Concours commun Mines-Ponts, France

Session 2007, filière PSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie A : analyse fonctionnelle et structurelle
- Partie B, fonction FT1.2.7 : isotropie de masse apparente
- Partie B, fonction FT1.3 : asservissement de courant
- Partie B, fonction FT2 : couplage du bras maître et du système virtuel

Copie non officielle du sujet, à partir de la page suivante.

Copie de l'énoncé et des annexes complète, document-réponse réduit à quatre pages de figures.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/mines/psi/2007/si

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

A 2007 SI-PSI

ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES,
ECOLES NATIONALES SUPERIEURES DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE,
DES TECHNIQUES AVANCEES, DES TELECOMMUNICATIONS,
DES MINES DE PARIS, DES MINES DE SAINT-ETIENNE, DES MINES DE NANCY,
DES TELECOMMUNICATIONS DE BRETAGNE.
ECOLE POLYTECHNIQUE (FILIERE TSI)

CONCOURS D'ADMISSION 2007

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES
Filière : PSI

Sujet mis à la disposition des concours : Cycle International, ENSTIM, INT, TPE-EIVP

Durée de l'épreuve : 4 heures
L'usage de la calculette est autorisé

Cet énoncé comporte le sujet (6 pages numérotées de 1/6 à 6/6) et ses annexes (8 pages numérotées de 1/8 à 8/8). Le travail sera effectué sur le document-réponse de 16 pages fourni avec la copie. Un seul document-réponse est fourni au candidat. Le renouvellement de ce document en cours d'épreuve est interdit. Pour valider ce document-réponse, chaque candidat doit obligatoirement y inscrire à l'encre, à l'intérieur du rectangle d'anonymat situé en première page ses nom, prénoms (souligner le prénom usuel), numéro d'inscription et signature. Il est conseillé de lire la totalité de l'énoncé avant de commencer l'épreuve.

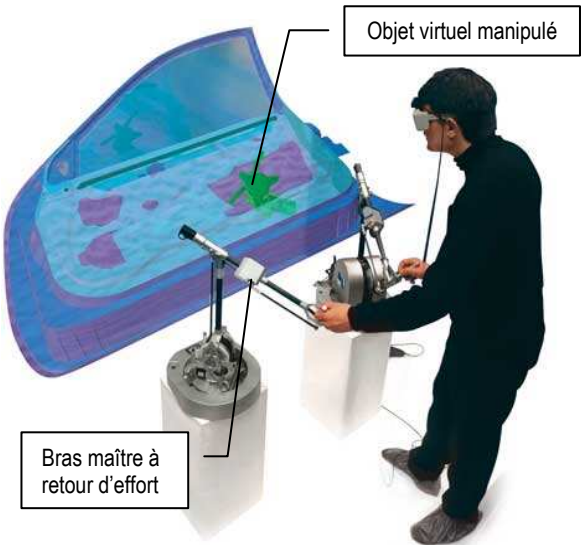
Les questions sont organisées au sein d'une progression logique caractéristique de la discipline, certaines questions étant partiellement dépendantes : Il est donc souhaitable de les traiter dans l'ordre. La rédaction des réponses sera la plus concise possible : on évitera de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.

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

Bras maître à retour d'effort de système de réalité virtuelle

La réduction des délais de conception, de mise au point des produits et de leurs procédés de fabrication est une exigence des entreprises industrielles sur les marchés à forte concurrence. Améliorant cette productivité, les outils de simulation informatique sont utilisés sur maquette numérique, dès la phase de conception sans faire appel à des prototypes physiques. Ainsi un avion est maintenant testé et simulé avant qu'il n'existe réellement. Ses futurs pilotes s'entraînent à son pilotage avant que le premier exemplaire ne vole. Dans l'industrie automobile gourmande d'opérations d'assemblage, les opérateurs peuvent tester et simuler des postes de travail avant même que le véhicule n'existe physiquement.

Parmi les outils actuels, le système à retour d'effort permet à son utilisateur d'interagir avec un environnement virtuel par l'intermédiaire du sens du toucher. Il se compose d'une structure mécanique articulée, le **bras maître**, équipée de moteurs et de capteurs, reliés à une électronique embarquée. L'utilisateur prend en main la poignée située à l'extrémité de la structure et peut la déplacer librement, provoquant ainsi le déplacement de l'image dans la scène virtuelle. L'image ci-contre représente un opérateur qui s'entraîne au montage d'un moteur lève-vitre dans une portière d'automobile. Une image de synthèse reconstitue l'environnement tridimensionnel de travail et deux bras maîtres réalisent le retour d'effort sur les mains de l'opérateur simulant ainsi les résistances générées par le composant à manipuler et les chocs sur cet environnement. L'opérateur perçoit la scène grâce au retour visuel et aux retours d'effort, ces derniers constituant le flux haptique.



La société HAPTION conçoit et commercialise des interfaces à retour d'effort. Le modèle « VIRTUOSE 6D » permet d'exercer sur la main de l'opérateur trois forces et trois moments. Le modèle « VIRTUOSE 3D » qui n'exerce, lui, que seulement trois forces est étudié dans un contexte de réalité virtuelle présenté en figure 1.1 « ANNEXE 1 ».

A - ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE

1- Etude des flux d'informations (voir document «ANNEXE 1»).

Le document « ANNEXE 1 » figure 1.2, donne le niveau A0 du diagramme S.A.D.T. correspondant au système de réalité virtuelle. Sa décomposition au niveau A-0 est fournie, incomplète sur la copie.

Question 1 :

1. Compléter cette figure pour faire apparaître les échanges de données entre les cases d'action.
2. Préciser le nom des données échangées et compléter les rubriques repérées par une *.

Les Fonctions Techniques étudiées dans la suite sont celles recensées en gris dans le diagramme FAST de l'annexe 2.

2- Fonction FT1.2.2 : « Maintenir horizontale la platine support de poignée quels que soient les efforts exercés» (voir document « ANNEXE 3»).

Le Virtuose 3D présenté sur les figures 3.1 et 3.2 comporte un dispositif spécifique de maintien en ***position horizontale*** *de son support de poignée, la platine* ***5****. Ce dispositif agit indépendamment de la motorisation des axes. Le but de ce paragraphe est de montrer que ce dispositif permet de garantir cette condition* ***quelles que soient les actions mécaniques subies par la poignée****.*

Le document « ANNEXE 3 » figures 3.4, montre le détail du dispositif permettant de respecter cette condition. Il est constitué de quatre poulies (la poulie **4** étant double) de même diamètre liées aux solides **1**, **4** et **5**. Deux câbles inextensibles relient sans glisser les poulies **1** et **4** puis **4** et **5**.

Question 2 :

1. Montrer que ce dispositif conduit à $\vec{\Omega}_{5/1} = \vec{0}$. Conclure quant à la nature du mouvement de **5/1**.
2. Ce mouvement permet de définir une liaison entre **5** et **1**, équivalente à la chaîne de solides [**1**-**2**-**3**-**4**-**5**]. En considérant que cette liaison équivalente **5/1** est parfaite, donner son torseur d'inter-effort et conclure quant au respect de la fonction **FT1.2.2.**

3- Fonction FT1.2.4 : « Balayer un espace de travail adapté aux capacités de l'opérateur» (voir document «ANNEXE 3»)

Le repère R_0 (B ; $\vec{i}_0$, $\vec{j}_0$, $\vec{k}_0$) est associé à l'espace de travail ou « espace opérationnel ». Les coordonnées du point O, centre de la poignée, dans ce repère R_0 sont (x, y, z).

Sur la copie est tracée l'intersection avec le plan (B ; $\vec{i}_0$, $\vec{k}_0$) du domaine atteignable par le point O, extrémité du bras maître étudié.

Question 3 :

1. Le dispositif de maintien horizontal de la platine **5** étant actif, représenter la structure du bras maître (les quatre points B, C, D et O) lorsque le point O se trouve en O_2 et O_4.
2. Tracer l'intersection de ce domaine avec le plan (B ; $\vec{i}_0$, $\vec{j}_0$).

Question 4 :

Vérifier graphiquement sur ce tracé que la fonction FT1.2.4 est satisfaite. Le centre du cube est situé en (540, 0, 0) en mm dans le repère R_0.

4- Fonction FT1.2.5: « Assurer l'équilibrage statique du bras dans toutes les positions» (voir document «ANNEXE 3»).

Le Virtuose 3D comporte un dispositif spécifique d'équilibrage statique qui, en dehors de toute action de l'opérateur, permet au bras maître de rester dans la position précédemment acquise. Ce dispositif est actif en parallèle des motorisations qui génèrent le retour d'effort.

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

- Le dispositif spécifique de maintien horizontal de la platine **5** joue son rôle.
- Le système d'équilibrage statique, non représenté est actif : il exerce sur chacun des solides **2** et **3**, des actions mécaniques extérieures à ces solides, représentées respectivement par les torseurs couple {Equ ⇨2} : $\left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_{équ2}.\vec{j}_{123} \end{array} \right\}_B$ et {Equ ⇨3} $\left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_{équ3}.\vec{j}_{123} \end{array} \right\}_C$.

En conséquence, les deux dispositifs n'ont pas été représentés dans le schéma cinématique partiel à utiliser dans cette partie, celui de la figure 3.3 de l'annexe 3.

Les hypothèses complémentaires sont :

- Seules les barres **2** (de longueur L_2 et de masse M_2), **3** (de longueur L_3 et de masse M_3) et **5** (de longueur L_5 et de masse M_5), sont considérées comme ayant une masse non nulle.
- L'accélération de la pesanteur est $\vec{g} = -g.\vec{k}_{01}$.
- Les liaisons sont parfaites.
- Les moteurs n'exercent aucune action mécanique sur les tambours (couples moteurs nuls).
- L'opérateur n'exerce aucune action mécanique sur la poignée.

Question 5 :

Ecrire sans développer aucun calcul vectoriel, les deux équations scalaires permettant de déterminer $C_{équ2}$ et $C_{équ3}$ en fonction des actions de pesanteur agissant sur le mécanisme. Les systèmes isolés seront précisés clairement et les équations mises sous la forme $\vec{M}(A, i\Rightarrow j).\vec{i}_k + \ldots$

B – VERIFICATION DES PERFORMANCES

5- Fonction FT1.2.7: « Assurer l'isotropie de masse apparente ressentie par l'opérateur » (voir document «ANNEXE 3»).

Le but de ce paragraphe est de trouver une relation liant les ***actions mécaniques*** *(forces) exercées par l'opérateur sur la poignée, aux* ***accélérations angulaires*** *($\ddot{q}_i$) des axes des moteurs. Cette relation fournit la masse apparente dans toutes les directions. Un système isotrope idéal donne, au centre de l'espace de travail, une masse apparente identique dans toutes les directions et de valeur la plus faible possible.*

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

- L'équilibrage statique est considéré comme acquis : la somme des torseurs de pesanteur et des torseurs exercés par le dispositif extérieur d'équilibrage est nulle.
- Le dispositif spécifique de maintien horizontal de la platine **5** joue son rôle.

En conséquence, les deux dispositifs n'ont pas été représentés dans le schéma cinématique partiel à utiliser dans cette partie, celui de la figure 3.3 de l'annexe 3.

Les hypothèses complémentaires sont :

- Les liaisons sont parfaites.
- La masse et l'inertie des moteurs électriques (stators comme rotors) sont négligées.
- Seules les barres **2** (de longueur L_2 et de masse M_2), **3** (de longueur L_3 et de masse M_3) et **5** (de longueur L_5 et de masse M_5), sont considérées comme étant de masse non nulle.
- L'accélération de la pesanteur est $\vec{g} = -g.\vec{k}_{01}$.
- Les moteurs n'exercent aucune action mécanique sur les tambours (couples moteurs nuls).
- Lorsque l'opérateur agit sur la poignée de manœuvre, l'ensemble constitué par les solides **6**U**7**U**8** exerce des actions mécaniques sur le solide **5** représentées par le torseur :

$$\{F\Rightarrow 5\} : \begin{matrix} \\ O \end{matrix} \begin{Bmatrix} Fx.\vec{i}_0 + Fy.\vec{j}_0 + Fz.\vec{k}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}.$$

- Le repère R_0 est considéré comme galiléen.
- Les rapports de réduction des trois réducteurs à cabestans (voir figure 3.6) sont r_{01}, r_{12} et r_{23}, où chaque r_{ij} est en valeur absolue inférieur à 1.
- De plus, le bras maître étudié est utilisé en télé opération. Les vitesses de déplacement de la poignée imposées par l'opérateur étant faibles, les vitesses articulaires ($\dot{q}_i$) sont faibles, et **seront donc négligées dans les calculs.**

Question 6 :

Isoler le système matériel E_1=**5**U**3**U**2**U**1**. Ecrire l'équation scalaire **(1)** du moment dynamique en B, en projection sur la direction $\vec{k}_{01}$**.** Le document « ANNEXE 4 » donne les expressions pré calculées de certaines coordonnées des moments cinétiques des solides **1**, **2**, **3** et **5** dans leur mouvement par rapport à R_0 : utiliser ces résultats et ces notations pour développer l'équation **(1)**.

Question 7 :

Isoler deux autres systèmes. Ecrire deux équations scalaires **(2)**, et **(3)** reliant les différentes composantes des moments du torseur {F⇨5} aux moments dynamiques utiles. Ecrire ces équations de façon globale sans développer aucun calcul. Par exemple : $\vec{M}(P,F).\vec{j}_i = \vec{\delta}(P,N/0).\vec{j}_i + \ldots$

Le développement du calcul conduit aux deux équations suivantes, dans lesquelles $\cos(q_i) = c_i$ et $\sin(q_i) = s_i$:

Equation (2) :

$- Fx.c_1.(s_{23}.L_3 + s_2.L_2) - Fy.s_1.(s_{23}.L_3 + s_2.L_2) - Fz.(c_{23}.L_3 + L_5 + c_2.L_2) = \ddot{q}_2.(J_{B52} + J_{B32} + J_{B22}) + \ddot{q}_3.(J_{B53} + J_{B33})$

Equation (3) :

$- Fx.c_1.s_{23}.L_3 - Fy.s_1.s_{23}.L_3 - Fz.(c_{23}.L_3 + L_5) = \ddot{q}_2.(J_{C52} + J_{C32}) + \ddot{q}_3.(J_{C53} + J_{C33})$

Question 8 :

Ecrire le système d'équations sous forme matricielle **(4)**: $[J_{art}] . [F] = [A_{art}] . [\ddot{Q}]$ où :

- [F] est la matrice colonne $[F] = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$;
- $[\ddot{Q}]$ est la matrice colonne $[\ddot{Q}] = \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_{23} \end{bmatrix}$;
- $[J_{art}]$ est une matrice 3x3 dont on précisera les termes ;
- $[A_{art}]$ est une matrice 3x3 dont on précisera les termes.

Les coordonnées articulaires q_1, q_2 et q_{23} ($q_{23} = q_2 + q_3$) s'expriment en fonction des coordonnées opérationnelles x, y et z par des relations dont la dérivation conduit à l'écriture matricielle suivante :

$[\dot{Q}] = [G_{art}]. [V]$ où $[V]= \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix}$ et $[\dot{Q}] = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_{23} \end{bmatrix}$. De plus, l'hypothèse précédente étant toujours vraie ($\dot{q}_i \approx 0$),

on écrira $[\ddot{Q}] = [G_{art}]. [\dot{V}]$ avec $[\dot{V}]= \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix}$.

Question 9 :

Mettre la relation matricielle **(4)** sous la forme $[F] = [Ma] . [\dot{V}]$. Exprimer [Ma] en fonction des matrices précédentes utiles.

La matrice [Ma] est la matrice de masse apparente du bras maître. C'est cette masse que l'opérateur ressent lorsqu'il manipule le bras maître.

Au centre de l'espace de travail, la matrice [Ma] s'écrit $\begin{bmatrix} -0,279 & 0 & 0,932 \\ 0 & -0,055 & 0 \\ 0,022 & 0 & -0,369 \end{bmatrix}$ en Kg.

Question 10 :

Vérifier que le premier niveau d'exigence de la fonction **FT1.2.7**, est respecté (figure 2.2).

Question 11 :

Trouver la matrice $[M_m]$ telle que $\|[F]\|^2 = {}^t[\dot{V}].[Mm].[\dot{V}]$ où ${}^t[\dot{V}]$ est la matrice transposée de $[\dot{V}]$.

Cette matrice symétrique s'écrit, au centre de l'espace de travail et après diagonalisation :

$$[M_m]= \begin{bmatrix} 0,0031 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0062 & 0 \\ 0 & 0 & 1,0782 \end{bmatrix}.$$

Question 12 :

Vérifier si le second niveau d'exigence de la fonction **FT1.2.7** est bien respecté (figure 2.2).

6- Fonction FT1.3: « Asservir les actions mécaniques générées sur le bras maître à celles rencontrées par le système virtuel » (voir document «ANNEXE 5»).

Le document « ANNEXE 5 » rassemble les informations utiles à l'étude qui se limite à l'axe numérique associé à la rotation du socle **1** par rapport au bâti **0** selon l'axe $(A, \vec{k}_{01})$.

Etude de la boucle de courant

La consigne de couple $C_c(p)$ est élaborée par l'interface de couplage. La description des chaînes d'énergie et d'information (figure 5.1), ainsi que le modèle continu de l'axe (figure 5.3) font apparaître un asservissement de courant (« boucle de courant ») ayant comme entrée la consigne de courant $I_c(p)$ et comme sortie le courant absorbé par le moteur I(p).

Question 13 :

1. Expliquer en quoi cet asservissement de courant est équivalent à un asservissement de couple.
2. Donner la valeur de réglage du gain d'adaptation K_a.

Cette boucle de courant relève du cahier des charges suivant :

- Pour la fidélité de la restitution des sensations à l'opérateur, le système doit être précis (écart statique nul) et rapide (temps de réponse à 5% minimal).
- Pour le confort de l'opérateur, la réponse indicielle ne doit pas présenter de dépassement de la valeur finale.
- Le courant absorbé par le moteur doit rester dans tous les cas inférieur au courant maximal admissible i_{Madm} , i_{Madm}=23A.
- La tension de sortie vs de l'amplificateur de puissance est limitée à 30V.

Une simulation a permis de tracer les courbes représentant les évolutions temporelles suivantes :

- Celle du courant absorbé par le moteur i(t) lorsque le courant de consigne $i_c(t)$ est un échelon d'amplitude 14,3 A. Cette valeur correspond à une consigne de couple de 1Nm.
- Celle de la tension $v_s(t)$ pour la même consigne.

Ces courbes sont données sur le document réponse pour les valeurs suivantes de réglage du correcteur proportionnel et intégral :

- Gain du correcteur K_c = {1, 1.4, 2}
- Constante de temps d'intégration (en s) : T_i = {0.001, 0.003, 0.005}.

Question 14 :

Indiquer, en le justifiant, le choix du couple de valeurs (K_c, T_I) à retenir pour satisfaire le cahier des charges précédemment énoncé. La synthèse des arguments pourra prendre la forme d'un tableau comparatif.

7- Fonction FT2: « Coupler le bras maître et le système virtuel» (voir document «ANNEXE 5»).

Le modèle continu n°2 de la figure 5.4 est le modèle d'étude obtenu à partir du modèle précédent en substituant globalement les transmittances $G_1(p)$ et $G_2(p)$ à la « boucle de courant » et à la « boucle moteur ». Après approximation des modèles, les expressions des fonctions de transfert $G_1(p)$ et $G_2(p)$ fournies figure 5.6 ont été retenues.

L'interface de couplage permet au système virtuel de reproduire les mouvements du bras maître et de retransmettre à celui-ci une image des résistances mécaniques virtuelles rencontrées. Cette interface de couplage entre les deux bras est caractérisée à ce niveau de description par les deux fonctions de transfert de couplage : $\frac{C_C(p)}{\Delta Q(p)}$ et $\frac{C_V(p)}{\Delta Q(p)}$, avec : $\frac{C_C(p)}{\Delta Q(p)} = -(b_m.p + k_m)$, $\frac{C_V(p)}{\Delta Q(p)} = (b_v.p + k_v)$.

Les paramètres b_v, b_m, k_v, k_m constituent les **paramètres de réglage** de l'interface.

On admettra dans l'étude que le comportement de l'axe du système virtuel est modélisé par la fonction de transfert $H_v(p)$ donnée figure 5.6.

Réglage de l'interface de couplage

*Régler l'interface consiste à déterminer les valeurs de b_v, b_m, k_v, k_m satisfaisant conjointement trois critères : **raideur**, **stabilité** et **bande passante**. L'étude proposée vise à établir à partir de ces critères des relations de contrainte sur certains de ces paramètres. Ces relations seront exploitées lors de la procédure de mise au point ultérieure de l'interface qui nécessitera l'assistance de moyens informatiques et une validation « in situ ».*

Etude liminaire

$H_m(p)$ définit la fonction de transfert motrice avec : $H_m(p) = \frac{Q_v(p)}{C_{op}(p)}$.

Une manipulation des schémas-blocs du modèle continu n°2 de la figure 5.5 permet de faire apparaître une fonction de transfert $H_0(p)$ dite « en boucle ouverte », dont l'insertion dans une boucle à retour unitaire fournit un système équivalent à H_m. (voir figure 5.4)

Question 15 :

1. Donner l'expression de la fonction de transfert $H_m(p)$ en fonction de G_1, G_2, H_v, b_v, b_m, k_v, k_m et de la variable p.
2. Dans le contexte du schéma-bloc général de la figure 5.4, exprimer $H_0(p)$ en fonction de $H_m(p)$.
3. Déduire des résultats précédents l'expression de la fonction de transfert $H_0(p)$ en fonction de G_1, G_2, H_v, b_v, b_m, k_v, k_m et de la variable p.
4. Déterminer l'expression du gain statique K_0 de H_0 en fonction de k_v et k_m.

Situation de travail :
L'interface est supposée opérationnelle et est réglée avec b_v, b_m, k_v, k_m non nuls. En cours de manipulation, sans qu'il n'y ait d'incident, l'opérateur ne perçoit pas de « retour d'effort ». A ce moment là, le moteur électrique n'exerce pas d'effort, cette situation est la conséquence d'une consigne de couple articulaire nulle.

Question 16 :

1. Toujours d'après le modèle continu n°2, quelles sont les relations qui existent alors d'une part entre les variables $q_1(t)$, $q_v(t)$ et d'autre part entre leurs dérivées temporelles ?
2. Décrire en quelques mots la perception qu'a l'opérateur du mouvement du système virtuel.

Critère de raideur
La raideur d'un système mécanique caractérise ses déformations sous l'effet des efforts qui lui sont appliqués. Par extension, on définit la raideur de l'axe étudié sur le bras maître par :

$$c_{op} = R.\, q_v$$

avec R en Nm/rad, c_{op} en Nm et q_v en rad.
On considère que :

- la structure mécanique du bras maître est infiniment rigide (pas de déformations des éléments mécaniques sous charge) ;
- la stabilité de H_m est acquise ;
- que l'opérateur délivre un échelon unitaire de couple $C_{op}(p)$, ($c_{op}(t) = 1.u(t)$ avec $u(t) = 0$ si $t < 0$ et $u(t) = 1$ si $t \geq 0$),
- b_v, b_m, k_v, k_m sont non nuls.

Question 17 :

1. Calculer en régime permanent la raideur R de la chaîne présentant $C_{op}(p)$ en entrée et $Q_v(p)$ en sortie.
2. En déduire la relation existant entre k_v et k_m permettant de satisfaire le critère de raideur (figure 2.2). (document « ANNEXE 2 »).

Sont fournis sur le document réponse les diagrammes de Bode de $H_m(j.\omega)$, sa réponse indicielle et le diagramme de Black de $H_0(j.\omega)$ obtenus pour un réglage des paramètres b_v, b_m, k_v et k_m . Les candidats veilleront à laisser apparaître leurs relevés sur ces graphes lorsqu'ils seront amenés à les exploiter.

Critère de stabilité absolue
Question 18 :

1. Donner l'ordre de $H_m(p)$ et indiquer si elle présente un risque potentiel d'instabilité.
2. Si tel devait être son comportement, comment celui-ci se manifesterait-il lors d'une manipulation du bras maître par l'opérateur ?
3. En exploitant les informations dont vous disposez, énoncer deux arguments différents qui permettent d'affirmer que le réglage proposé assure la stabilité de $H_m(p)$.

Critère de bande passante motrice
La bande passante motrice est définie comme la bande de fréquence correspondant à l'intervalle $]0, f_{3dB}]$ où f_{3dB} désigne la fréquence pour laquelle l'amplitude du signal de sortie de $H_m(j.\omega)$ est atténuée de 3dB par rapport à l'amplitude statique.

Question 19 :

Le critère de bande passante (figure 2.2)(document « ANNEXE 2 ») est-il satisfait ? Justifier votre réponse.

L'expérience montre qu'un opérateur très entraîné peut générer des signaux jusqu'à une fréquence de 5 Hz.

Question 20 :

1. Le temps de calcul des tâches virtuelles, celui de transfert des informations et celui d'affichage des images étant négligés, évaluer le retard temporel de la « sortie visuelle » affichée à l'écran sur l'action de l'opérateur lorsque celui-ci génère un signal sinusoïdal de fréquence 5 Hz.
2. Evaluer le rapport entre l'amplitude du signal visuel généré sur écran $q_v(t)$ et celle du mouvement généré par l'opérateur $q_1(t)$ à cette fréquence à l'aide du diagramme de Bode de la fonction de transfert $H_{bras}(p)$ fourni sur la copie. $H_{bras}(p) = \dfrac{Q_1(p)}{C_{op}(p)}$
3. Commentez ces résultats et élargissez votre réflexion aux signaux de fréquence différente de 5 Hz.

Architecture d'un système de réalité virtuelle
ANNEXE 1 (1 page)

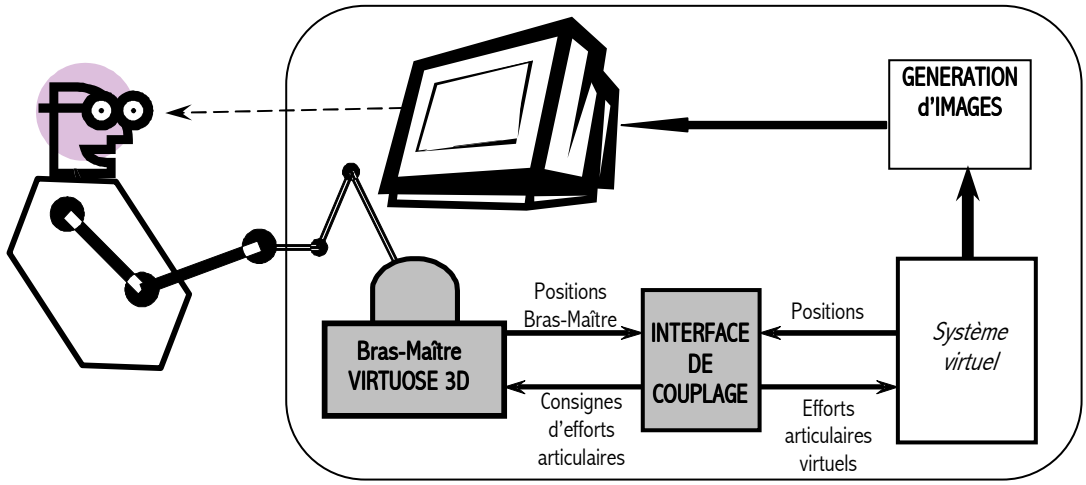


Figure 1.1

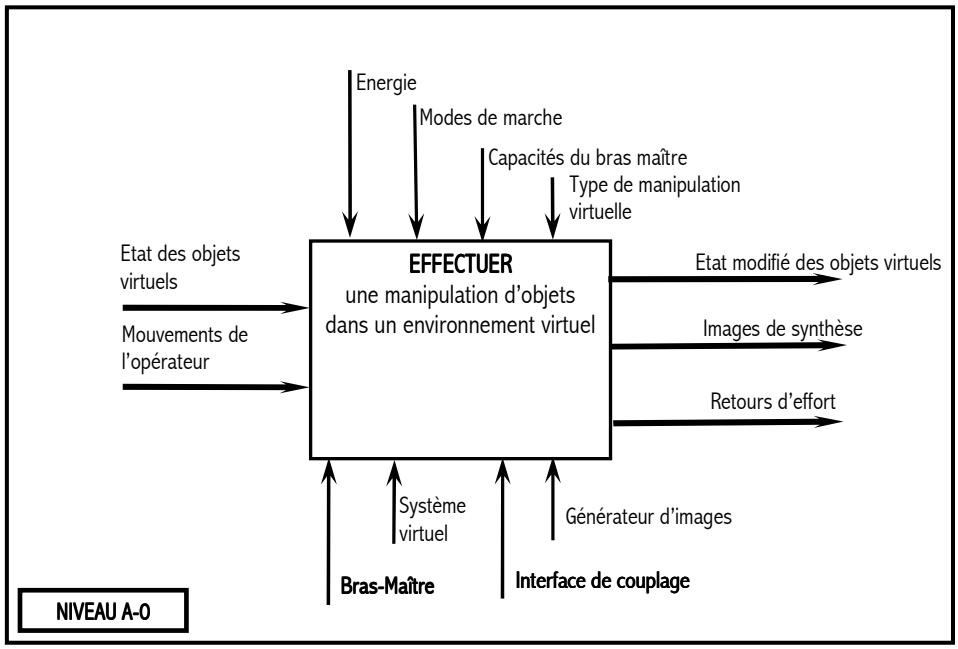


Figure 1.2

Diagramme FAST ANNEXE 2 (1 page)

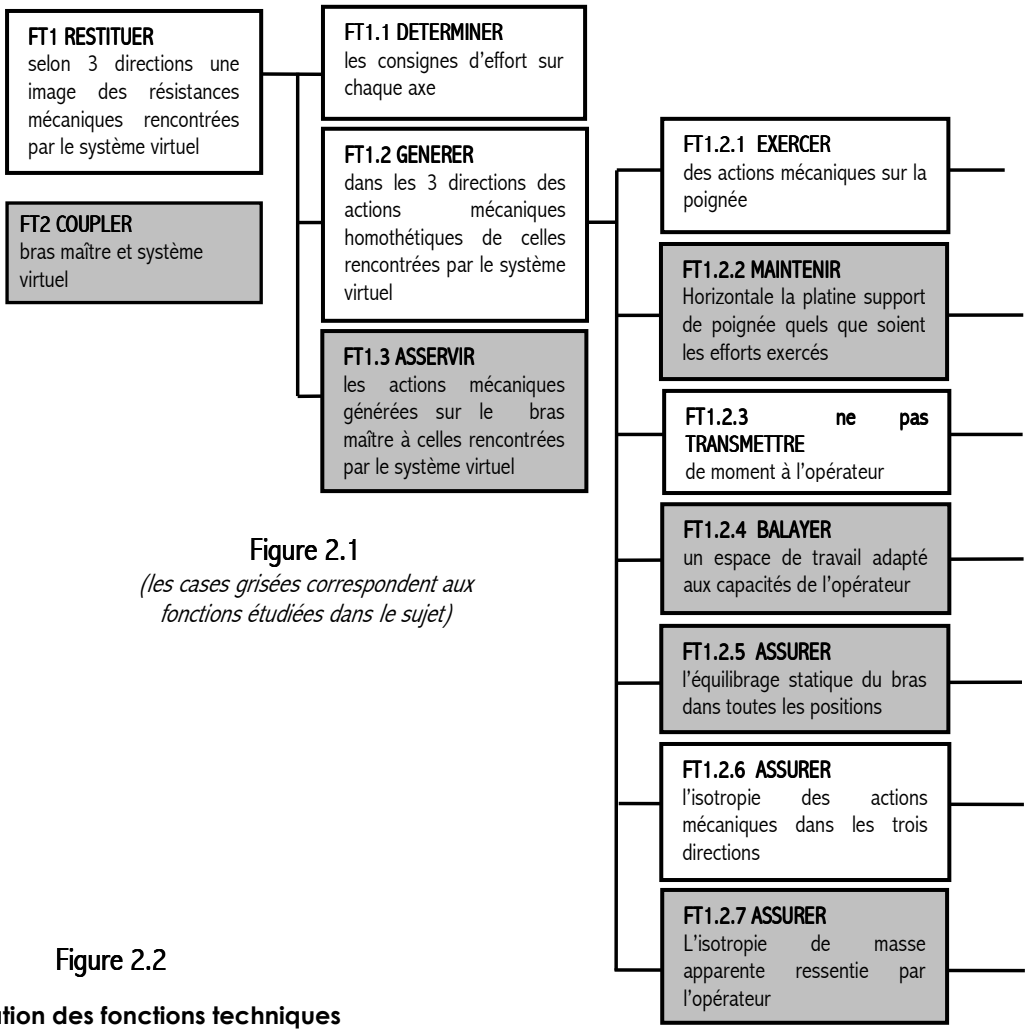


Figure 2.1

(les cases grisées correspondent aux fonctions étudiées dans le sujet)

Figure 2.2

Caractérisation des fonctions techniques

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
FT1.2.4	Insérer un cube d'arête a dans le domaine atteignable	a = 280 mm	néant
FT1.2.5	Indépendance de l'action à exercer par l'opérateur sur la poignée vis à vis de la configuration du bras maître dans le champ de pesanteur.	totale	néant
FT1.2.7	Caractérise le fait pour l'opérateur de « ressentir » une masse identique dans toutes les directions au centre de l'espace de travail, lorsque l'accélération galiléenne du centre de la poignée est de 1 m/s².	**Niveau 1** : valeur maximale de 500 g, l'accélération galiléenne du centre de la poignée étant de 1 m/s² dans les directions $\vec{i}_0$, $\vec{j}_0$ et $\vec{k}_0$; **Niveau 2** : à des l'accélérations galiléennes du centre de la poignée de 1 m/s² dans les directions $\vec{i}_0$, $\vec{j}_0$ et $\vec{k}_0$ (sphère de rayon unité), correspond un ellipsoïde « en effort » dont le rapport grand axe sur petit axe est inférieur à 3.	+10% +10%

Fonction	Critères	Niveaux	Flexibilité
FT 2	**Stabilité**	absolue	néant
	Raideur L'opérateur doit ressentir les arrêts de fin de course générés par le logiciel (« butées logicielles ») comme des butées « mécaniques » réelles (équivalentes à un contact réel entre solides).	**Raideur R** : R > 20Nm/rad.	néant
	Bande passante motrice Les vibrations parasites sur le bras maître doivent être filtrées. Le système doit être rapide.	**Fréquence de coupure à 3 dB** $f_{3dB} \geq 20$ Hz	néant

Caractéristiques mécaniques du bras

ANNEXE 3 (3 pages)

La figure ci-contre présente la structure de ce bras maître.

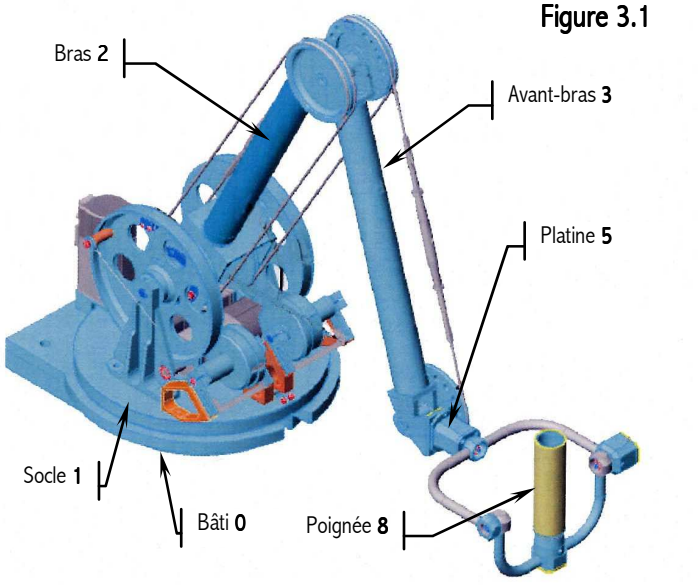
Il est principalement constitué (hormis le bâti 0) de la mise en série de cinq solides :

- le socle 1 ;
- Le bras 2 ;
- L'avant-bras 3 ;
- La platine 5 ;
- La poignée de manœuvre 8.

Les quatre premiers solides forment avec le bâti, la chaîne ouverte des liaisons pivot L_{01}, L_{12} et L_{23}.
La poignée 8, est reliée à la platine 5 par trois liaisons pivot en série dont les axes se coupent en O.

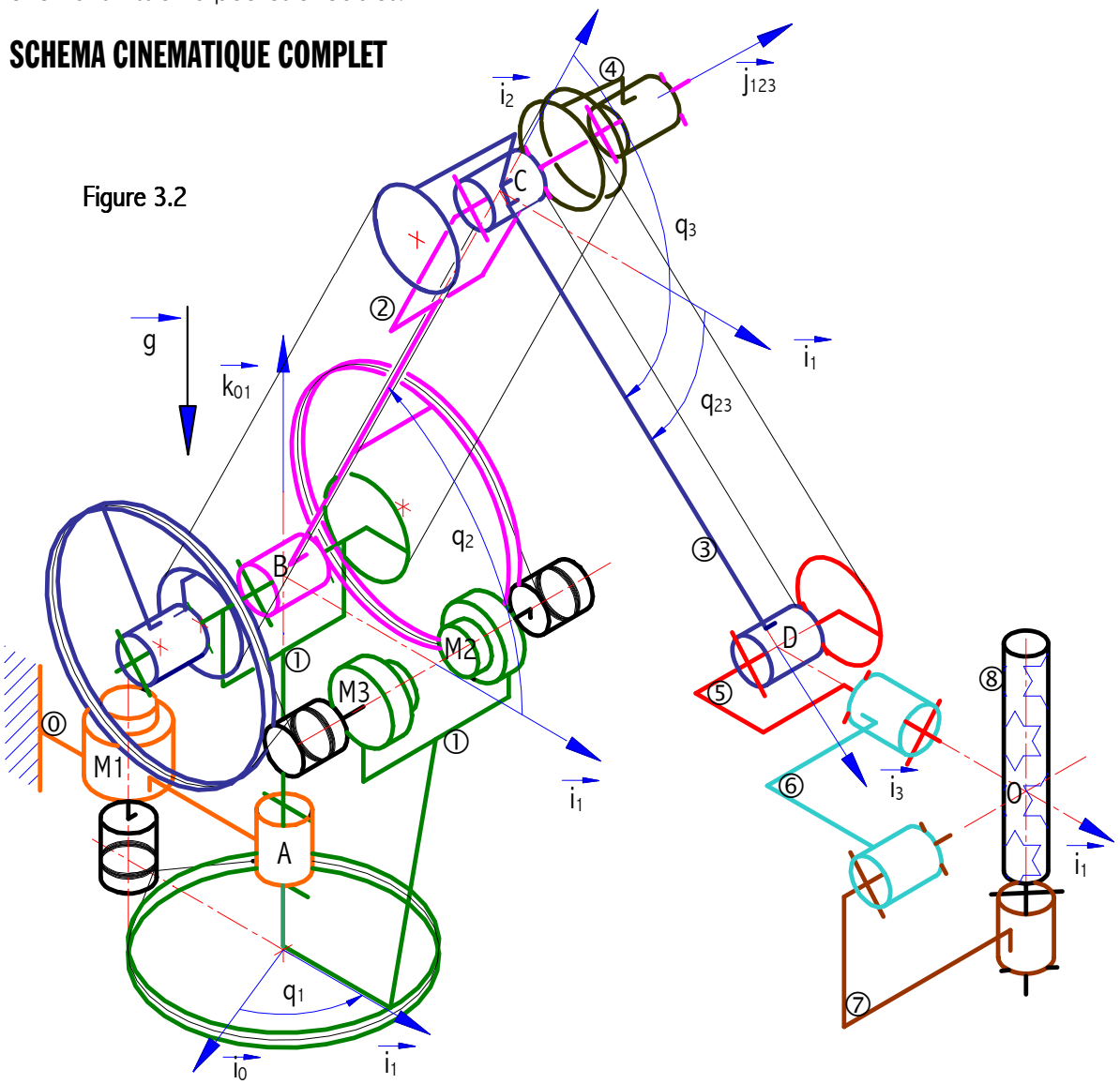
La platine 5 est maintenue horizontale par une transmission à poulies et câbles.

Figure 3.1



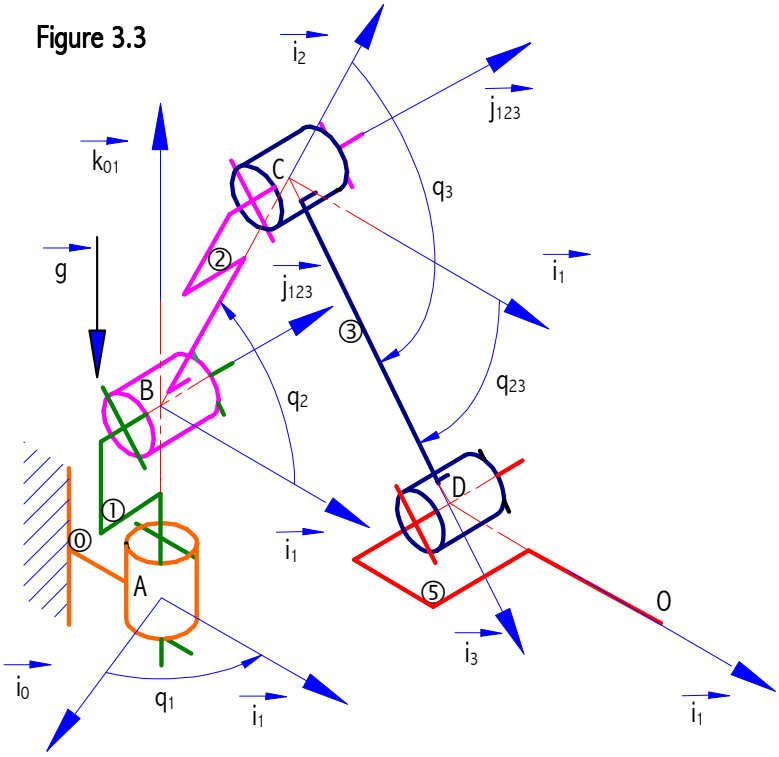
SCHEMA CINEMATIQUE COMPLET

Figure 3.2



SCHEMA CINEMATIQUE PARTIEL (squelette)

Figure 3.3



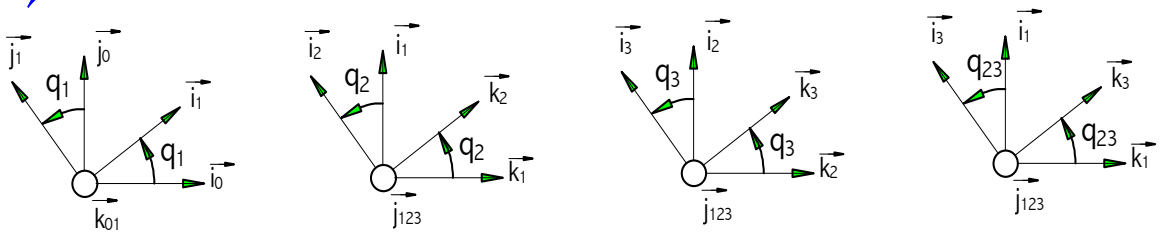
Liaison	Détail
0-1	Pivot d'axe (B, $\vec{k}_{01}$)
1-2	Pivot d'axe (B, $\vec{j}_{123}$)
2-3	Pivot d'axe (C, $\vec{j}_{123}$)
3-5	Pivot d'axe (D, $\vec{j}_{123}$)

$\vec{AB} = L_1 \vec{k}_{01}$ (L_1 = 100 mm)

$\vec{BC} = L_2 \vec{i}_2$ (L_2 = 350 mm)

$\vec{CD} = L_3 \vec{i}_3$ (L_3 = 350 mm)

$\vec{DO} = L_5 \vec{i}_1$ (L_5 = 170 mm)

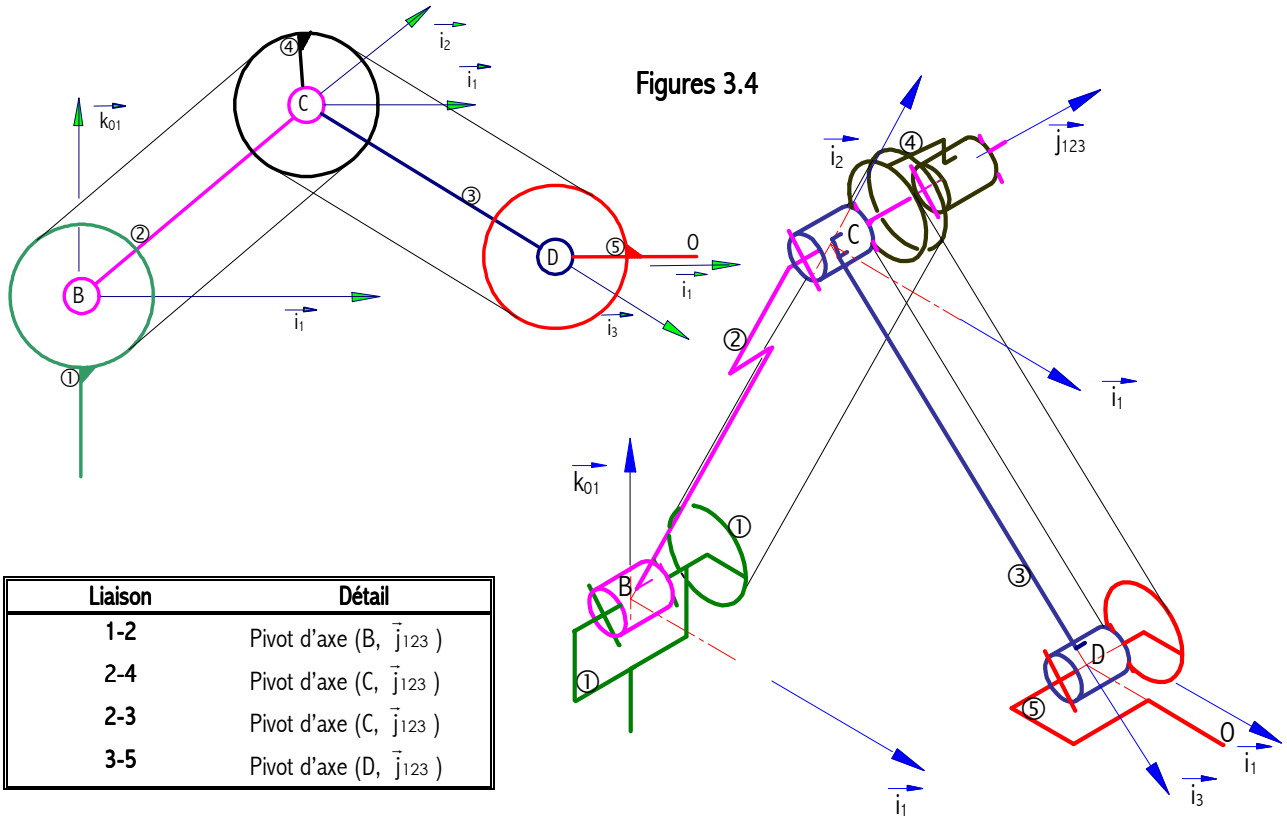


Notation : $\vec{j}_1 = \vec{j}_2 = \vec{j}_3 = \vec{j}_{123}$

$q_{23} = q_2 + q_3$

DETAIL DU DISPOSITIF DE MAINTIEN DE LA PLATINE 5 EN POSITION HORIZONTALE

Figures 3.4



Liaison	Détail
1-2	Pivot d'axe (B, $\vec{j}_{123}$)
2-4	Pivot d'axe (C, $\vec{j}_{123}$)
2-3	Pivot d'axe (C, $\vec{j}_{123}$)
3-5	Pivot d'axe (D, $\vec{j}_{123}$)

CHAINES D'ENERGIE DU BRAS MAITRE

La chaîne d'énergie associé à chacune des trois liaisons pivot L_{01}, L_{12} et L_{23} est constituée principalement d'un moteur électrique à courant continu, et d'un réducteur à cabestan (voir figures 3.5 et 3.6).

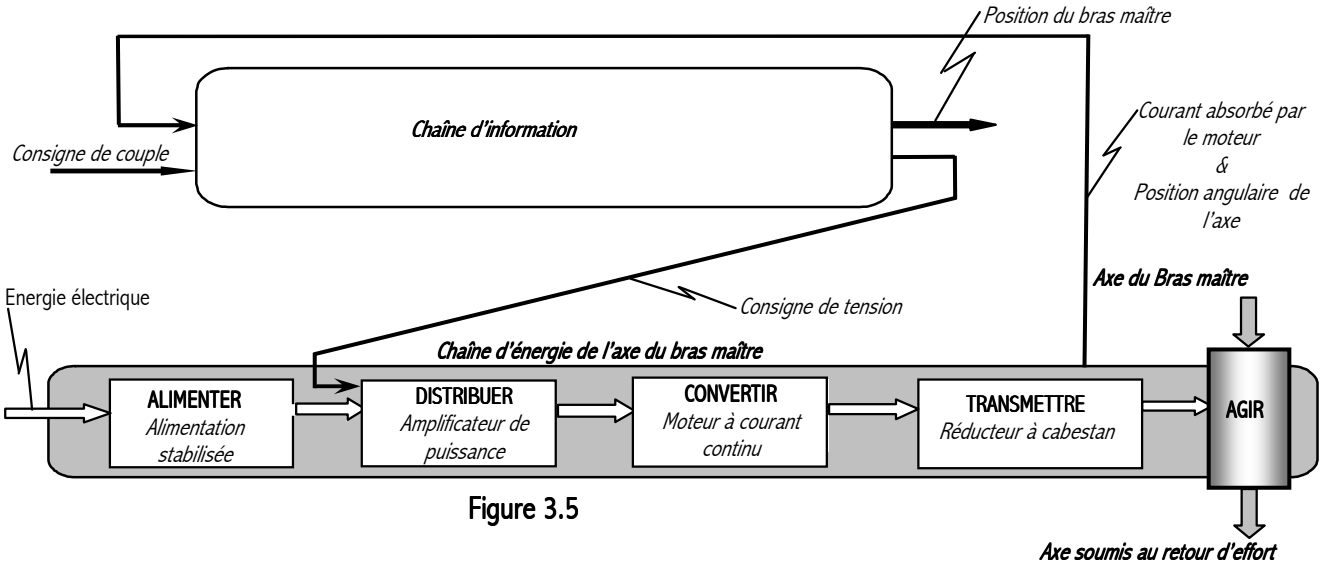


Figure 3.5

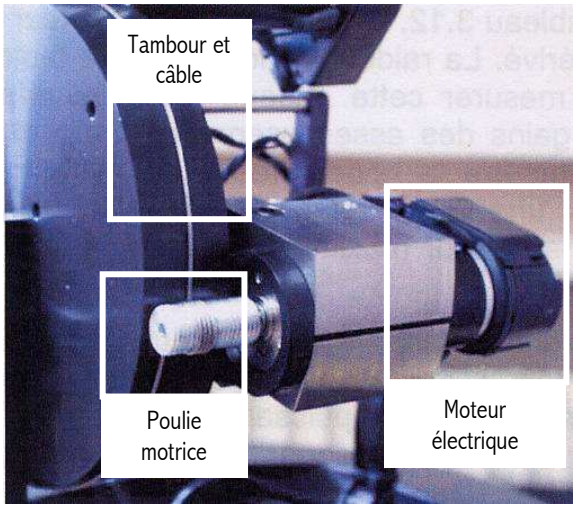


Figure 3.6 Réducteur à cabestan

Les débattements articulaires des trois liaisons pivot L_{01}, L_{12} et L_{23} sont limités par des butées mécaniques. Ils ne peuvent pas excéder les valeurs données dans le tableau ci-dessous (l'angle de repli est l'angle compris entre le bras et l'avant-bras).

	q_1	q_2	$q_{23} = q_2 + q_3$	Repli = $\pi - q_3$
Butée inférieure	- 40,5°	- 124°	7,5°	34°
Butée supérieure	40,5°	- 25,5°	118°	-

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET INERTIELES DES SOLIDES PRINCIPAUX

SOLIDE		1	2	3	5
masse		M_1	M_2	M_3	M_5
Centre d'inertie	Désignation	B	G_2	G_3	G_5
	Position		$\overrightarrow{BG_2} = \frac{L_2}{2}\vec{i}_2$ L_2 = 350 mm	$\overrightarrow{CG_3} = \frac{L_3}{2}\vec{i}_3$ L_3 = 350 mm	$\overrightarrow{DG_5} = \frac{L_5}{2}\vec{i}_1$ L_5 = 170 mm
Matrice d'inertie	Désignation et forme	$[I(B,1]: \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & 0 \\ 0 & 0 & D_1 \end{bmatrix}$	$[I(G_2,2]: \begin{bmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & D_2 \end{bmatrix}$	$[I(G_3,3]: \begin{bmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & D_3 \end{bmatrix}$	$[I(G_5,5]: \begin{bmatrix} A_5 & 0 & 0 \\ 0 & B_5 & 0 \\ 0 & 0 & D_5 \end{bmatrix}$
	Exprimée au point :	B	G_2	G_3	G_5
	Dans la base :	$(\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1)$	$(\vec{i}_2, \vec{j}_2, \vec{k}_2)$	$(\vec{i}_3, \vec{j}_3, \vec{k}_3)$	$(\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1)$

Figure 3.7

Eléments de cinétique ANNEXE 4 (1 page)

Dans cette page, sont utilisées les notations suivantes : $\cos(q_i) = c_i$ et $\sin(q_i) = s_i$

Solide 5 dans son mouvement par rapport à 0 :

$\vec{\sigma}(D,5/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{D51}$ avec $J_{D51} = D_5+M_5.L_5/2.(L_5/2+L_3.c_{23}/2+L_2.c_2)$

$\vec{\sigma}(D,5/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{D52} + \dot{q}_3.J_{D53}$ avec $J_{D52} = M_5.(L_3.L_5.c_{23}/2+L_2.L_5.c_2/2)$

$J_{D53} = M_5.L_3.L_5.c_{23}/2$

$\vec{\sigma}(C,5/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{C51}$ avec $J_{C51} = D_5 + M_5.(L_3.c_{23} + L_5/2).(L_2.c_2 + L_3.c_{23} + L_5/2)$

$\vec{\sigma}(C,5/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{C52} + \dot{q}_3.J_{C53}$ avec $J_{C52} = M_5.(L_2.L_5.c_2/2 + L_3.L_5.c_{23}/2 + L^2_3 + L_3.L_2.c_3)$

$J_{C53} = M_5.(L_3.L_5.c_{23}/2 + L^2_3)$

$\vec{\sigma}(B,5/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{B51}$ avec $J_{B51} = D_5+M_5.(L_5/2 + L_3.c_{23} + L_2.c_2)^2$

$\vec{\sigma}(B,5/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{B52} + \dot{q}_3.J_{B53}$ avec $J_{B52} = M_5.(L_3.L_5.c_{23}/2+L_2.L_5.c_2/2 +L^2_3 + 2.L_3.L_2.c_3 +L^2_2)$

$J_{B53} = M_5.(L_3.L_5.c_{23}/2+L^2_3 + L_3.L_2.c_3)$

Solide 3 dans son mouvement par rapport à 0 :

$\vec{\sigma}(D,3/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{D31}$ avec $J_{D31} = A_3.s^2_{23}+D_3.c^2_{23} - M_3.(L_3.L_2.c_{23}.c_2/2 + L^2_3.c^2_{23}/4)$

$\vec{\sigma}(D,3/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{D32} + \dot{q}_3.J_{D33}$ avec $J_{D32} = B_3 - M_3.L_3/2.(L_2.c_3 + L_3/2)$

$J_{D33} = B_3 - M_3.L^2_3/4$

$\vec{\sigma}(C,3/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{C31}$ avec $J_{C31} = A_3.s^2_{23}+D_3.c^2_{23}+M_3.(L_3.L_2.c_{23}.c_2/2 + L^2_3.c^2_{23}/4)$

$\vec{\sigma}(C,3/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{C32} + \dot{q}_3.J_{C33}$ avec $J_{C32} = B_3 + M_3.(L_2.L_3.c_3/2 + L^2_3/4)$

$J_{C33} = B_3 + M_3.L^2_3/4$

$\vec{\sigma}(B,3/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{B31}$ avec $J_{B31} = A_3.s^2_{23}+D_3.c^2_{23}+M_3.(L_2.c_2 + L_3.c_{23}/2)^2$

$\vec{\sigma}(B,3/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{B32} + \dot{q}_3.J_{B33}$ avec $J_{B32} = B_3 + M_3.(L_3.L_2.c_3 + L^2_3/4 + L^2_2)$

$J_{B33} = B_3 + M_3.(L_3.L_2.c_3/2 + L^2_3/4)$

Solide 2 dans son mouvement par rapport à 0 :

$\vec{\sigma}(C,2/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{C21}$ avec $J_{C21} = A_2.s^2_2 + (D_2 - M_2.L^2_2/4).c^2_2$

$\vec{\sigma}(C,2/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{C22}$ avec $J_{C22} = B_2 - M_2.L^2_2/4$

$\vec{\sigma}(B,2/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{B21}$ avec $J_{B21} = A_2.s^2_2 + (D_2 + M_2.L^2_2/4).c^2_2$

$\vec{\sigma}(B,2/0).\vec{j}_{123} = \dot{q}_2.J_{B22}$ avec $J_{B22} = B_2 + M_2.L^2_2/4$

Solide 1 dans son mouvement par rapport à 0 :

$\vec{\sigma}(B,1/0).\vec{k}_{01} = \dot{q}_1.J_{B11}$ avec $J_{B11} = D_1$

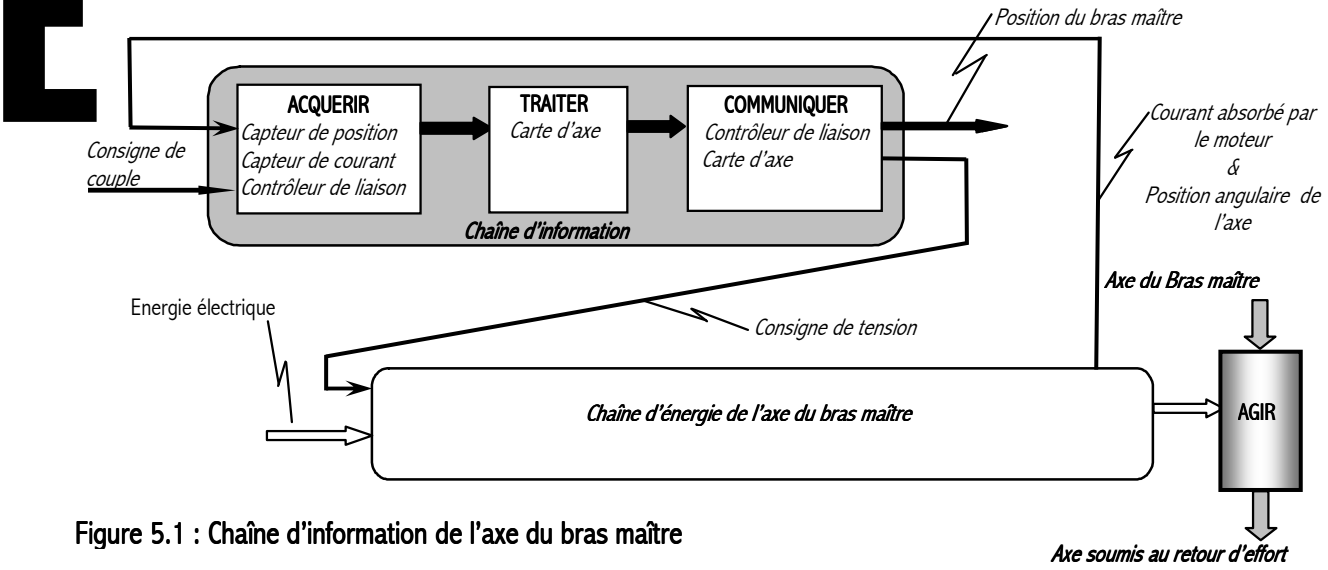


Figure 5.1 : Chaîne d'information de l'axe du bras maître

$$v_s(t) = e(t) + R.i(t) + L.\frac{di}{dt}(t) \qquad C_{m1}(t) + C_{op}(t) - f.\omega_m(t) = J.\frac{d\omega_m(t)}{dt} \qquad e(t) = K.\omega_m(t) \qquad C_{m1}(t) = K.i(t)$$

Voir tableau figure 5.6 pour la signification des notations utilisées

Figure 5.2 : équations du moteur à courant continu

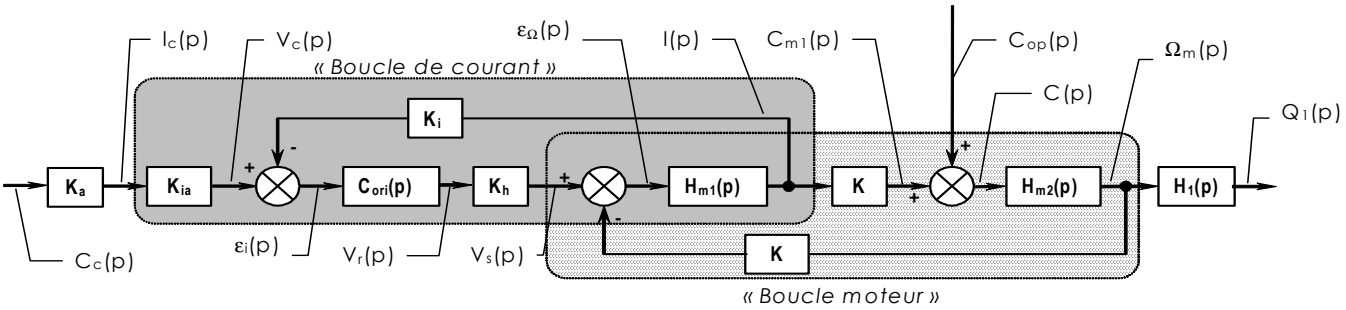


Figure 5.3 : modèle continu n°1-« Axe du bras maître »

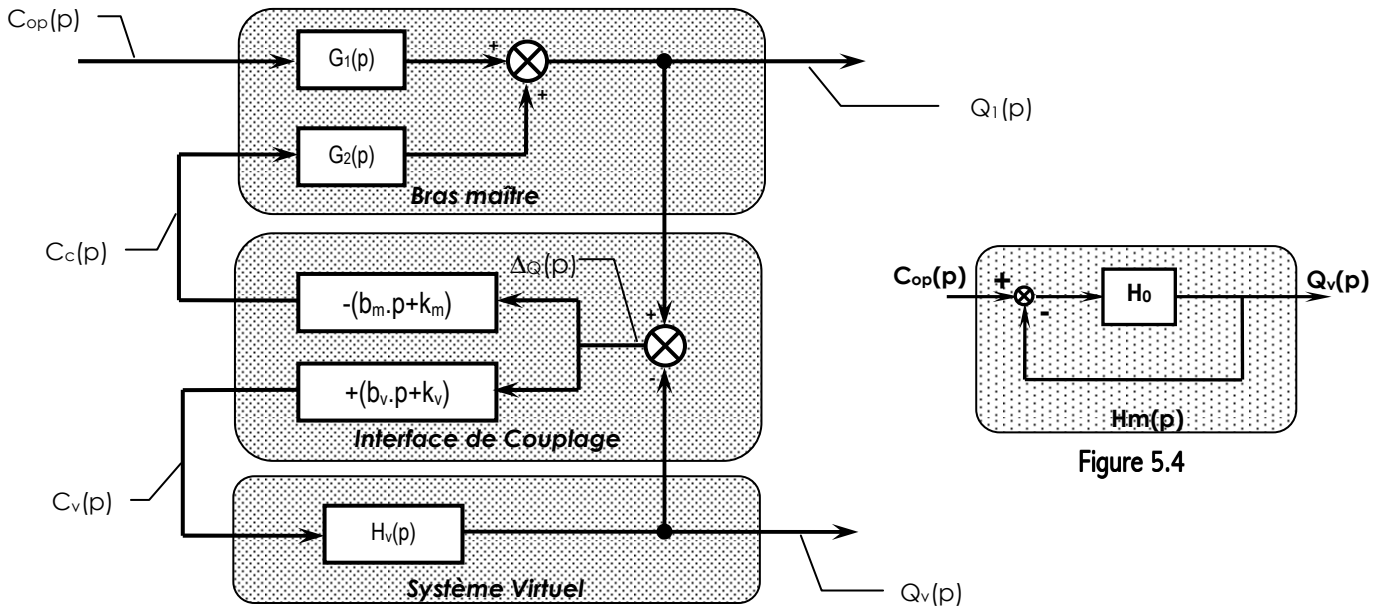


Figure 5.4

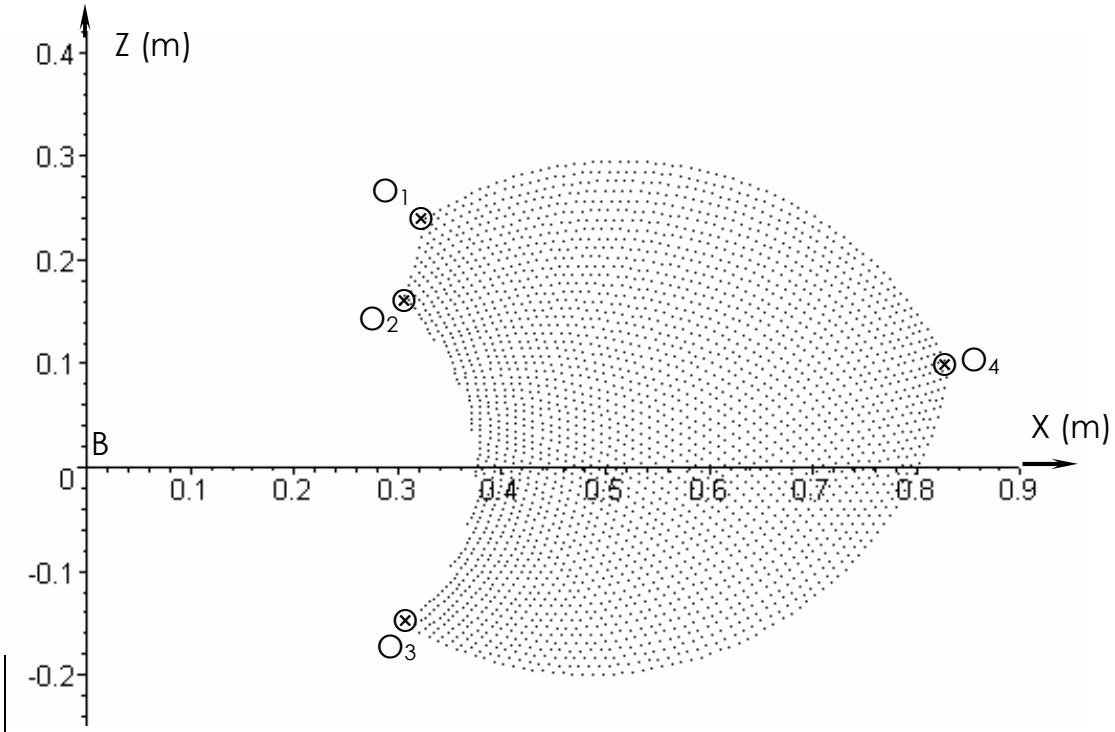
Figure 5.5 : Modèle continu n°2- «Bras maître, Interface de Couplage et Systeme Virtuel »

R	Résistance totale d'induit(Ω)		**I(p)**	Courant absorbé par le moteur (A)
L	Inductance totale d'induit(H)		**V_s (p)**	Tension de sortie de l'amplificateur de puissance (V)
e(t)	Force contre-électromotrice(V)		**C_{m1}(p)**	Couple délivré par le moteur sur l'arbre d'entrée du réducteur à cabestan (Nm)
K	Coefficient de f.c.e.m (V/rad/s) ou de couple du moteur (Nm/A)	$K = 7.10^{-2}$	**C_{op}(p)**	Couple résultant de l'action de l'opérateur ramené sur l'arbre moteur (Nm)
K_i	Gain du capteur de courant	K_i = 0,2 V/A	**J**	Moment d'inertie équivalent ramené sur l'arbre moteur(kg.m²)
K_{ia}	Gain d'adaptation réglé égal à Ki	K_{ia} = 0,2 V/A	**f**	Coefficient de frottement visqueux produisant un couple résistant proportionnel à la vitesse(Nm/rad/s)
C_{ori}(p)	FT du correcteur de courant	$C_{ori}(p) = Kc.\left(\frac{1+Ti.p}{Ti.p}\right)$	**Ω_m (p)**	Vitesse angulaire de rotation du moteur (rad/s)
K_h	Gain de l'amplificateur de puissance	$K_h = 6$	**I_c (p)**	Consigne de courant (A)
H_{m1}(p)	FT n°1 du moteur	$H_{m1}(p) = \frac{I(p)}{\varepsilon\Omega(p)}$	**V_c (p)**	Tension, image de Ic(p) (V)
H_{m2}(p)	FT n°2 du moteur	$H_{m2}(p) = \frac{\Omega m(p)}{C(p)}$	**ε_i (p)**	Ecart de « courant » (V)
H_1(p)	FT du réducteur à cabestan de rapport de réduction r_{01}	$H_1(p) = \frac{r_{01}}{p}$	**V_r (p)**	Tension de référence de l'amplificateur de puissance (V)
K_a	Gain d'adaptation couple/courant		**ε_Ω (p)**	Ecart de « vitesse » (V)
b_m	Coefficient de frottement visqueux de la liaison système virtuel/maître (Nm/rad.s^{-1})		**C(p)**	Couple sur l'arbre moteur (Nm)
k_m	Coefficient de raideur de la liaison système virtuel/maître (Nm/rad)		**C_c (p)**	Consigne de couple articulaire (Nm)
b_v	Coefficient de frottement visqueux de la liaison maître/ système virtuel (Nm/rad.s^{-1})		**Q_1 (p)**	Position angulaire du socle 1 par rapport au bâti 0 (rad)
k_v	Coefficient de raideur de la liaison maître/ système virtuel (Nm/rad)		**C_v (p)**	Couple articulaire virtuel (Nm)
Hv	FT de l'esclave virtuel		**Q_v (p)**	Position articulaire virtuelle (rad)

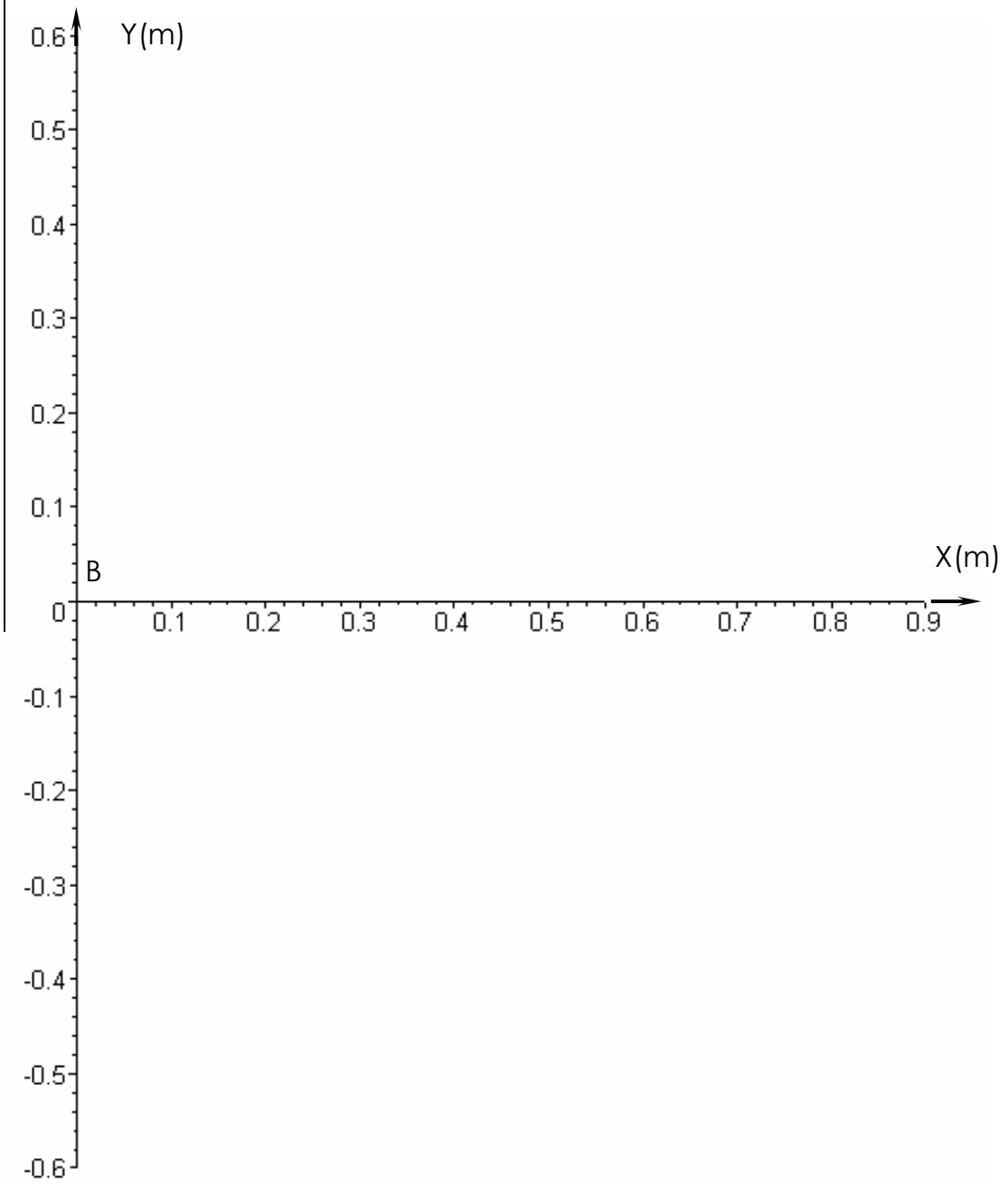
$$G_1(p) = \frac{18}{p}.\frac{1}{1+1,8.10^{-3}.p+1,2.10^{-6}.p^2} \qquad G_2(p) = \frac{18}{p}.\frac{1}{1+4.10^{-4}.p} \qquad H_v(p) = \frac{4}{1+3.10^{-3}.p+2.10^{-6}.p^2}$$

Notations : Pour une fonction scalaire f de la variable temporelle t, on note F sa transformée de Laplace, dont la variable complexe est notée p, ainsi u(t) a pour transformée U(p).

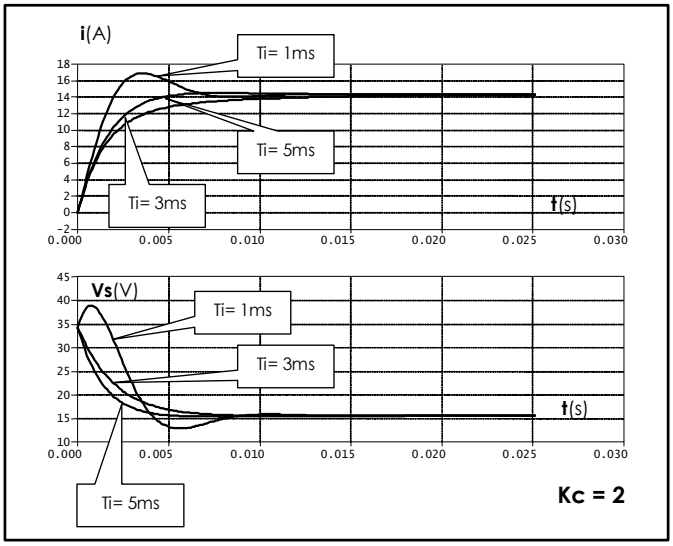
Figure 5.6 : Fonctions de transfert FT & Grandeurs physiques en jeu (unités)

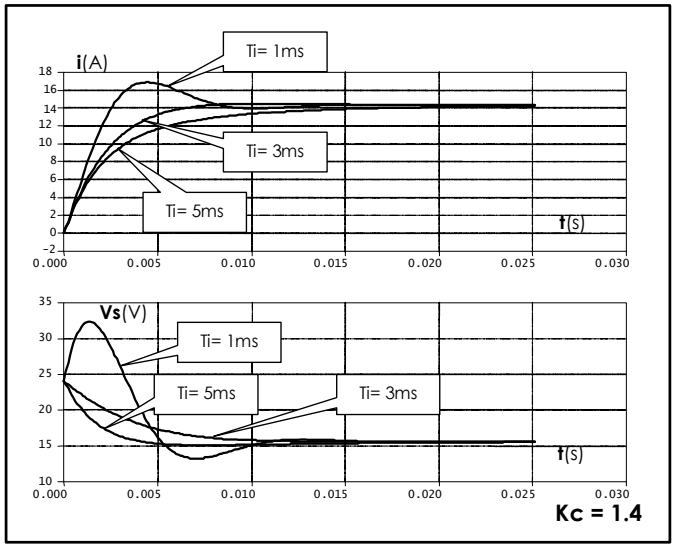


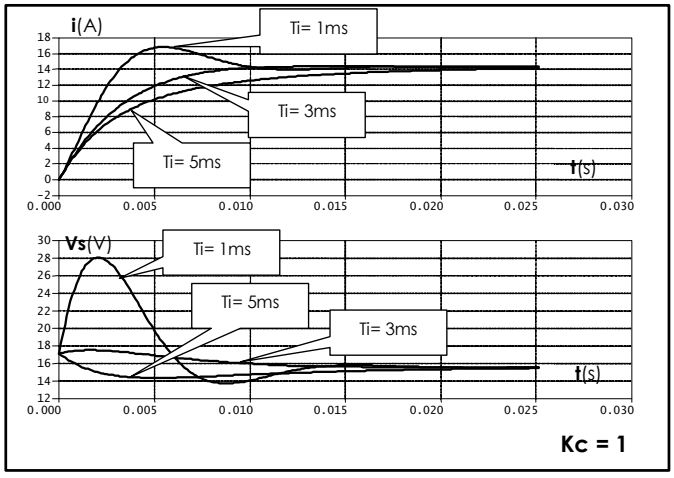
Domaine atteignable



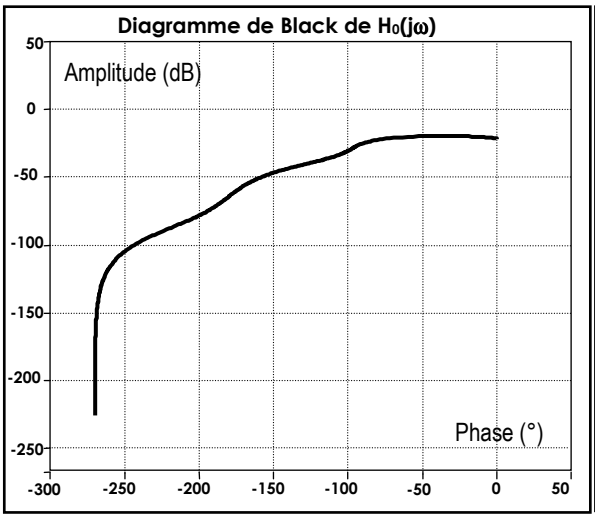
Question 21

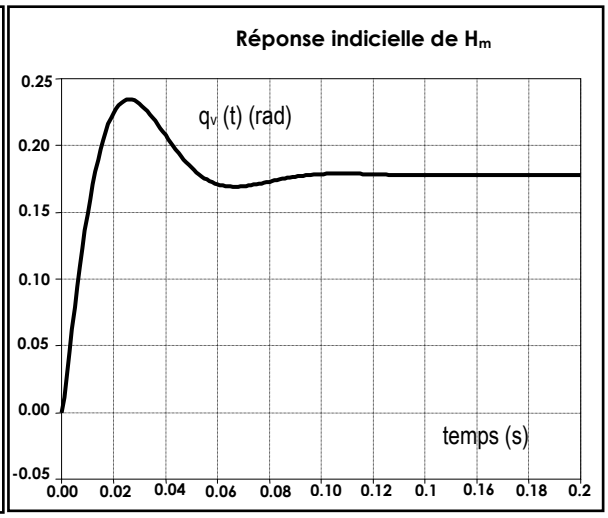

i(A)
Ti= 1ms
Ti= 5ms
Ti= 3ms
t(s)
Vs(V)
Ti= 1ms
Ti= 3ms
t(s)
Ti= 5ms
Kc = 2

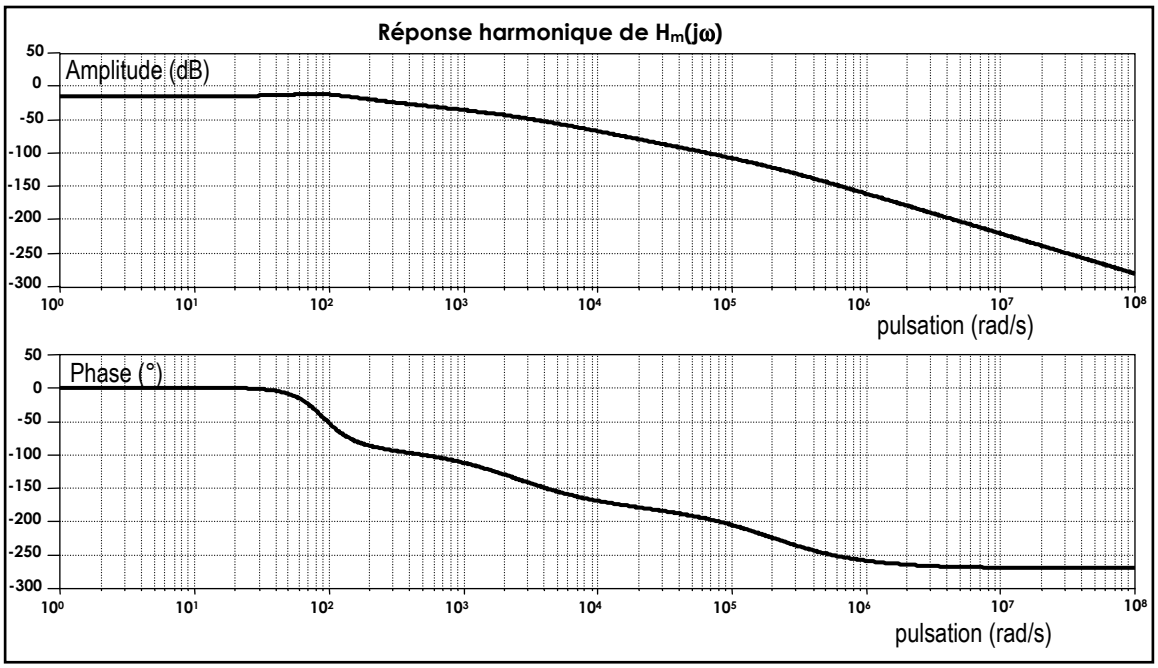

i(A)
Ti= 1ms
Ti= 3ms
Ti= 5ms
t(s)
Vs(V)
Ti= 1ms
Ti= 5ms
Ti= 3ms
t(s)
Kc = 1.4

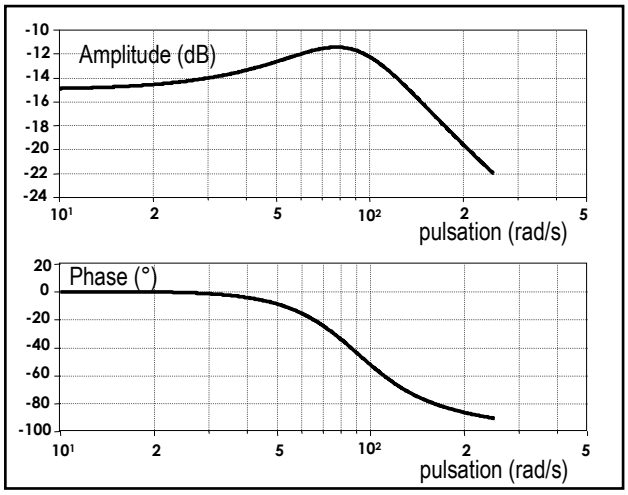

i(A)
Ti= 1ms
Ti= 3ms
Ti= 5ms
t(s)
Vs(V)
Ti= 1ms
Ti= 5ms
Ti= 3ms
t(s)
Kc = 1

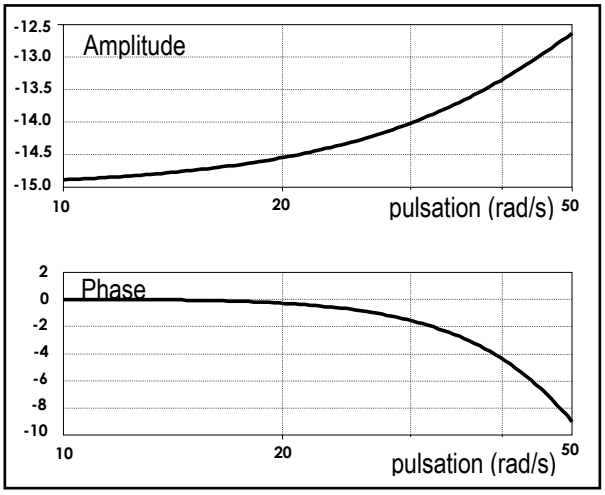
Questions 25 et 26



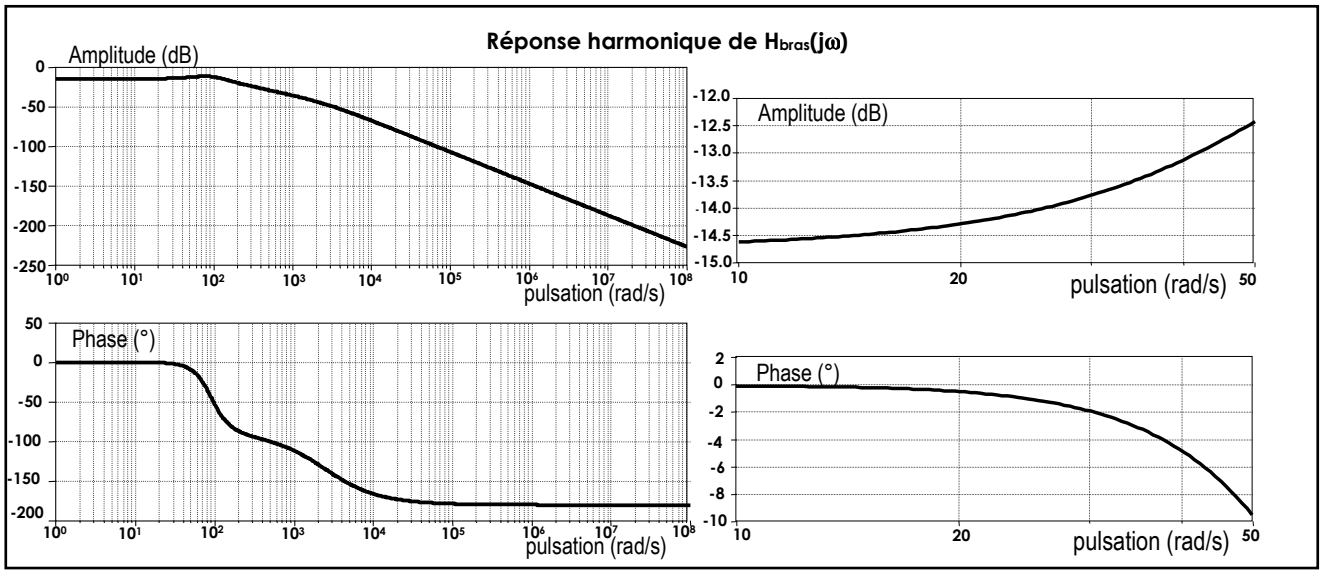




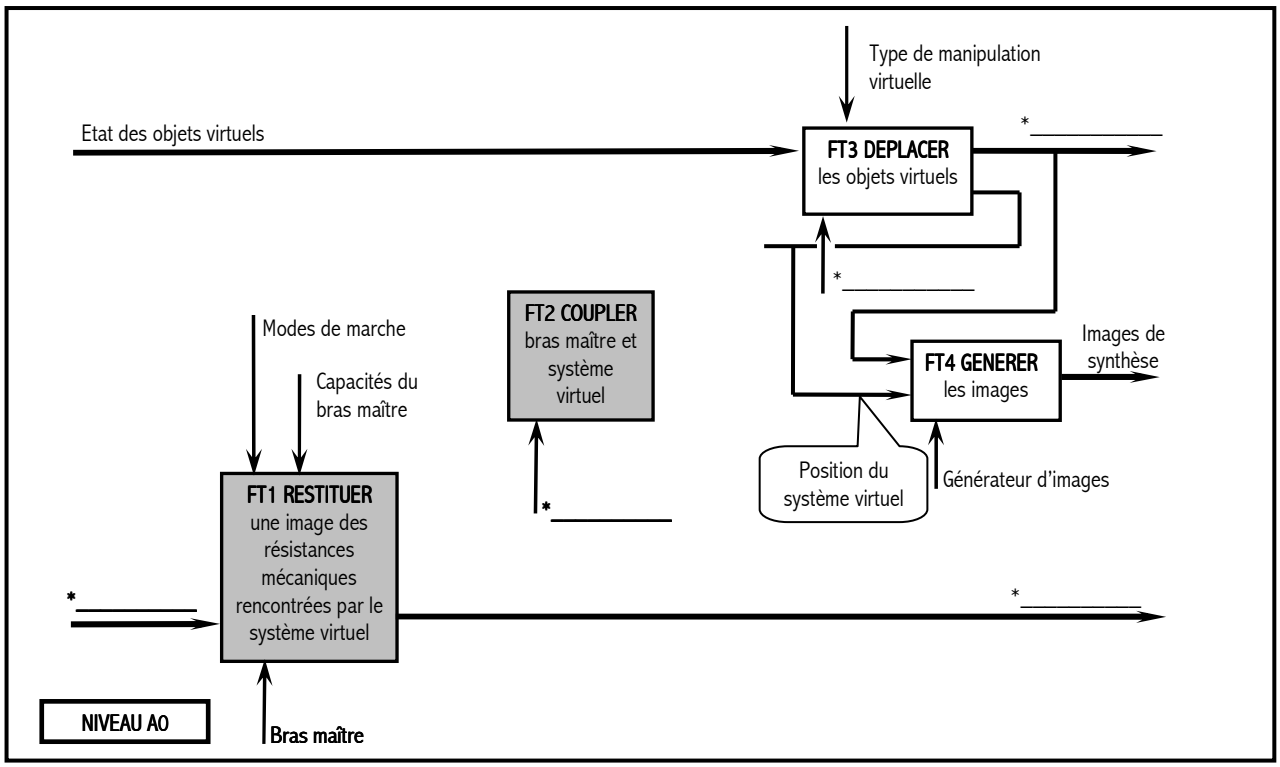




Questions 27



Question 1



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI 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
- Chaînes de solides : liaisons équivalentes, mobilité et hyperstatisme
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Espaces préhilbertiens réels et endomorphismes des espaces euclidiens
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs

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/mines/psi