre phases :

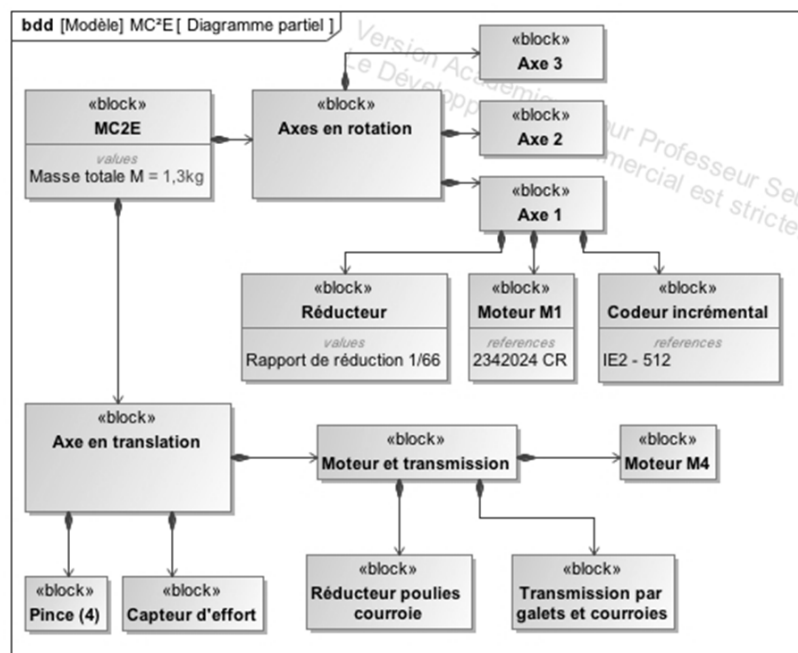
- phase 1 : après avoir introduit le trocart, l'abdomen du patient est gonflé avec du CO₂. Celui-ci se montrera alors aussi stable et rigide que possible pour la réussite de l'opération ;
- phase 2 : le MC²E est positionné sur l'abdomen du patient. Celui-ci est maintenu en position grâce à des sangles. Les trois axes en rotation sont alors asservis en position constante ;
- phase 3 : la pince est introduite dans le trocart au travers d'un guide (étanche). Une phase de calibration du robot utile à la compensation de pesanteur analysée par la suite, démarre ;
- phase 4 : le chirurgien amène la pince du MC²E qui doit tirer la vésicule lors de l'opération.

L'axe en translation du MC²E entre alors en fonctionnement : il est asservi en effort constant pour tirer (ou pousser) la vésicule au fur et à mesure que le chirurgien utilise son bistouri pour détacher la vésicule du foie. La figure suivante décrit les principales exigences auxquelles est soumis le MC²E.



1.2 Validation des performances de l'asservissement d'effort

On s'intéresse ici à la phase 4. Lors de l'opération envisagée, il est nécessaire de maintenir un effort constant au bout de la pince (4). Pour cela, on réalise un asservissement d'effort de l'axe en translation que l'on se propose d'étudier. Le système est alimenté par un transformateur alternatif/continu. Un variateur permet de piloter le moteur M4. Une interface de communication entrée/sortie permet de coder les consignes d'effort et acquérir des grandeurs physiques. D'autre part, elle communique à la chaîne d'énergie, après traitement, des ordres définis par un calculateur. La description par diagramme partiel de définition de blocs de l'axe en translation est donnée ci-dessous.



Question 1 Compléter le schéma représentant les chaînes d'énergie et d'information de cette chaîne fonctionnelle asservie en indiquant le nom des composants réalisant chacune des fonctions.

Modèle de connaissance de l'asservissement

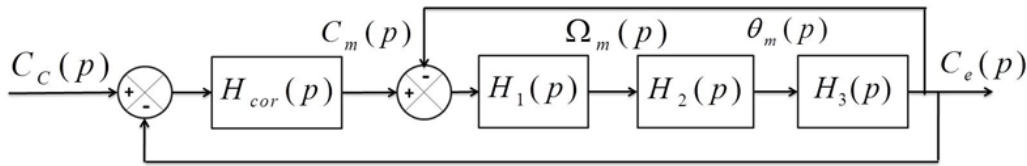
Objectif Modéliser l'asservissement en effort.

L'équation de mouvement est définie par l'équation différentielle suivante : $J \frac{d^2 \theta_m(t)}{dt^2} = C_m(t) - C_e(t)$ avec :

- J , inertie équivalente à l'ensemble en mouvement, ramenée sur l'arbre moteur;
- $C_e(t)$, couple regroupant l'ensemble des couples extérieurs ramenés à l'arbre moteur, notamment fonction de la raideur du ressort.

On notera $\theta_m(p)$, $\Omega_m(p)$, $C_m(p)$ et $C_e(p)$ les transformées de Laplace des grandeurs de l'équation de mouvement.

On pose $C_e(t) = K_{C\theta} \theta_m(t)$ où $K_{C\theta}$ est une constante positive. On a de plus $\frac{d\theta_m(t)}{dt} = \omega_m(t)$. La régulation se met alors sous la forme du schéma-blocs à retour unitaire simplifié que l'on admettra :



Modèle simplifié du montage du capteur d'effort.

Avec :

- $C_e(p)$, couple de sortie mesuré par le capteur d'effort situé sur le MC²E;
- $C_c(p)$, couple de consigne;
- $C_m(p)$, couple moteur;
- $H_{cor}(p)$, fonction de transfert du correcteur.

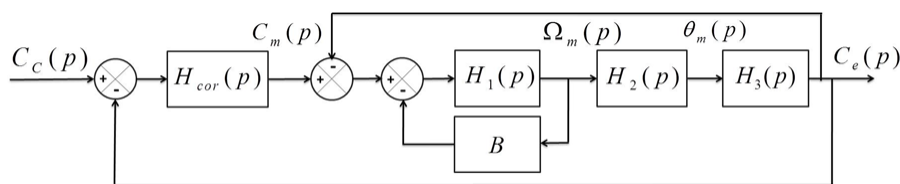
Dans un premier temps, on prendra $H_{cor}(p) = 1$.

Question 2 Déterminer les expressions des fonctions de transfert $H_1(p)$, $H_2(p)$ et $H_3(p)$.

Question 3 Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $H_{BF}(p)$ de l'asservissement d'effort.

Question 4 Quel sera le comportement de cet asservissement en réponse à un échelon d'amplitude C_0 ? Conclure.

Pour remédier au problème ainsi mis en évidence, le concepteur a choisi de mettre en place une boucle interne numérique, dite tachymétrique, de gain B . On s'intéresse ici à la définition analytique de B . Le schéma-blocs modifié est donné figure suivante.



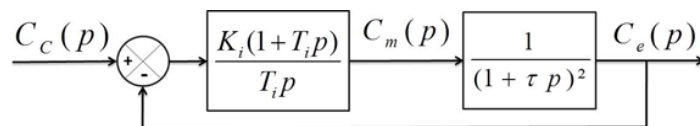
Régulation avec retour tachymétrique

On règle B de telle façon que, pour $H_{cor}(p) = 1$, la fonction de transfert en boucle ouverte, notée $H_{BO}(p)$, puisse être mise sous la forme suivante : $H_{BO}(p) = \frac{1}{(1 + \tau p)^2}$.

Question 5 Donner l'expression analytique du gain B , en fonction de J et $K_{C\theta}$, permettant d'obtenir cette forme de fonction de transfert. En déduire l'expression analytique de la constante de temps τ .

Les exigences du cahier des charges sont données plus haut (exigences 1.2.2.1 à 1.2.2.4).

Afin de répondre à ces exigences, on choisit un correcteur proportionnel-intégral de gain K_i et de constante de temps T_i . Le schéma-blocs de la régulation se met sous la forme de la figure qui suit.



Régulation avec correcteur PI.

Question 6 Donner l'expression de l'erreur statique en réponse à un échelon d'amplitude C_0 . Conclure vis-à-vis du cahier des charges.

On souhaite régler le correcteur pour que le système asservi ait une fonction de transfert en boucle fermée d'ordre 2 de la forme : $\frac{K_{BF}}{1 + \frac{2\xi_{BF}}{\omega_{0BF}}p + \frac{p^2}{\omega_{0BF}^2}}$.

Question 7 Proposer une expression simple pour la constante de temps T_i .

Sur le document réponse sont tracées les courbes de la réponse fréquentielle en boucle ouverte pour $K_i = 1$ et les réponses fréquentielles en boucle fermée pour différentes valeurs de K_i .

Question 8 En reportant les tracés nécessaires sur le document réponse et en utilisant les abaques 1 et 2 du document réponse, proposer un choix de réglage pour K_i permettant de vérifier toutes les performances.

Question 9 Remplir le tableau du document réponse et conclure sur la validation des critères de performance. Tracer l'allure de la réponse temporelle à un échelon C_{c0} en indiquant toutes les valeurs caractéristiques nécessaires.

2 Direction automobile découplée

2.1 Mise en situation

Le principe de la direction découplée est de substituer à la liaison mécanique entre le volant et les roues une architecture de type télémanipulateur à un degré de liberté qui consiste à coupler un robot maître manipulé par un opérateur, avec un robot esclave distant, qui effectue la tâche.



2.2 Analyse et modélisation du système

Objectif Cette partie a pour objectif d'analyser la structure et d'élaborer une modélisation du système de direction découplée.

Le diagramme de bloc interne précise la structure interne et les flux échangés entre les différents composants de la direction découplée dont l'architecture est fournie par le diagramme de définition de blocs.

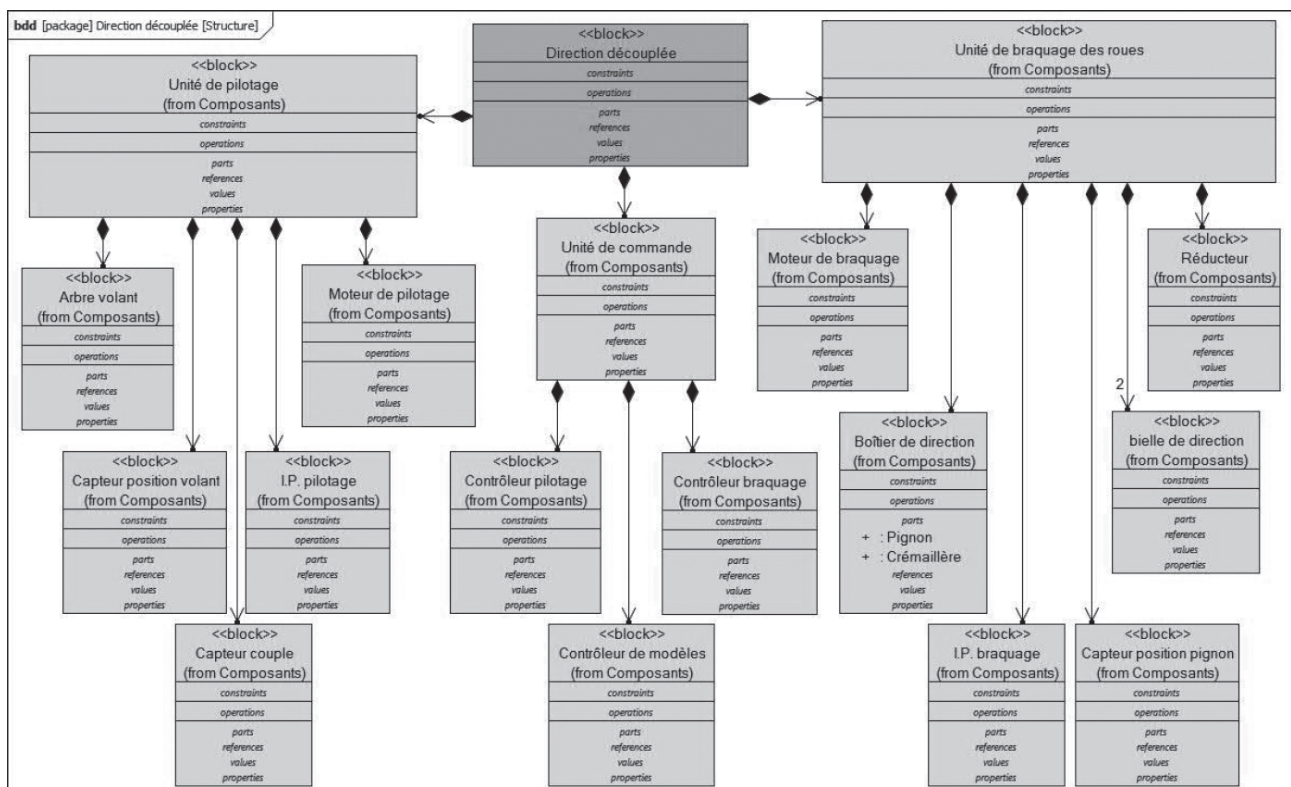


Figure 1 – Diagramme de blocs de la direction découplée.

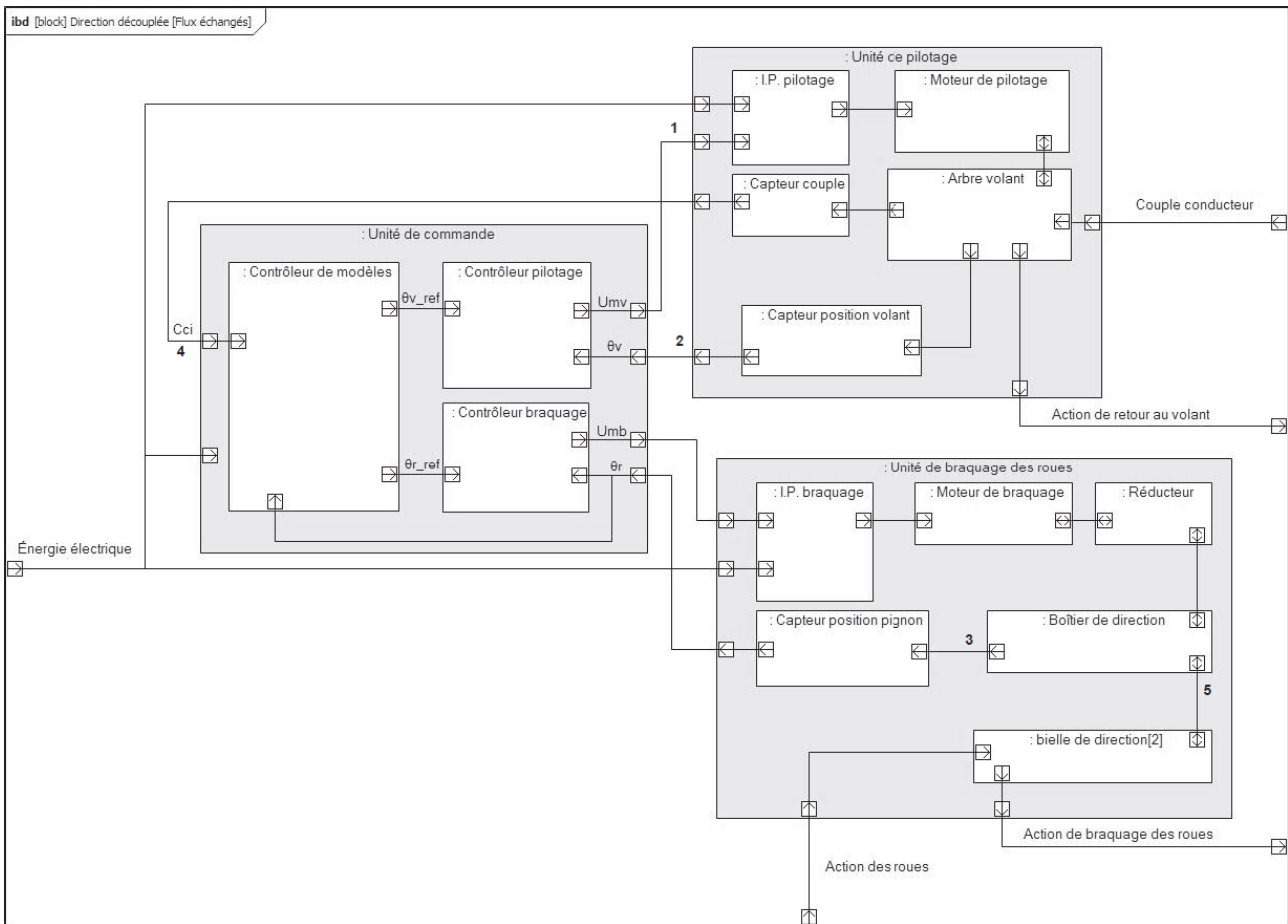


Figure 2 – Diagramme de blocs interne de la direction découplée.

Question 10 Les unités de pilotage et de braquage comportent une interface de puissance (I.P.). Préciser la fonction et le nom génériques de ce constituant au sein d'une chaîne fonctionnelle.

Question 11 Préciser la nature (énergie ou information) des flux repérés 1, 2, 3, 4 et 5 sur le diagramme de bloc interne. On donne dans le cahier réponses un schéma-blocs du modèle de la direction découplée.

Question 12 Encadrer et nommer, sur le schéma-blocs du cahier réponses, les trois zones correspondant aux unités de commande, de pilotage et de braquage définies sur le diagramme de blocs internes.

2.3 Modélisation et optimisation du comportement de l'unité de pilotage

Objectif Cette partie a pour objectif de modéliser la structure de l'unité de pilotage, de simuler son comportement et de corriger celui-ci afin d'obtenir les performances attendues et décrites dans le cahier des charges.

Cahier des charges

Exigence	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 1-3.3 – Le système doit fournir au conducteur un retour d'effort qui optimise le confort et la sécurité.	1- Pulsation de coupure à 0dB en boucle ouverte ω_0	30 rad/s (≈ 5 Hz)	mini ± 20 ms
	2- Temps de réponse à 5% (boucle fermée)	0,1 s	
	3- Erreur statique en réponse à une consigne d'angle – pour une consigne en échelon – pour une consigne en rampe de pente Ω_{v0}	nulle $\leq 0,5\%$ de Ω_{v0}	aucune $\pm 0,2\%$
	4- Erreur statique en réponse à une perturbation de couple – pour une perturbation en échelon – pour une perturbation en rampe de pente C_{c0}	nulle $\leq 10\%$ de C_{c0}	aucune $\pm 5\%$
	5- Stabilité – Marge de phase – Marge de gain	45° 20 dB	mini mini
	6- Amortissement – 1 ^{er} dépassement en réponse indicielle (boucle fermée)	0%	15% maxi

On considère que l'évolution de référence du couple conducteur est une loi en trapèze donnée figure suivante.

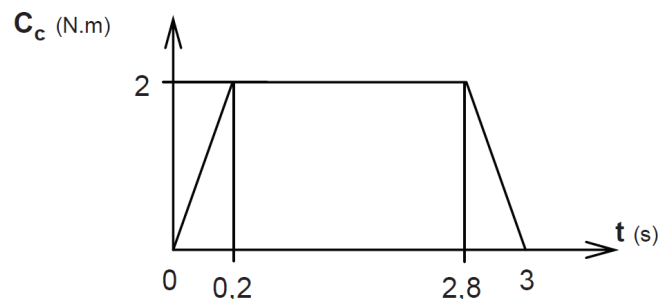


Figure 3 – Loi de référence en trapèze d'évolution du couple conducteur.

La figure suivante donne une vue de cette unité sous la forme d'une maquette numérique à laquelle est associé le schéma cinématique qui servira de base à l'étude mécanique.

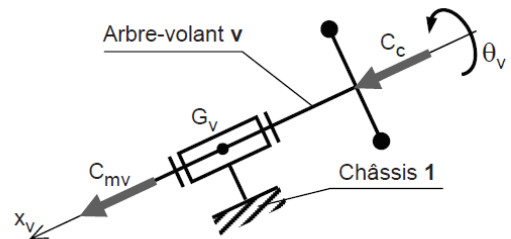


Figure 4 – Unité de pilotage (chaîne d'énergie) et schéma cinématique.

L'unité de pilotage est constituée d'une chaîne d'énergie chargée de solliciter le volant par un couple $C_{mv} \vec{x}_v$ qui résiste à l'action du conducteur $C_c \vec{x}_v$ quand celui-ci cherche à tourner le volant.

En effet, la simple dynamique du système mécanique de l'unité de pilotage ne donnerait pas au conducteur la sensation de manier la direction d'une automobile. La composante C_{mv} est donc élaborée pour que la dynamique du volant en termes d'inertie et de raideur soit équivalente à celle d'une direction conventionnelle optimisée selon le type de conduite visée.

La composante C_{mv} est élaborée à partir de la consigne d'angle du volant θ_{v_ref} , transmise par le générateur de consigne intégré au contrôleur de modèles, et de la composante C_c du couple conducteur. Le modèle de la structure sous la forme d'un schéma-blocs décrivant le comportement asservi de cette unité est donné figure suivante. On précise que la variable d'entrée est $\theta_{v_ref}(p)$, que la variable de sortie est $\theta_v(p)$ et que la variable $C_c(p)$ est considérée comme une perturbation. Un signal de commande $U_{mv}(p)$ pilote la motorisation.

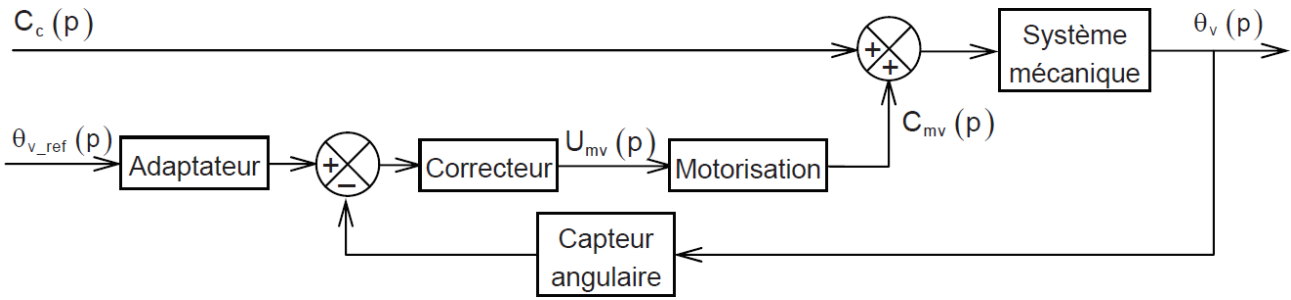


Figure 5 – Schéma-blocs de l'unité de pilotage.

Un modèle acausal de cette structure dont certains composants ne sont pas reliés aux autres, est donné sur le cahier réponses.

Question 13 Compléter ce modèle en traçant les liens manquants qui donneraient un modèle équivalent au schéma-blocs précédent.

Le modèle cinématique utilisé pour la structure est celui donné en figure 4.

Notations :

- arbre-volant \mathbf{v} : le solide constitué du rotor du moteur, de l'arbre volant et du volant ;
 - J_v : le moment d'inertie de \mathbf{v} autour de l'axe (G_v, \vec{x}_v) ;
 - f_v : le coefficient de frottement visqueux de la liaison pivot ;
 - $\theta_v(t)$: l'angle de rotation de l'arbre-volant \mathbf{v} par rapport au châssis 1 (noté $\theta_v(p)$ dans le domaine de Laplace) ;
 - $\omega_v(t)$: la vitesse de rotation de l'arbre-volant \mathbf{v} par rapport au châssis 1 (noté $\Omega_v(p)$ dans le domaine de Laplace).
- Le théorème du moment dynamique suivant l'axe (G_v, \vec{x}_v) permet d'écrire :

$$C_c(t) + C_{mv}(t) - f_v \dot{\theta}_v(t) = J_v \ddot{\theta}_v(t).$$

On a par ailleurs $\frac{d\theta_v(t)}{dt} = \omega_v(t)$

Question 14 En supposant les conditions initiales nulles, donner la traduction du théorème du moment dynamique dans le domaine de Laplace en fonction de $\Omega_v(p)$, $C_c(p)$ et $C_{mv}(p)$. Exprimer alors la fonction de transfert $T_v(p)$ telle que $\Omega_v(p) = T_v(p) (C_c(p) + C_{mv}(p))$ sous la forme $T_v(p) = \frac{g_v}{1 + \tau_v p}$ dont on donnera l'expression de g_v et τ_v en fonction de f_v et J_v .

2.4 Analyse et optimisation du comportement de l'unité de pilotage

Le schéma-blocs dont la structure est donnée figure 5 devient, pour l'étude du comportement, celui de la figure 6 où le retour est unitaire. On note $\varepsilon_{\theta v}(t)$ l'écart entre la consigne et l'angle obtenu, et $\varepsilon_{cv}(t)$ le couple résultant des couples C_c et C_{mv} .

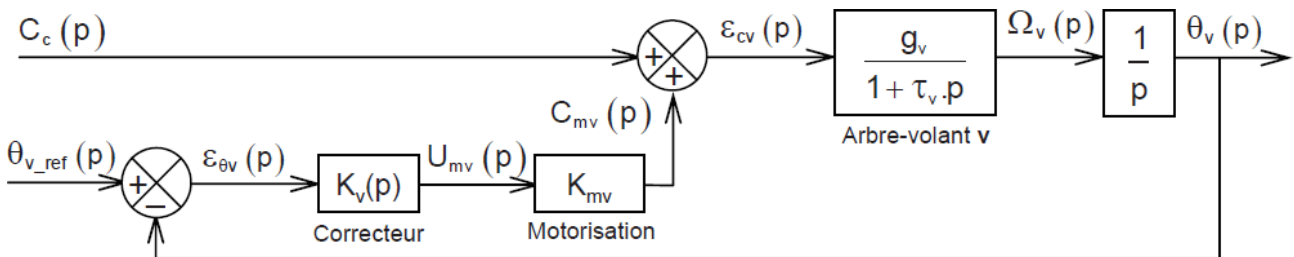


Figure 6 – Schéma-blocs de l'unité de pilotage.

En considérant que la dynamique électromécanique du moteur seul est négligeable devant celle de l'arbre-volant, on adopte pour la motorisation constituée du moteur à courant continu et de son électronique de commande, comportant notamment une boucle de courant, un modèle sous la forme d'un gain pur. On lui associe le gain K_{mv} .

Pour les applications numériques, on prendra les valeurs suivantes : $g_v = 5 \text{ rad s}^{-1} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$; $\tau_v = 0.1 \text{ s}$ et $K_{mv} = 0.4 \text{ N m V}^{-1}$.

Correction proportionnelle intégrale

On choisit un correcteur proportionnel intégral (PI) tel que $K_v(p) = K_i \frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p}$ avec $\tau_i = \alpha \tau_v$.

On considère pour cette question (15) uniquement que $C_c(p) = 0$.

Question 15 Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_{v1}(p)$ du système corrigé, avec le correcteur PI, telle que $\theta_v(p) = FTBO_{v1}(p)\varepsilon_{\theta v}(p)$ sous la forme $FTBO_{v1}(p) = K_{BOv1} \frac{1}{p^2} H(p)$ pour laquelle on précisera les expressions de K_{BOv1} et de $H(p)$ de gain statique unitaire.

On admet que α doit être supérieur à 1 pour que le système puisse être stabilisé. On commence par choisir τ_i en prenant $\alpha = 10$ et on cherche à optimiser K_i .

Question 16 Exprimer $\varepsilon_{\theta v}(p)$ en fonction de $\theta_{v_ref}(p)$ et $C_c(p)$ et $FTBO_{v1}(p)$ (liste non exhaustive de paramètres).

Question 17 Quelle doit être la valeur minimale de K_i pour que les critères de précision soient satisfaits? (On détaillera donc la valeur minimale que doit prendre K_i pour les critères 3 et 4 de l'exigence 1-3.3.)

On donne sur le cahier réponses le tracé du lieu de transfert de la $FTBO_{v1}(p)$ dans le plan de Bode, pour $K_i = 0.5 \text{ Vrad}^{-1}$.

Question 18 Tracer sur le lieu de transfert de la $FTBO_{v1}(p)$ du cahier réponses, les diagrammes asymptotiques dans le plan de Bode. On justifiera les valeurs particulières de pentes, de pulsations, de gains et de phases.

On choisit finalement $K_i = 5 \text{ Vrad}^{-1}$. On donne figure suivante, en réponse à un échelon en boucle fermée, les abaques du temps de réponse à 5% et du 1^{er} dépassement en % de la valeur finale, en fonction de K_i et pour $\alpha = 10$.

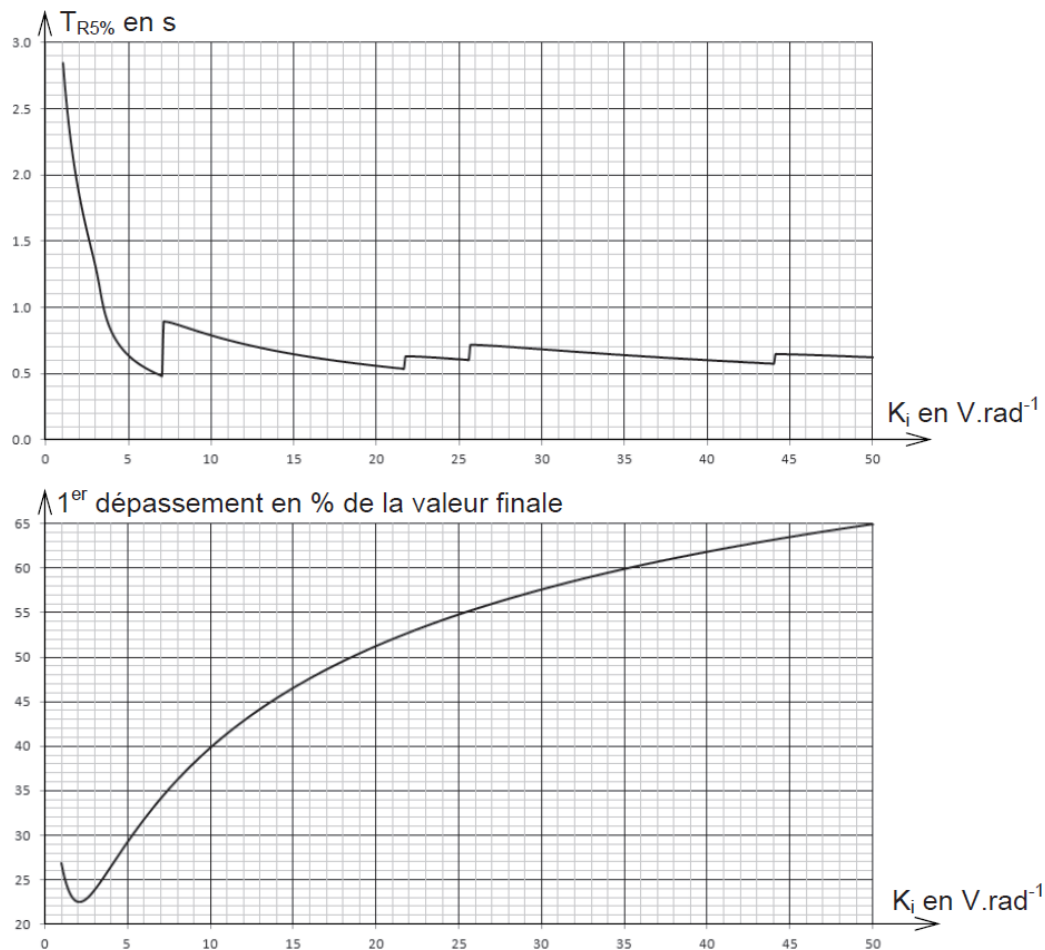


Figure 7 – Abaques de réglage en temporel de l'unité de pilotage corrigée.

Question 19 Conclure sur les capacités de cette correction à satisfaire les critères de l'exigence Id 1-3.3 en reprenant chaque critère.

Correction proportionnelle intégrale et retour tachymétrique

On ajoute à la correction précédente, une correction par retour tachymétrique tel que le décrit le schéma-blocs suivant. On note K_{rt} le gain statique du retour tachymétrique.

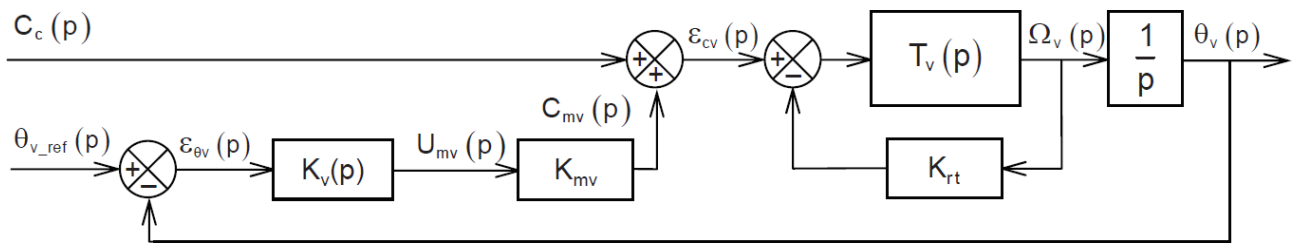


Figure 8 – Schéma-blocs de l'unité de pilotage avec retour tachymétrique.

Question 20 Au vu des conclusions de la question précédente, donner des arguments qui précisent l'objectif poursuivi par la mise en œuvre d'une telle correction.

Question 21 Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $T_{vrt}(p)$ définie par $\Omega_v(p) = T_{vrt}(p)\varepsilon_{cv}(p)$ en fonction de $T_v(p)$ et K_{rt} . Mettre alors $T_{vrt}(p)$ sous la forme $T_{vrt}(p) = T_v(p)\beta \frac{1 + \tau_v p}{1 + \beta \tau_v p}$, pour laquelle, on précisera l'expression de β en fonction de K_{rt} et du gain statique g_v défini précédemment.

Question 22 Montrer que la nouvelle fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_{v2}(p)$, telle que $\theta_v(p) = FTBO_{v2}(p)\varepsilon_{\theta v}(p)$, peut ainsi se mettre sous la forme $FTBO_{v2}(p) = K_{BOv2} \frac{1}{p^2} \frac{1 + \alpha \tau_v p}{1 + \beta \tau_v p}$, pour laquelle on donnera l'expression de K_{BOv2} en fonction de K_{mv} , g_v , τ_v , K_f , α et β .

Il resterait les mêmes calculs que précédemment à réaliser afin de vérifier si le cahier des charges est satisfait...

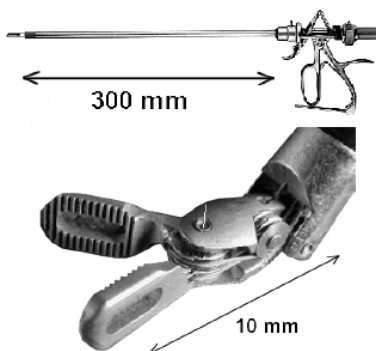
3 Robot endoscopique

3.1 Analyser le besoin du robot endoscopique

Les avancées technologiques dans le domaine de la chirurgie permettent actuellement de réaliser des opérations de très grande complexité (chirurgie cardiaque, digestive, urologique...) avec des avantages pour le patient qui proviennent de la limitation des zones de dissection, ce qui réduit considérablement le traumatisme opératoire.

La chirurgie endoscopique consiste à réaliser des opérations à l'aide d'outils chirurgicaux de très petite taille, placés à l'extrémité de tiges tubulaires tenues par le chirurgien. La partie inférieure des tiges est insérée dans la zone à traiter, à travers trois petits orifices réalisés dans le corps du patient (entre les côtes, par exemple, pour une chirurgie cardiaque). La chirurgie endoscopique robotisée utilise des robots à actionneurs électriques pour positionner et commander les instruments.

Les trois robots appelés « robots esclaves » portent les instruments, dont l'endoscope. Le « robot esclave » étudié est constitué de 3 axes permettant de déplacer l'instrument chirurgical positionné sur la plaque support en translation selon les trois directions de l'espace X, Y et Z.



(a) Instrument chirurgical pince.



(b) Chirurgie robotisée
« console ».



(c) Les 3 robots esclaves.

Présentation du matériel de téléchirurgie.

On considère à nouveau l'axe d'élévation du dispositif de commande de l'instrument chirurgical décrit par le schéma-blocs suivant.

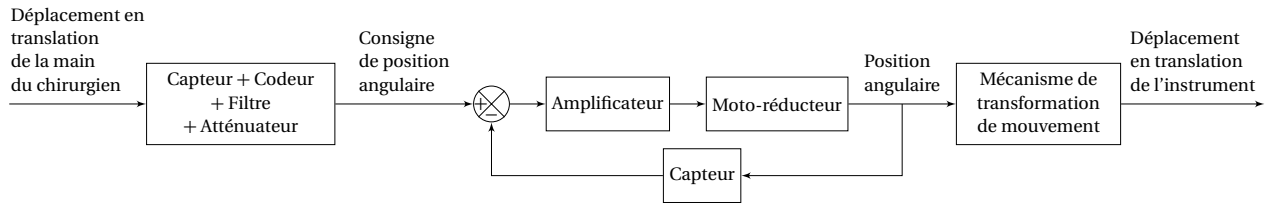


Schéma-blocs de l'axe d'élévation.

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

Objectif 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. L'objectif de l'étude est de montrer par une étude fréquentielle que le système respecte le critère de bande passante du cahier des charges.

Le cahier des charges est décrit par le diagramme des exigences suivant.

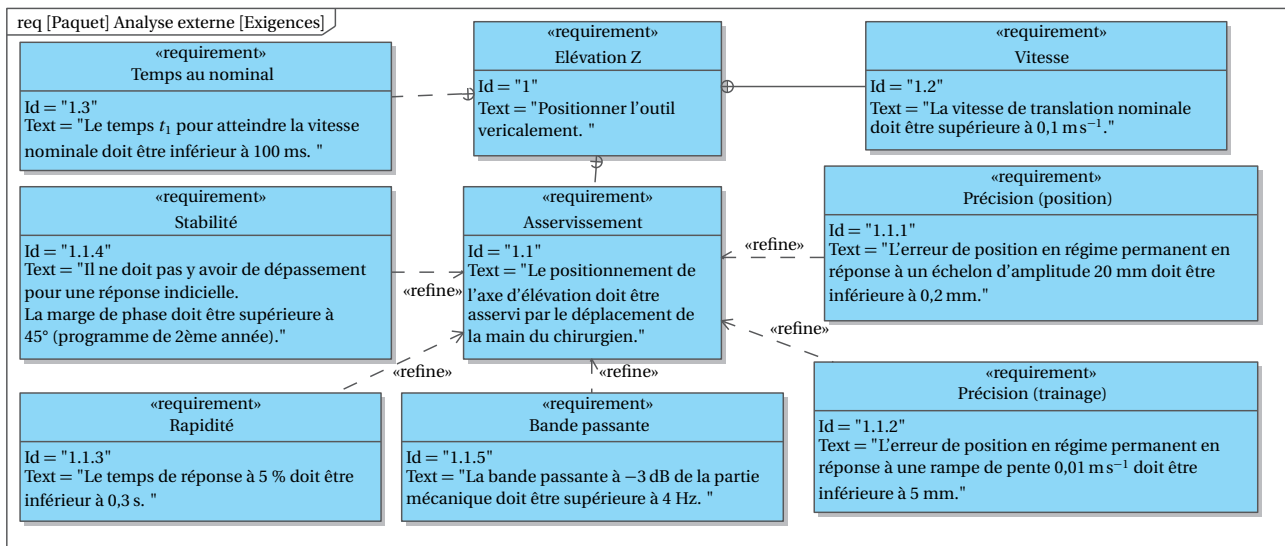


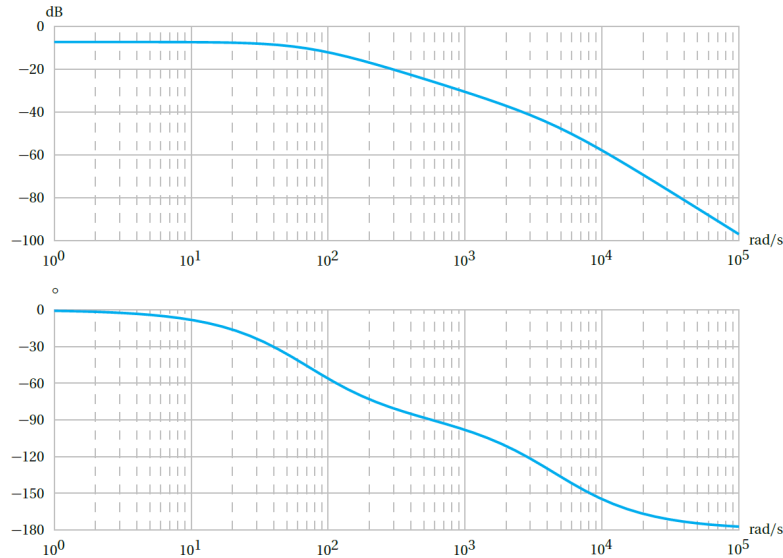
Diagramme des exigences partiel.

3.2 Déterminer la fonction de transfert de l'asservissement de position angulaire

Modéliser le comportement du moteur

On cherche dans un premier temps à déterminer la fonction de transfert de l'asservissement de position angulaire. Une identification temporelle a permis de proposer un modèle du premier ordre pour l'ensemble moto-réducteur. La fonction de transfert est alors la suivante : $M(p) = \frac{0.44}{1+0.015p}$.

Une identification fréquentielle du moto-réducteur est alors mise en place pour valider le modèle. On obtient les diagrammes de Bode suivant.



Identification fréquentielle du moto-réducteur.

Question 23 Justifier au regard de la courbe que le modèle est pertinent dans une certaine bande de pulsations à préciser. Vérifier que les coefficients obtenus pour la fonction de transfert du moto-réducteur par l'identification temporelle sont cohérents avec ceux obtenus par identification fréquentielle.

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. Il est associé à un compteur – décompteur qui élabore la mesure de position en incréments. 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 $r = 1/50$.

Le schéma-blocs de la figure 23 correspond à une représentation de l'asservissement du moteur après déplacement de jonction.

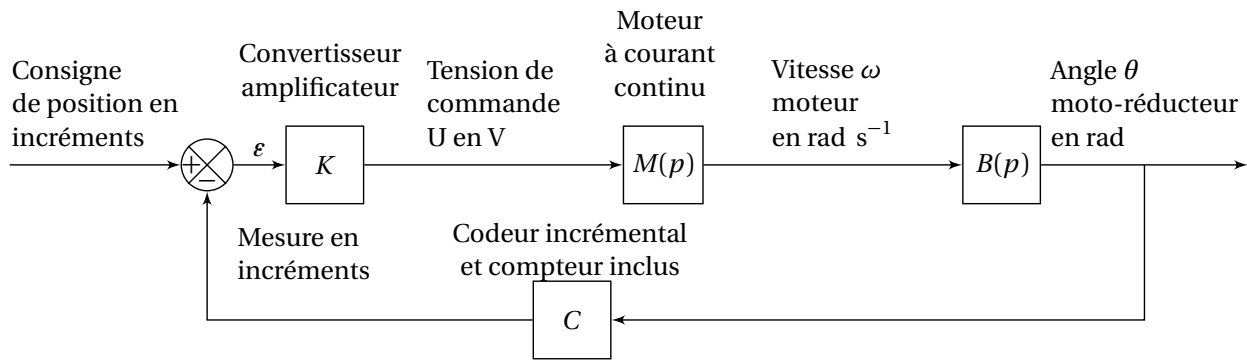


Schéma-blocs de l'asservissement du moto-réducteur.

Question 24 Donner la fonction de transfert du bloc $B(p)$ et la valeur du coefficient du bloc C en incr./rad.

Régler le gain d'amplification

Question 25 Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte.

Question 26 Tracer sur le document réponse, les diagrammes de Bode asymptotiques du système en boucle ouverte pour $K = 1$ et l'allure des diagrammes de Bode réels. Vous justifierez l'allure des diagrammes de Bode asymptotique et vous préciserez sur la courbe toute information qui vous semblera utile.

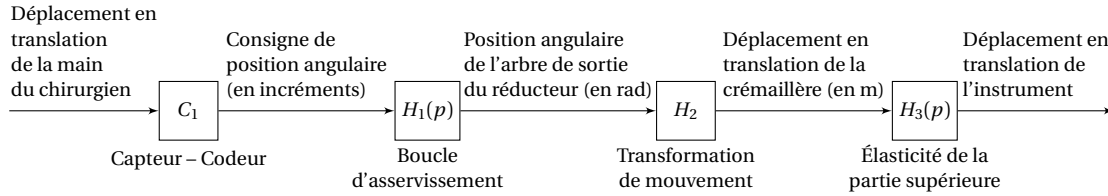
Choix d'un gain d'amplification adapté aux exigences du cahier des charges

On définit la marge de phase par l'expression suivante : $M_\varphi = 180^\circ + \varphi(\omega_{0dB})$ où ω_{0dB} est la pulsation pour laquelle le gain est égal à 0 dB.

Question 27 Quelle est l'influence d'une augmentation du gain K sur le diagramme de phase et sur le diagramme de gain ? Déterminer la pulsation pour laquelle la phase est égale à -135° . Déterminer alors le gain pour cette pulsation (pour $K=1$). En déduire la valeur de K pour laquelle la marge de phase du cahier des charges sera respectée.

3.3 Modéliser le déplacement en translation de la crémaillère

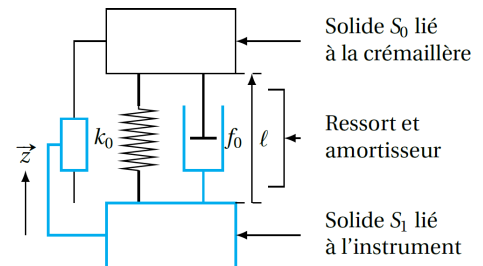
Le système complet est schématisé sur la figure suivante. Lorsque la boucle d'asservissement est bien réglée, la fonction de transfert est $H_1(p) = \frac{0.00035}{1 + 0.014p + 0.00017p^2}$. Le gain H_2 est égal à $19.2 \times 10^{-3} \text{ m rad}^{-1}$.



Schématisation de la chaîne complète.

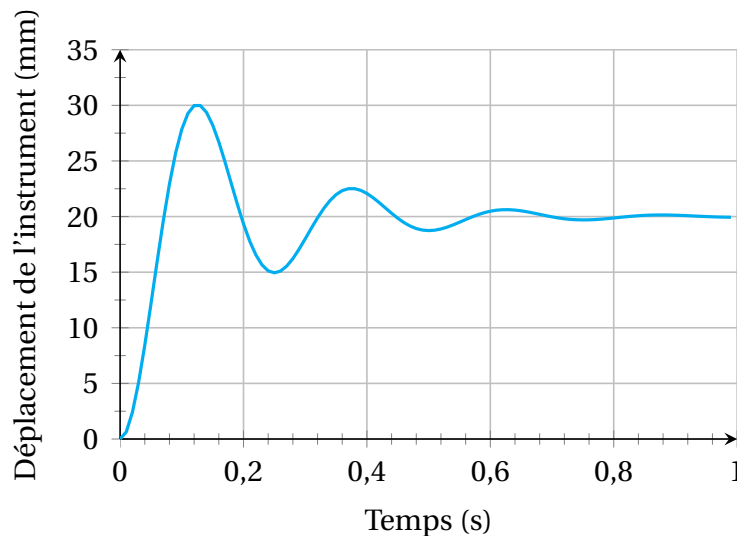
Pour augmenter la précision de l'opération chirurgicale, on désire que la crémaillère se déplace 10 fois moins que la main. Ainsi $C_1 = \frac{1}{19.2 \times 10^{-2} \times 0.00035}$.

La partie supérieure du robot est obtenue par assemblage de tubes minces en fibres de carbone. On modélise cette partie par deux solides en translation l'un par rapport à l'autre : S_0 représentant la crémaillère et les solides qui y sont liés et S_1 représentant l'instrument chirurgical. Ces solides sont reliés par un ressort de raideur k_0 et un amortisseur de coefficient f_0 , montés en parallèle comme le montre le schéma de la figure ci-contre.



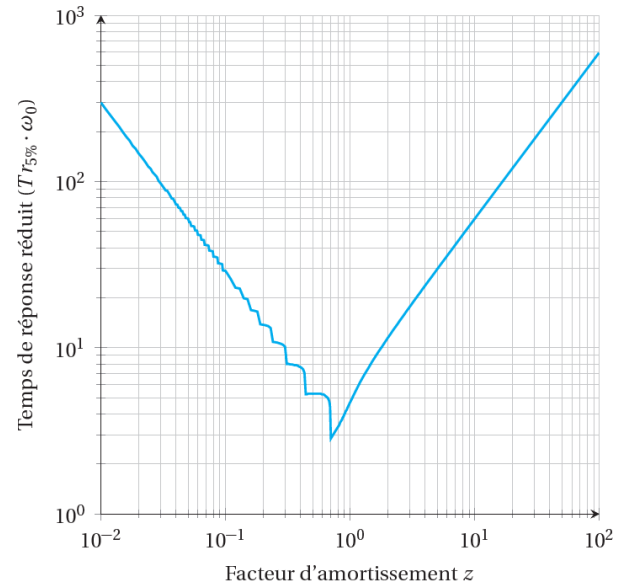
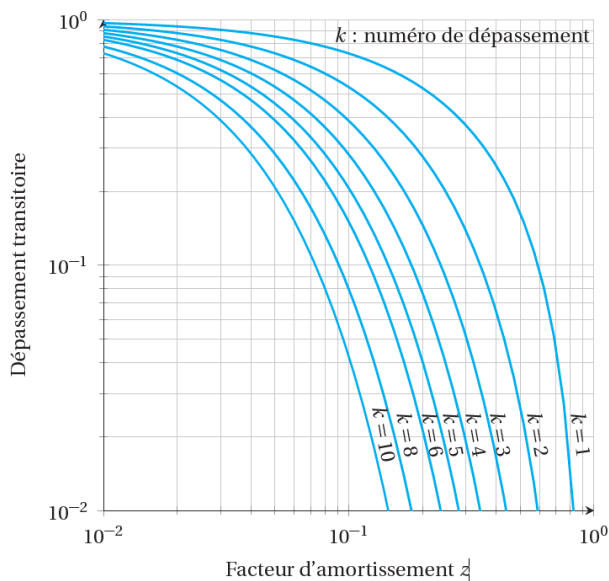
Modélisation de la liaison entre la crémaillère et l'instrument chirurgical.

Pour identifier la fonction de transfert $H_3(p) = \frac{D_{\text{instrument}}(p)}{D_{\text{crem}}(p)}$, on impose à la crémaillère un échelon de déplacement $d_{\text{crem}}(t) = 20 \times 10^{-3} \text{ m}$ à partir de la position d'équilibre. La courbe de déplacement $d_{\text{instrument}}(t)$ de l'instrument en fonction du temps est donnée sur la figure suivante.



Déplacement de l'instrument en mm.

Les abaques des dépassements relatifs et des temps de réponse réduits d'un système du second ordre sont donnés ci-dessous.



Question 28 Établir, à partir de la courbe de déplacement de l'instrument, l'expression de la fonction de transfert $H_3(p)$; déterminer les valeurs caractéristiques : gain statique, coefficient d'amortissement et pulsation propre.

Question 29 Déterminer analytiquement la pulsation de coupure à -3 dB pour cette fonction et vérifier si le critère du cahier des charges est respecté.

3.4 Analyser le déplacement de l'instrument

La fonction de transfert du système complet est

$$\frac{1}{(1 + 0.014p + 0.00017p^2)(1 + 0.015p + 0.0014p^2)}$$

On donne la courbe d'amplitude (gain) de $H(p)$ pour $p = j\omega$ dans le plan de Bode.

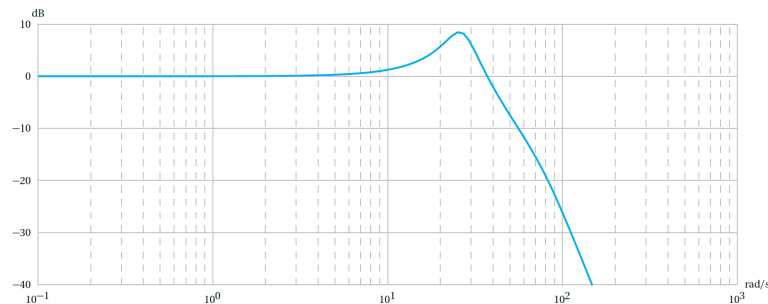


Diagramme de gain de $H(p)$.

La main du chirurgien est prise d'un tremblement sensiblement sinusoïdal dont la période est de 0.25 s et l'amplitude 1 mm.

Question 30 Déterminer à partir de cette courbe, l'amplitude du mouvement pris par l'instrument. Quelle est la conséquence de ce mouvement sur la plaie chirurgicale?

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 constantes de temps : $T_1 = 0.04$ s ; $T_2 = 0.1$ s ; $T_3 = 0.5$ s.

Question 31 Tracer sur le document réponse, les trois diagrammes de gain de ces filtres avec des couleurs différentes.

Question 32 Sachant que les mouvements dont la période est inférieure à une seconde ne doivent pas être atténués de plus de 1 dB, indiquer le (ou les) filtre(s) qui ne convient (conviennent) pas.

Pour filtrer correctement un tremblement de période 0.25 s, il faut compenser le pic de 8.5 dB.

Question 33 Quel est le filtre qui convient le mieux?

Conclusion – Retour sur le cahier des charges

On donne la courbe d'amplitude corrigée par le filtre le mieux adapté.

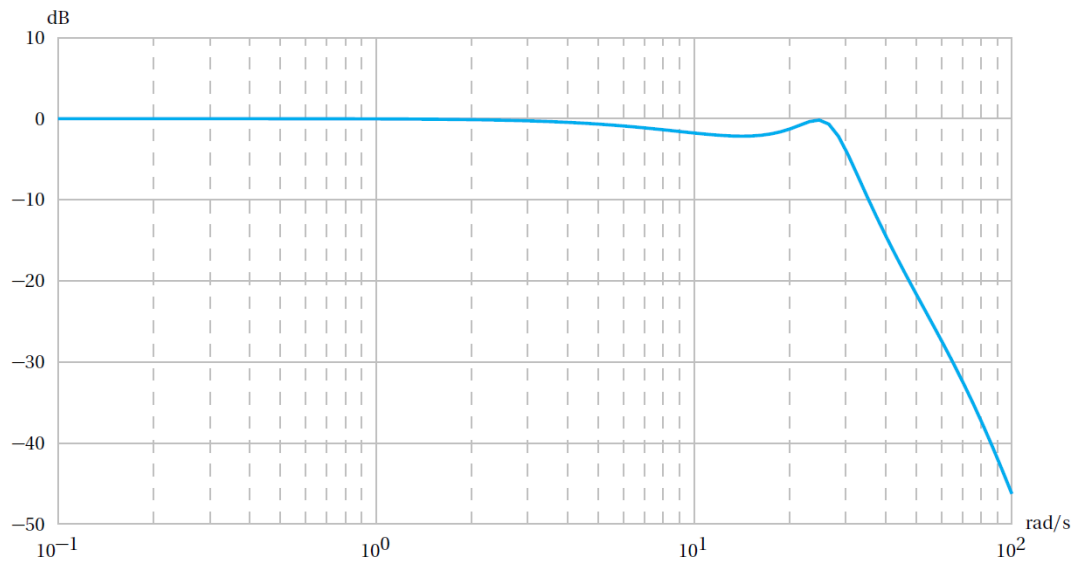


Diagramme de Bode (gain uniquement) du système corrigé.

Question 34 Le critère de bande passante à -3 dB du cahier des charges est-il toujours respecté?