Concours d'admission de l'École polytechnique et des ENS (X-ENS), France

Session 2005, filière PSI

Sciences de l'ingénieur

Durée : 5 heures

Ce que traite le sujet

- Présentation du robot
- 1 Étude de la phase d'approche
- 2 Étude de la phase de déploiement
- 3 Étude de la phase de prospection de la roche

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/x-ens/psi/2005/si

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

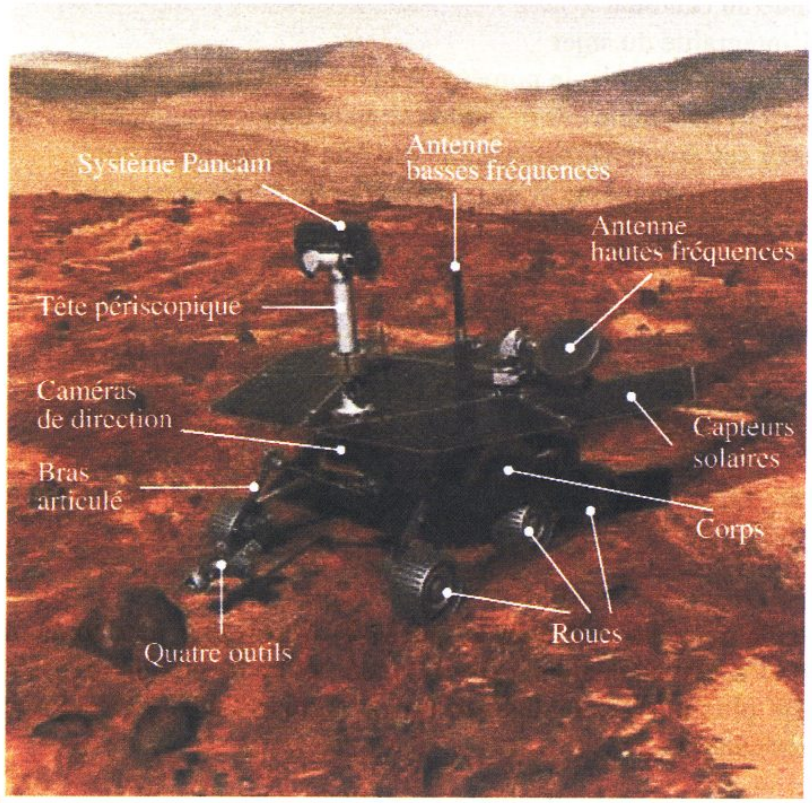
SCIENCES INDUSTRIELLES

DURÉE: 5 HEURES

Aucun document n'est autorisé.

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé, une seule à la fois étant admise sur la table ou le poste de travail, et aucun n'échange n'est autorisé entre les candidats.

Le robot "Spirit"



Tournez la page S.V.P.

Le sujet est composé :

- de ce présent livret décrivant le système étudié ainsi que le travail demandé
- d'une feuille réponse à remettre avec la copie

Recommandations :

Les questions sont ordonnées mais beaucoup d'entre elles sont indépendantes.

Il est recommandé au candidat :

- de lire l'intégralité du sujet
- de rappeler, sur sa copie, le numéro de la question avant d'en développer la réponse,
- de respecter l'ensemble des notations alphabétiques et numériques du sujet,
- de préciser ses propres notations lorsque cela s'avère nécessaire,
- de justifier ses hypothèses et de rédiger clairement les réponses .

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimante et sans document d'accompagnement, est autorisé selon la circulaire n°99 018 du premier février 1999. De plus une seule calculatrice est admise sur la table et aucun échange n'est autorisé entre les candidats.

Le robot SPIRIT a été conçu par la NASA pour étudier la composition chimique de la surface de la planète Mars. Les principaux composants de ce robot sont :

- un corps, appelé 'Warm Electronic Box', dont la fonction est d'assurer la liaison entre les divers composants. Il supporte les batteries qui sont chargées par des capteurs solaires. Il protège également l'électronique embarquée des agressions extérieures.
- une tête périscopique orientable dont la fonction est d'orienter le système de vision appelé 'Pancam' (Panoramic Camera) qui se trouve à 1,40 m de hauteur. Ce dernier fournit une vue en 3 dimensions de l'environnement. Le traitement des images acquises par les caméras du système Pancam permet à Spirit de réaliser une cartographie des terrains et donc de trouver de manière autonome son chemin en évitant les obstacles. Cette autonomie de déplacement est renforcée par l'utilisation de quatre caméras de direction situées sur le corps.
- un bras articulé, dont la fonction est d'amener quatre outils (une foreuse, un microscope et deux spectromètres) à proximité d'une roche à étudier (voir figure 1). L'étude de la roche par ces quatres outils se fait par des carottages horizontaux.
- six roues, animées chacune par un motoréducteur, dont la fonction est d'assurer le déplacement de Spirit sur un sol caillouteux. Les deux roues avant et arrière possèdent de plus un moteur de direction permettant au robot d'effectuer des changements de direction jusqu'à un demi tour sur place.
- un système de communication et des antennes hautes et basses fréquences, dont la fonction est de permettre à Spirit de communiquer avec la Terre.

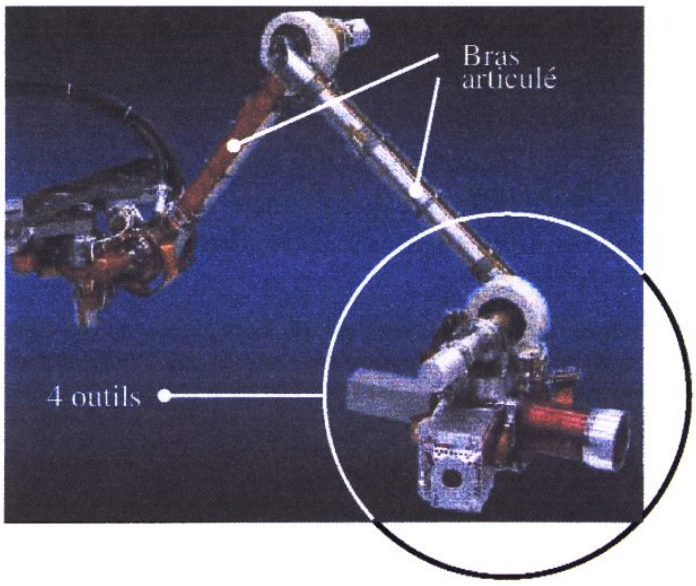


Figure 1: Le bras articulé et les quatre outils.

L'objet de ce sujet est l'étude partielle des solutions techniques qui permettent à Spirit de réaliser les fonctions attendues.

Q.1. Exprimer le besoin satisfait par ce système.

Q.2. Recopier le diagramme FAST de la figure 2 et compléter toutes les fonctions techniques et solutions techniques de Spirit.

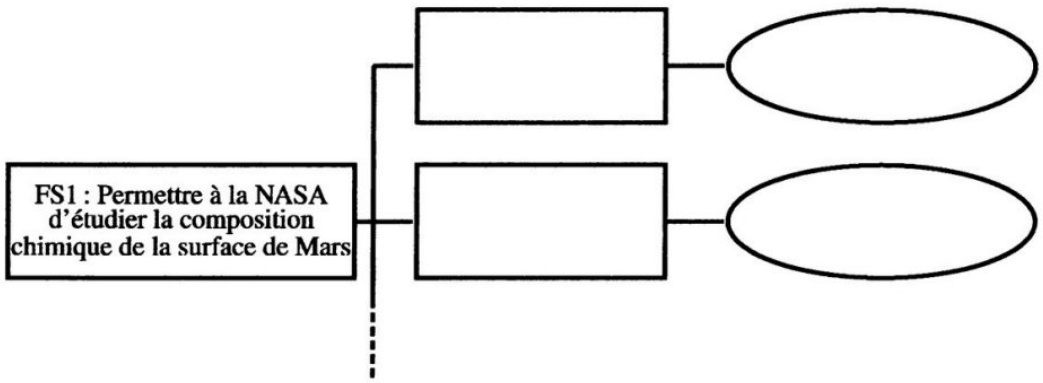


Figure 2: Diagramme FAST des fonctions et solutions techniques de Spirit.

Étude de la fonction FS1 : étudier la composition chimique de la surface de Mars

La fonction de service FS1 est réalisée, d'un point de vue temporel, par les 3 phases suivantes :

- la phase d'approche : Spirit "repère" une roche dont la forme est adaptée à l'étude chimique. Son rôle consiste à s'en rapprocher suffisamment près pour pouvoir l'étudier.
- la phase de déploiement : le corps de Spirit est fixe, le bras articulé se déploie et amène l'ensemble des 4 outils à proximité de la roche.
- la phase de prospection : le corps de Spirit ainsi que le bras articulé sont fixes, les 4 outils étudient la composition chimique de la roche.

Dans les trois parties suivantes, l'étude successive de ces trois phases doit permettre de vérifier que la solution constructive satisfait les niveaux attendus des critères des fonctions techniques. Le candidat pourra tirer profit, s'il le souhaite, de l'indépendance de ces trois parties.

1 Étude de la phase d'approche

L'objectif de cette partie est de définir l'asservissement de Spirit de manière à répondre aux spécifications de la phase d'approche. Celle-ci consiste à amener Spirit avec précision au voisinage d'une roche à étudier, et bien entendu sans dépassement (ce qui entrainerait collision avec la cible) :

Désignation	Critère	Niveau
S'approcher de la cible	Erreur $\varepsilon_{position}$ sur la position cible	$\varepsilon_{position} < 0,01$ m
	Dépassement sur la réponse indicielle	aucun

L'asservissement de ce déplacement est indispensable du fait de l'existence de perturbations mal connues, qui sont principalement engendrées par les rafales de vents à la surface de Mars.

Pour effectuer cette approche, la motorisation est assurée par un bloc motoréducteur à courant continu dans chacune des six roues (figure 3[a]). Le mouvement ainsi généré est observé de manière optique. En effet, les caméras situées sur la tête périscopique Pancam (voir figure 3[b]) permettent à tout instant de connaître la position absolue de Spirit. Le traitement de cette information par l'électronique embarquée fournit donc une mesure de l'erreur par rapport à la position cible.

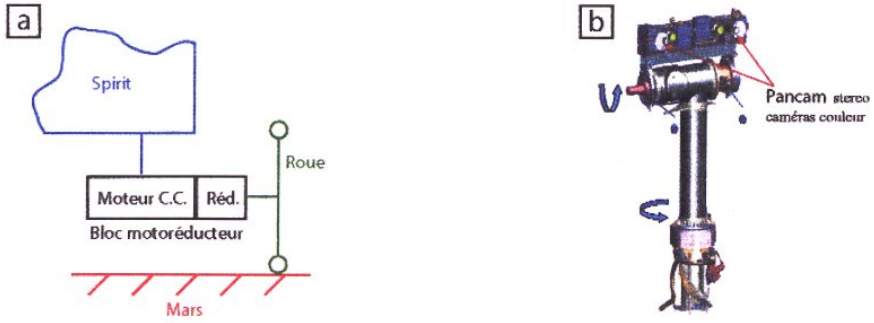


Figure 3: Schéma d'implantation du bloc motoréducteur sur une des roues (chaque roue est motorisée) et de la tête périscopique Pancam.

Le paramétrage adopté est présenté sur la figure 4. On désigne par (S) le corps du robot.

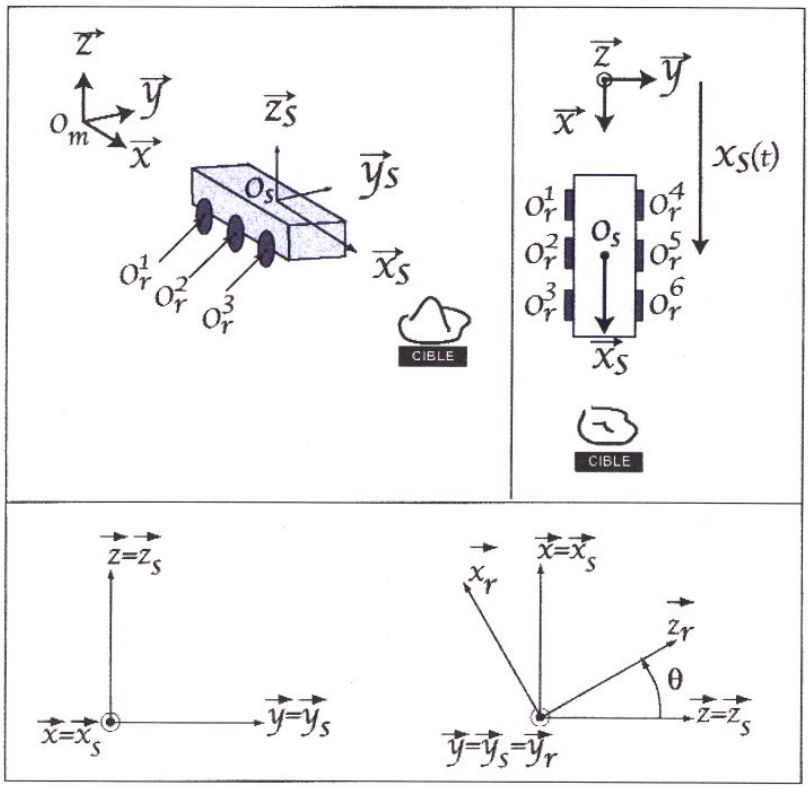


Figure 4: Paramétrage de la phase d'approche.

Paramétrage cinématique (voir figure 4)

$\mathcal{R}_m(O_m;\vec{x},\vec{y},\vec{z})$ est un repère lié à Mars.

$\mathcal{R}_s(O_s;\vec{x}_s,\vec{y}_s,\vec{z}_s)$ est un repère lié au corps de Spirit, qui est supposé dans cette phase se déplacer suivant l'axe $(O_m;\vec{x})$. La position courante de Spirit est représentée par celle de son centre de gravité O_s, repéré par : $\overrightarrow{O_mO_s}\cdot\vec{x} = x_s(t)$. Les conditions initiales temporelles sont nulles : $x_s(t=0) = 0$ et $\frac{\partial x_s}{\partial t}(t=0) = 0$. L'inertie de rotation du robot sera supposée très grande, ce qui justifie l'approximation $\vec{x}_s = \vec{x}$, $\vec{y}_s = \vec{y}$ et $\vec{z}_s = \vec{z}$ à tout instant t.

$\mathcal{R}_r^i(O_r^i;\vec{x}_r^i,\vec{y}_r^i,\vec{z}_r^i)$ est un repère lié à la i-ème roue, notée R^i. La position angulaire d'une roue de Spirit est représentée par l'angle θ_i tel que $(\vec{x},\vec{x}_r^i) = \theta_i(t)$. On suppose que toutes les roues ont au même instant la même position angulaire. On note par conséquent : $\theta_i = \theta \quad \forall i \in \{1,...,6\}$, et $(\vec{x}_r^i,\vec{y}_r^i,\vec{z}_r^i) = (\vec{x}_r,\vec{y}_r,\vec{z}_r), \forall i \in \{1,...,6\}$. Les conditions initiales temporelles sont : $\theta(t=0) = 0$ et $\frac{\partial\theta}{\partial t}(t=0) = 0$.

Caractéristique des composants et notations

Spirit (S) : la masse du robot privé de ses roues est notée M_s. On donne $M_s = 180Kg$.

Roue (R) : la liaison entre Spirit et le sol est assurée par l'intermédiaire de 6 roues. Chaque roue est approximée comme indiqué figure 5 par deux cylindres en aluminium (moyeu et bande de roulement), reliés par un bourrage en matériau polymère.

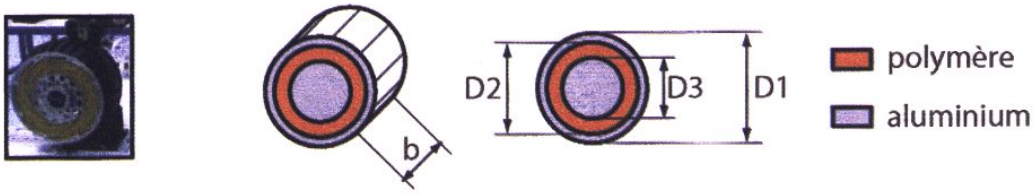


Figure 5: Détail de l'approximation de la géométrie d'une roue.

On donne les caractéristiques suivantes :

- b : largeur de la bande de roulement. b=0,1m.
- D1 : diamètre extérieur de la bande de roulement. D1=$2R_r$=0,1m.
- D2 : diamètre intérieur de la bande de roulement. D2=0,08m.
- D3 : diamètre extérieur du moyeu. D3=0,05m.
- μ : masse volumique de l'aluminium. $\mu = 2700$ Kg.m^{-3}. (la masse volumique du polymère est négligée).
- M_r : masse d'une roue.
- I_r^y : inertie de rotation d'une roue autour de son axe $(O_r,\vec{y}_r)$.

Bloc motoréducteur : Les six blocs ont des caractéristiques identiques notées :

- R_m : résistance aux bornes de l'induit (Ω)
- L : inductance aux bornes de l'induit (H)
- K_t : constante de couple (Nm.A^{-1})
- K_e : constante de force contre électromotrice (V.s.rad^{-1})
- u : tension d'alimentation (V)
- e : force contre électromotrice (V)
- i : intensité (A)
- η : réduction du réducteur ($\eta \geq 1$).

Les composants seront choisis dans les familles définies par les documents annexes I et II.

Notation des actions mécaniques

Liaison R/S : les actions mécaniques de chaque roue sur Spirit sont modélisées par un torseur noté, au centre de gravité O_r^i de la roue considérée :

$$\{T(R^i \to S)\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}_{R^i \to S} \\ \vec{C}_{R^i \to S} \end{matrix} \right\}_{O_r^i} \tag{1}$$

On suppose que les 6 roues transmettent des actions mécaniques identiques. On notera $F^x_{R \to S} = \vec{F}_{R^i \to S} \cdot \vec{x}$ et $C^y_{R \to S} = \vec{C}_{R^i \to S} \cdot \vec{y} \quad \forall i \in \{1, \ldots, 6\}$. Les liaisons sont supposées parfaites. $C^y_{R \to S}$ est donc la modélisation du couple moteur de chaque actionneur de roue.

Liaison M/R^i : les actions mécaniques de Mars sur la roue i sont modélisées par un torseur noté :

$$\{T(M \to R^i)\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}_{M \to R^i} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{A_i} \tag{2}$$

On suppose que les actions mécaniques sont identiques pour chacune des 6 roues. On notera donc : $F^x_{M \to R} = \vec{F}_{M \to R^i} \cdot \vec{x}$. Chaque roue est supposée rouler sans glisser en son point A_i de contact avec le sol.

Perturbations : les actions du vent sur Spirit sont modélisées de manière simplifiée sous la forme du torseur de perturbation suivant :

$$\{T(V \to S)\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}_{V \to S} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{O_s} \tag{3}$$

On note $F^x_{V \to S} = \vec{F}_{V \to S} \cdot \vec{x}$

1.1 Architecture du système asservi

Remarque : seules les questions 5 et 10 nécessitent une application numérique

On se propose dans cette partie de construire un modèle du système asservi représenté par son schéma bloc dans le domaine de Laplace.

Q.3. En écrivant le principe fondamental de la dynamique appliqué à S, compléter le schéma bloc (a) du document réponse I.

On rappelle que le couple d'entrainement $C^y_{S \to R}$, identique pour chacune des six roues, est défini par $C^y_{S \to R} = -C^y_{R \to S}$.

Q.4. Compléter les schémas blocs (b) et (c) du document réponse I.

Q.5. Déterminer l'inertie de la roue I^y_r autour de son axe de rotation. Donner l'ordre de grandeur de l'inertie du moteur que l'on choisira (voir annexe I). Discuter en s'appuyant sur ces grandeurs la modélisation de chaque actionneur sous la forme d'un couple moteur.

Q.6. Écrire dans le domaine temporel les équations régissant le comportement électrique et mécanique d'un moteur à courant continu. En portant ces équations dans le domaine de Laplace, déduire la relation entre les transformées de Laplace de la tension de commande u d'un des six moteurs, du couple d'entrainement $C^y_{S \to R}$, et de la position courante du robot x_s. Compléter le schéma bloc (d) du document réponse I.

Q.7. Le schéma bloc (d) représente-t-il un système asservi ? Justifiez votre réponse.

La tension u de commande est déterminée à partir de l'écart entre la position cible x_c et la position courante, *via* une boucle d'observation à retour unitaire (système PANCAM). L'ensemble des schémas

bloc déterminés précédemment viennent donc s'insérer comme détaillé sur la figure (a) du document réponse II, pour constituer un système, reliant la consigne x_c, position cible à atteindre, à la position courante de Spirit, x_s.

Q.8. L'ensemble des schémas blocs précédents peut se réduire à un schéma de la forme de celui proposé sur la figure (b) du document réponse II. Donner l'expression des blocs A, A',B et C puis compléter la figure (b) du document réponse II.

On suppose dans toute la suite pour simplifier que l'inductance est nulle.

Q.9. Montrer alors que les fonctions de transfert A, B et C s'expriment :

$$A = \frac{\eta K_t}{R_m R_r} \quad ; \quad B = \frac{1}{M_s p^2} \quad ; \quad C = \frac{(I_r^y R_m + M_r R_r^2 R_m)p^2 + \eta^2 K_t K_e p + \eta K_t R_r}{\eta R_r K_t} \tag{4}$$

L'architecture sous forme de schémas blocs de l'asservissement est donc désormais complètement connue. Toutes les grandeurs numériques le caractérisant sont connues, à l'exception de celles des blocs motoréducteurs (R_m,K_t,K_e ; η). Il reste donc à les choisir, avant de commencer l'analyse des performances du système asservi.
Un dimensionnement au couple maximal transmissible est adopté. Afin que Spirit puisse évoluer sur des pentes d'inclinaison 10 degrés, un couple maximal de 1,27 N.m est nécessaire en régime permanent au niveau de chacune des roues motorisées.

Q.10. Choisir, en justifiant, dans les documents annexes I et II l'association (moteur à courant continu / réducteur) qui vous semble la plus pertinente. Donner alors les valeurs numériques dans le système international des quantités (R_m,K_t,K_e,η) associées aux composants retenus. Ce choix est bien-entendu conditionné par le fait que Spirit est une structure aérospatiale pour laquelle la légèreté est un critère majeur.

On retient pour la suite les valeurs numériques suivantes, associées au moteur F2260/815 et au réducteur GP62/110501 :

- $R_m = 2,87\Omega$, $K_t = 73 \cdot 10^{-3}$ N.m.A^{-1} , $K_e = 0{,}0729$ V.s.rad^{-1}, $\eta = 19$

Ces valeurs numériques ne préjugent en rien de la justesse ou non de la réponse à la question précédente.
De plus, l'ensemble motoréducteur étant maintenant connu, on remplace dans les équations précédentes l'inertie I_r^y par l'inertie réduite équivalente :

$$\tilde{I}_r^y = I_r^y + \eta^2 I_{arbre\ moteur}^y \tag{5}$$

de manière à prendre en compte l'inertie de l'arbre moteur négligée jusqu'alors.

1.2 Analyse des performances du système

On se propose de vérifier la compatibilité entre les caractéristiques attendues du système et les grandeurs suivantes choisies à la conception :

1.2.1 Stabilité

Q.11. Exprimer en fonction de A, A', B et C la fonction de transfert en boucle fermée du système par rapport à l'entrée principale X_c , en supposant la perturbation nulle.

Q.12. En appliquant le critère de Routh conclure quant à la stabilité du système en boucle fermée.

Q.13. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte, par rapport à l'entrée principale X_c, en supposant la perturbation nulle.

Q.14. Esquisser le diagramme de Bode asymptotique en boucle ouverte du système. Discuter des marges de stabilité.

1.2.2 Régime permanent et précision

Q.15. Quelle est la classe de système obtenu ? En déduire l'erreur statique du système lorsque celui-ci est soumis à une consigne de type échelon. Conclure quant à la nécessité de corriger le système pour améliorer la précision par rapport à l'entrée principale.

Q.16. On suppose que les perturbations engendrées par le vent sont modélisables par une action indicielle d'intensité $|F^x_{V\to S}| = 10$ N. En déduire l'erreur statique du système due à cette sollicitation. Effectuer l'application numérique. Conclure quant à la nécessité de corriger le système afin de respecter les spécifications de précision sur la réponse.

Q.17. Proposer un type de correction du système permettant de réduire ou annuler cette erreur. Préciser les avantages et inconvénients du type de correcteur proposé.

On se propose d'introduire un correcteur proportionnel, de gain K_1, dont l'implantation est précisée sur la figure 6.

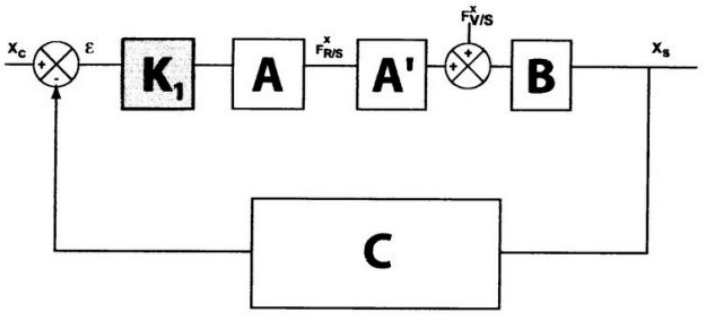


Figure 6: Implantation du correcteur proportionnel.

Q.18. Déterminer la condition sur K_1 permettant de vérifier les spécifications de précision, lorsque le système est soumis à la perturbation $F^x_{V\to S}$. Effectuer l'application numérique.

1.2.3 Régime transitoire et dépassement

Les perturbations sont désormais supposées nulles.

On se place dans le cadre du système corrigé par un gain pur K_1. On adopte la valeur $K_1 = 20$.

Q.19. Le système asservi ainsi défini vérifie-t-il la condition de non-dépassement pendant le régime transitoire ? Justifier votre réponse.

Q.20. Dans l'annexe III est tracée la réponse indicielle unitaire du système en boucle fermée pour les valeurs numériques adoptées. Quel type de modélisation simplifiée du système cette réponse inspire-t-elle ? Identifier graphiquement les paramètres intervenant dans cette nouvelle fonction de transfert simplifiée du système.

2 Étude de la phase de déploiement

L'objectif de cette partie est d'estimer les caractéristiques principales du bras articulé et de valider le choix des actionneurs pour répondre au besoin de la phase de déploiement, dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Désignation	Critère	Niveau
Déployer le bras et amener les quatres outils à proximité de la roche	Hauteur d'étude de la roche par rapport au sol	$0 \leq h \leq 1,20$ m
	Position des 4 outils	position horizontale
	Précision de la mise en position des 4 outils	0,5 cm
	Durée du déploiement du bras	2 minutes maxi

Lors des réponses aux questions posées dans cette partie numéro 2, les notations suivantes doivent être absolument respectées :

- torseur cinématique du solide j par rapport au solide i :

$$\{V(j/i)\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\Omega}(j/i) \\ \vec{V}(P \in j/i) \end{array} \right\}_P$$

- torseurs cinétique et dynamique d'un ensemble matériel E, de masse $m(E)$, en mouvement par rapport au repère $\mathcal{R}$:

$$\{C(E/\mathcal{R})\} = \left\{ \begin{array}{c} m(E)\vec{V}(G/\mathcal{R}) \\ \vec{\sigma}_P(E/\mathcal{R}) \end{array} \right\}_P \quad \{D(E/\mathcal{R})\} = \left\{ \begin{array}{c} m(E)\vec{\Gamma}(G/\mathcal{R}) \\ \vec{\delta}_P(E/\mathcal{R}) \end{array} \right\}_P$$

- torseur d'action mécanique du solide i sur le solide j, dans le repère $\mathcal{R}(O;\vec{x},\vec{y},\vec{z})$:

$$\{T(i \to j)\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{F}_{i\to j} = X_{ij}\vec{x} + Y_{ij}\vec{y} + Z_{ij}\vec{z} \\ \vec{C}_{P,i\to j} = L_{ij}\vec{x} + M_{ij}\vec{y} + N_{ij}\vec{z} \end{array} \right\}_P$$

Modèle d'étude du bras articulé

Le modèle d'étude du bras articulé est représenté sur la figure 7. Le corps du robot est noté S. On lui attache un repère $\mathcal{R}_S\,(O_S;\vec{x}_S,\vec{y}_S,\vec{z}_S)$. Le point O_S est à la hauteur h_S du sol, supposée constante.

La liaison entre le solide 1 et le corps du robot est modélisée par une liaison pivot sans frottement d'axe $(O_S,\vec{z}_S)$. On attache au solide 1 le repère $\mathcal{R}_1\,(O_S;\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)$, tel que $\overrightarrow{O_SO_1} = a_1\vec{x}_1 + c_1\vec{z}_1$. On pose $\theta_1 = (\vec{x}_S,\vec{x}_1)$, $-\frac{\pi}{2} \leq \theta_1 \leq \frac{\pi}{2}$. Ce solide a pour centre de gravité le point G_1 tel que $\overrightarrow{O_SG_1} = \frac{a_1}{2}\vec{x}_1 + c_1\vec{z}_1$. Sa masse est m_1. Son opérateur d'inertie, en G_1, sur la base de $\mathcal{R}_1$ est :

$$I_{G_1}(1) = \begin{pmatrix} A_1 & -F_1 & -E_1 \\ -F_1 & B_1 & -D_1 \\ -E_1 & -D_1 & C_1 \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$$

La liaison entre le solide 2 et le solide 1 est modélisée par une liaison pivot sans frottement d'axe $(O_1,\vec{y}_1)$. On attache au solide 2 le repère $\mathcal{R}_2\,(O_1;\vec{x}_2,\vec{y}_2,\vec{z}_2)$, tel que $\overrightarrow{O_1O_2} = a_2\vec{x}_2$. On pose $\theta_2 = (\vec{x}_1,\vec{x}_2)$, $-\frac{\pi}{4} \leq \theta_2 \leq \frac{\pi}{4}$. Ce solide a pour centre de gravité le point G_2 tel que $\overrightarrow{O_1G_2} = \frac{a_2}{2}\vec{x}_2$. Sa masse est m_2. Son opérateur d'inertie, en G_2, sur la base de $\mathcal{R}_2$ est :

$$I_{G_2}(2) = \begin{pmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_2}$$

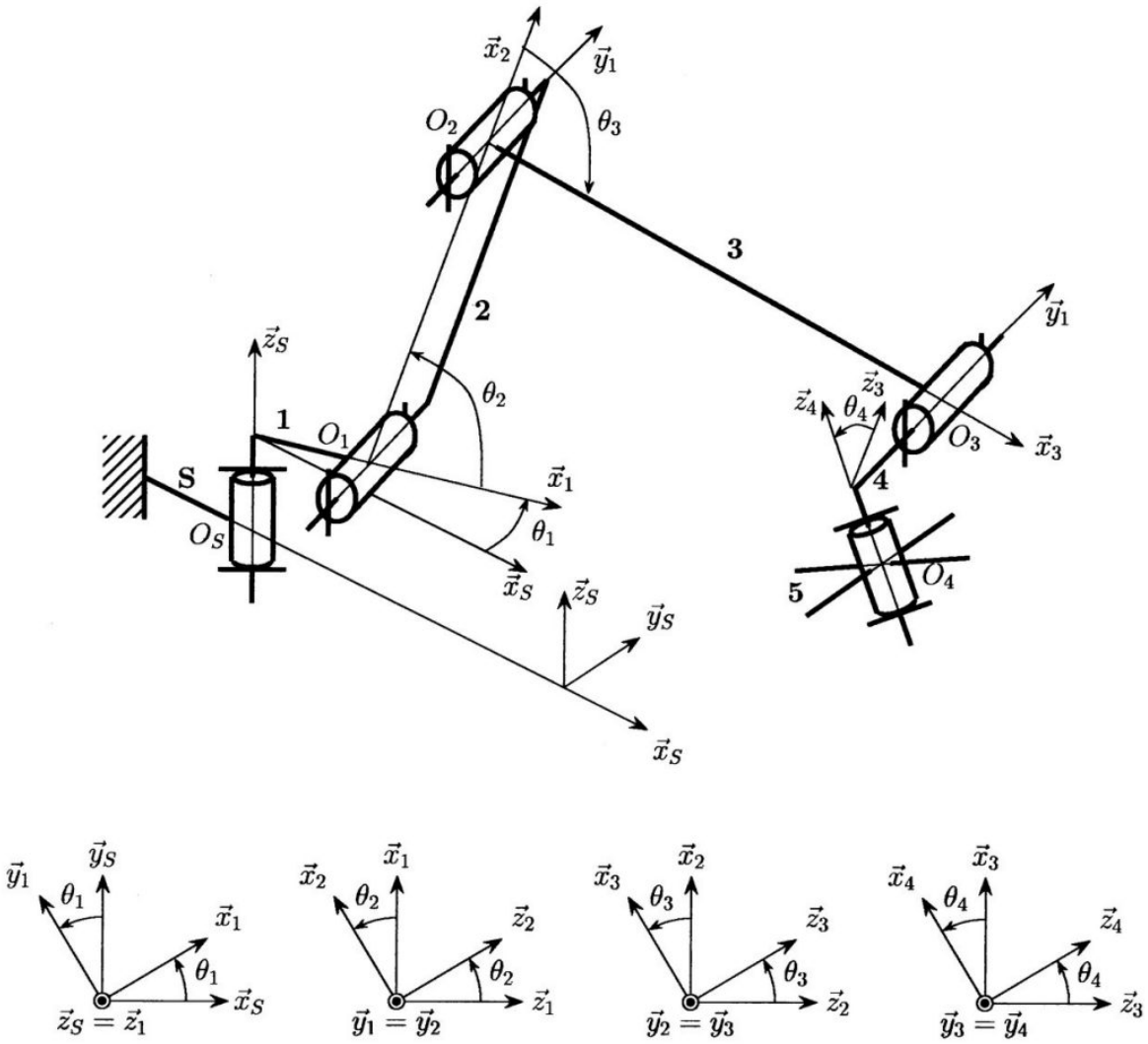


Figure 7: Paramétrage du modèle retenu pour le bras articulé.

La liaison entre le solide 3 et le solide 2 est modélisée par une liaison pivot sans frottement d'axe $(O_2, \vec{y}_2)$. On attache au solide 3 le repère $\mathcal{R}_3\,(O_2; \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$, tel que $\overrightarrow{O_2O_3} = a_3\,\vec{x}_3$. On pose $\theta_3 = (\vec{x}_2, \vec{x}_3)$, $0 \leq \theta_3 \leq \pi$. Ce solide a pour centre de gravité le point G_3 tel que $\overrightarrow{O_2G_3} = \frac{a_3}{2}\,\vec{x}_3$. Sa masse est m_3. Son opérateur d'inertie, en G_3, sur la base de $\mathcal{R}_3$ est :

$$I_{G_3}(3) = \begin{pmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_3}$$

La liaison entre le solide 4 et le solide 3 est modélisée par une liaison pivot sans frottement d'axe $(O_3, \vec{y}_3)$. On attache au solide 4 le repère $\mathcal{R}_4\,(O_3; \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$, tel que $\overrightarrow{O_3O_4} = -b_4\,\vec{y}_4 - c_4\,\vec{z}_4$. On pose $\theta_4 = (\vec{x}_3, \vec{x}_4)$, $-\pi \leq \theta_4 \leq \pi$.

La liaison entre le solide 5, sur lequel se trouvent les 4 outils d'étude de la roche, et le solide 4 est modélisée par une liaison pivot sans frottement d'axe $(O_4, \vec{z}_4)$.

Lorsque le solide 5 est immobile par rapport au solide 4, ils ont pour centre de gravité le point $G_{45} = O_4$. Leur masse est $m_{45} = m_4 + m_5$. Leur opérateur d'inertie, en G_{45}, sur la base de $\mathcal{R}_4$ est :

$$I_{G_{45}}(4+5) = \begin{pmatrix} A_{45} & 0 & 0 \\ 0 & B_{45} & 0 \\ 0 & 0 & C_{45} \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_4}$$

Les positions relatives θ_i ($i \in \{1,2,3,4\}$) de chaque solide sont pilotées par des actionneurs notés M_i ($i \in \{1,2,3,4\}$) constitués d'un moteur, d'un réduteur irréversible et d'un codeur. Les masses de ces actionneurs sont intégrées dans le paramétrage proposé. Ils fournissent des actions mécaniques modélisées par les torseurs

$$\{T_{M_1}(S \to 1)\} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{0} \\ C_{mot,S\to 1}\,\overrightarrow{z}_S \end{array} \right\}_{O_S} \qquad \{T_{M_2}(1 \to 2)\} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{0} \\ C_{mot,1\to 2}\,\overrightarrow{y}_1 \end{array} \right\}_{O_1}$$

$$\{T_{M_3}(2 \to 3)\} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{0} \\ C_{mot,2\to 3}\,\overrightarrow{y}_2 \end{array} \right\}_{O_2} \qquad \{T_{M_4}(3 \to 4)\} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{0} \\ C_{mot,3\to 4}\,\overrightarrow{y}_3 \end{array} \right\}_{O_3}$$

On définit les positions particulières du bras articulé suivantes :

- la position de repos, notée P_r ($\theta_1 = -\frac{\pi}{2}, \theta_2 = 0, \theta_3 = \pi$) est la position du bras articulé lorsqu'il n'est pas en fonctionnement ;
- la position initiale de déploiement, notée P_i ($\theta_1 = 0, \theta_2 = -\frac{\pi}{4}, \theta_3 = \frac{\pi}{2}$) est la position adoptée par le bras articulé avant de se déployer complètement vers la roche ;
- la position horizontale, notée P_h ($\theta_1 = 0, \theta_2 = 0, \theta_3 = 0$) ;
- la position verticale, notée P_v $\left(\theta_1 = 0, \theta_2 = -\frac{\pi}{4}, \theta_3 = 0\right)$.

Les caractéristiques géométriques et matérielles sont les suivantes :

$h_S = 0,50$ m $a_2 = 0,50$ m $c_4 = 0,15$ m	$a_1 = 0,10$ m $a_3 = 0,80$ m	$c_1 = 0,10$ m $b_4 = 0,10$ m
$A_1 = 3,2.10^{-4}$ kg.m^2	$B_1 = 3,2.10^{-4}$ kg.m^2	$C_1 = 6,8.10^{-5}$ kg.m^2
$D_1 = 1,0.10^{-5}$ kg.m^2	$E_1 = 1,0.10^{-5}$ kg.m^2	$F_1 = 1,0.10^{-5}$ kg.m^2
$A_2 = 3,6.10^{-2}$ kg.m^2	$B_2 = 3,6.10^{-2}$ kg.m^2	$C_2 = 3,4.10^{-4}$ kg.m^2
$A_3 = 1,4.10^{-1}$ kg.m^2	$B_3 = 1,4.10^{-1}$ kg.m^2	$C_3 = 5,4.10^{-4}$ kg.m^2
$A_{45} = 3,2.10^{-4}$ kg.m^2	$B_{45} = 3,4.10^{-4}$ kg.m^2	$C_{45} = 6,8.10^{-5}$ kg.m^2
$m_1 = 0,9$ kg $m_{45} = 3,2$ kg	$m_2 = 1,8$ kg	$m_3 = 1,2$ kg

L'accélération de la pesanteur est $-g\overrightarrow{z}_S$ ($g = 3,7$ m.s^{-2}).

Q.21. Préciser si ce modèle est hyperstatique.

Analyse de la zone d'étude de la roche

Q.22. Pour les quatres positions remarquables P_r, P_i, P_h et P_v, déterminer la position du point O_3 par rapport au point O_S, dans le repère $\mathcal{R}_S$. Effectuer les applications numériques.

Lors de l'étude d'une roche, la position du solide 5 doit être horizontale ($\overrightarrow{z}_4 = \overrightarrow{z}_S$).

Q.23. Montrer la pertinence du choix de ce bras articulé pour satisfaire cette condition en déterminant une relation entre les angles θ_i ($i \in \{1,2,3,4\}$) pour la réaliser.

Q.24. Calculer la hauteur maximale d'étude de la roche. Conclure quant aux performances attendues.

Analyse du changement de position du bras articulé

On s'intéresse à un changement de position du bras articulé, qui l'amène de la position P_h à la position P_v. Seuls θ_2 et θ_4 bougent. θ_1 et θ_3 restent nuls. $(4+5)$ est toujours horizontal. Spirit est immobile par rapport au sol.

Q.25. Déterminer, en fonction de θ_2 et de ses dérivées, les projections sur $\vec{y}_1$ du moment dynamique de 2, 3 et (4+5) dans leurs mouvements par rapport à S, en O_1 : $\vec{\delta}_{O_1}(2/S).\vec{y}_1$, $\vec{\delta}_{O_1}(3/S).\vec{y}_1$ et $\vec{\delta}_{O_1}(4+5/S).\vec{y}_1$.

Q.26. Déterminer le couple $C_{mot,1\to 2}$ à fournir en fonction de θ_2 et de ses dérivées. Calculer la valeur maximale de ce couple pour une vitesse angulaire constante de 9 tr.min^{-1}.

Q.27. L'actionneur M_2 étant un système roue et vis sans fin irréversible qui réduit la vitesse d'un facteur 32, choisir un moteur pas à pas qui convienne pour cette vitesse angulaire de 9 tr.min^{-1}, parmi la liste de moteurs disponibles dans l'annexe IV.

Analyse du déplacement du solide 5

Lors de l'étude de la roche, Spirit repère, grâce au système Pancam, le point de la roche qui sera le plus apte à une étude. Il en déduit la direction du déplacement du point O_3, depuis la position P_i, afin d'amener les 4 outils en face de ce point d'étude. Cette direction est notée $\vec{v}$ (vecteur unitaire quelconque).

Q.28. Écrire le torseur cinématique de 3 par rapport à S au point O_3.

Q.29. Déterminer les relations entre θ_1, θ_2 et θ_3 que l'électronique de pilotage du bras articulé doit assurer lorsque $\vec{v} = \vec{z}_S$.

Q.30. À partir de la précision angulaire des moteurs pas à pas de M_1, M_2 et M_3 disponible en annexe IV, vérifier, pour les positions P_h et P_v, le critère de précision à atteindre pour la phase de déploiement. Les réducteurs roue et vis sans fin sont supposés être sans jeu.

Q.31. Pour mesurer la position angulaire du moteur, on choisit d'utiliser un codeur absolu basé sur le codage Gray. Calculer le nombre minimal de pistes à utiliser pour obtenir la résolution souhaitée.

3 Étude de la phase de prospection de la roche

L'objectif de cette partie est de valider partiellement l'utilisation des 4 outils pour répondre au besoin de la phase de prospection, dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Désignation	Critère	Niveau
Etudier la composition chimique de la roche	Durée d'une étude	10 min maxi
	Action de perçage (liée à la dureté de la roche)	100 N maxi
	Précision de position du microscope et des spectromètres	5 cm

Analyse séquentielle d'une phase de prospection (figure 9)

On s'intéresse désormais uniquement à la phase de prospection. Comme précisé auparavant, l'analyse est réalisée grâce à quatre outils installés sur un barillet rotatif :

- **la foreuse à lame (notée fo) :** elle est utilisée pour obtenir une surface ≪analysable≫. Afin de supprimer la croûte rocheuse, un trou cylindrique de profondeur minimale est effectué. Un capteur mesure la profondeur de perçage atteinte. La receptivité *pt* passe à 1 lorsque l'objectif est atteint. Le perçage normal se fait à une vitesse de rotation ω_{min} de la foreuse, avec une action de perçage maximale notée X_r^{max}. La réceptivité fo_r signale que la foreuse est rentrée en position repos, la réceptivité fo_s que la foreuse est sortie prête à l'emploi.

- **le microscope optique (noté mi) :** il renseigne sur la morphologie de la roche (taille des particules, agencement, texture, etc ...). L'électronique signale la fin de l'analyse optique par la réceptivité fin_a. La réceptivité mi_r signale que le microscope est rentré en position repos, la réceptivité mi_s que le microscope est sorti prêt à l'emploi.
- **l'analyseur APSX (noté ap) :** il mène des analyses aux rayons X et α, de manière à déterminer la composition élémentaire de la roche.
- **le spectromètre de Moessbauer (noté sp) :** il permet de détecter la présence de minéraux ferreux, et de quantifier la teneur en Fe^{2+} et Fe^{3+}.

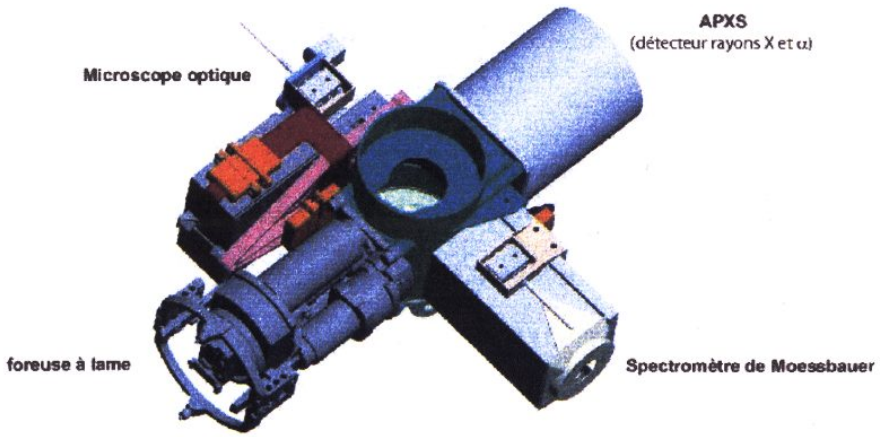


Figure 8: Détail du barillet d'exploration

À l'étape initiale, la foreuse se trouve face à la surface à étudier (la position du barillet est mesurée par un capteur angulaire). Le déroulement normal d'une phase de prospection est décrit par le grafcet de la figure 9.

La phase débute lorsque la commande de départ est donnée (réceptivité d), et que le barillet se trouve foreuse face à la surface (réceptivité p0, position angulaire 0 degré).

La macroétape M20 de perçage se déroule jusqu'à ce que la profondeur voulue ait été atteinte et que la foreuse soit rentrée. Le barillet tourne ensuite jusqu'à la position p90 (position angulaire 90 degrés) et la démarche se poursuit de même pour l'ensemble des autres phases.

En pratique, ce déroulement théorique peut être perturbé par deux situations :

- **Pathologie 1 - échec de la phase de perçage :** l'action de perçage maximale étant limitée, le forage peut échouer si la roche se révèle trop résistante. Dans ce cas, on renonce à l'analyse et le système doit revenir à l'état initial 1.
- **Pathologie 2 - échec de l'analyse optique :** le microscope optique de haute précision a une profondeur de champ très réduite. En conséquence, si l'état de surface à l'issue de la phase de perçage est médiocre, l'analyse optique ne peut être menée. Il est alors nécessaire de recommencer la phase de perçage, avec une vitesse de rotation de la foreuse supérieure notée ω_{max}, l'action de perçage étant bien-sûr réduite à une valeur X_r^{min}. Ces conditions de perçage permettent d'améliorer notablement l'état d'une surface préexistante.

Q.32. Proposer une modification de la macroétape M20, permettant de renoncer à l'étape 22 si la profondeur n'est pas atteinte au-delà d'une durée maxi t_max, et de stocker, par une méthode de votre choix, l'information ≪perçage échoué≫.

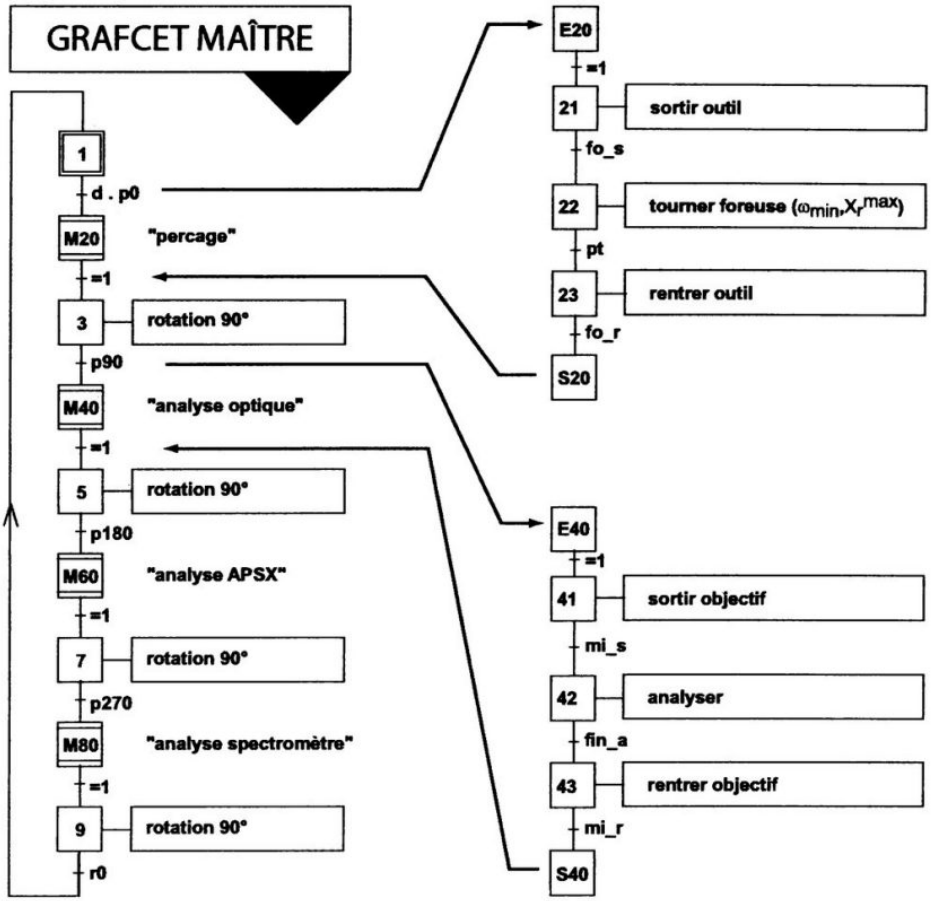


Figure 9: Grafcet du déroulement normal d'une phase de prospection

Q.33. Modifier le grafcet maître pour que, dans ce cas, le système revienne à l'état initial, le plus rapidement possible.

Q.34. Dans le fonctionnement normal, l'électronique signale la fin de l'analyse optique par la validation de la réceptivité fin_a. Dans le cas de la pathologie 2, la réceptivité fin_a n'est jamais vérifiée, mais le système valide une réceptivité S_imp (≪surface impropre≫). Introduire la réceptivité S_imp de manière à ce que dans ce cas, la phase d'analyse optique soit avortée et que la phase de perçage soit relancée.

Q.35. Terminer les modifications de la phase de perçage de manière à ce que les conditions de forage correspondent à la façon dont cette phase a été activée : phase de perçage initiale ou phase d'amélioration de surface.

Analyse de la phase de perçage

Les notations et les données à utiliser sont celles introduites à la partie 2. Il n'est cependant pas nécessaire de l'avoir abordée pour traiter les questions suivantes.

On s'intéresse à la phase statique de perçage, pendant laquelle Spirit perce un trou dans la roche, au moyen de sa foreuse. La position du solide 5 est horizontale ($\vec{z}_4 = \vec{z}_S$). L'action de la roche sur la pièce 5 est modélisée par un glisseur de résultante $-X_r \vec{x}_S$, passant par O_4, X_r pouvant varier au cours du temps.

Q.36. Pour les positions P_h et P_v, déterminer les couples $C_{mot,S\to1}$, $C_{mot,1\to2}$, $C_{mot,2\to3}$ et $C_{mot,3\to4}$. Conclure sur la pertinence du choix d'un réducteur irréversible dans la solution technique retenue pour le bras articulé.

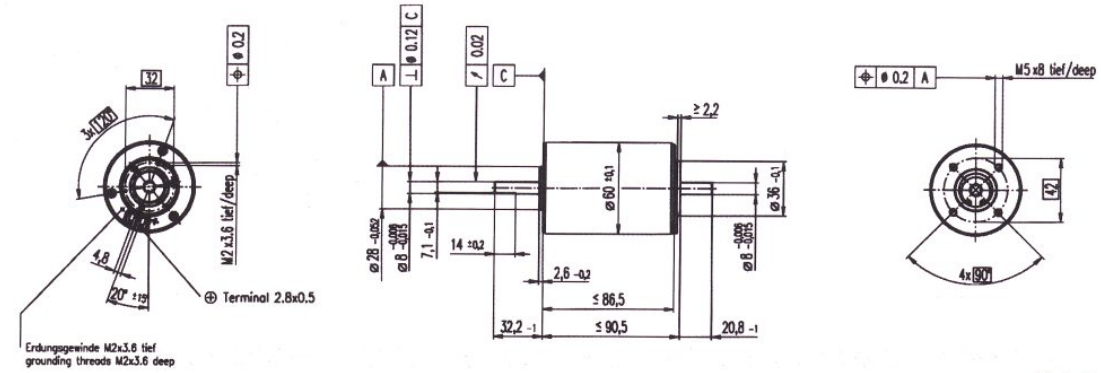
Q.37. Pour les positions P_h et P_v, déterminer les efforts dans la liaison $1/S$.

Q.38. La masse totale du robot avec ses roues est de 188 kg. Le coefficient de frottement entre chacune des six roues et le sol est $f = 0,2$. Calculer l'effort maximum X_r^{max} avec lequel Spirit peut percer la roche (on supposera qu'il ne bascule pas en arrière, et on rappelle que $g = 3,7\text{m.s}^{-2}$). Conclure quant aux performances attendues.

FIN DE L'ÉPREUVE

maxon DC motor

F 2260 60 mm, Commutation Graphite, 40 Watt



M 1:4

Programme Stock
Programme Standard
Programme Spécial (sur demande!)

Numéros de commande

2260. ... S1.216-200 (Insérer le numéro du bobinage)

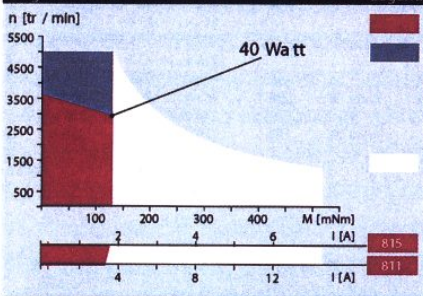
Numéro du bobinage		811	812	813	814	815	816	817	818	810	819	820
Caractéristiques moteur												
1 Puissance conseillée	W	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
2 Tension nominale	Volt	18.0	18.0	24.0	30.0	36.0	36.0	36.0	48.0	48.0	48.0	48.0
3 Vitesse à vide	tr / min	4500	3450	3660	4270	4580	3630	2950	3190	2590	2090	1630
4 Couple de démarrage	Nm	0.870	0.707	0.758	0.868	0.916	0.733	0.591	0.633	0.514	0.407	0.312
5 Pente vitesse / couple	tr / min / mNm	5.41	5.11	5.01	5.07	5.14	5.10	5.17	5.19	5.21	5.34	5.48
6 Courant à vide	mA	387	283	225	215	194	147	117	95	75	60	46
7 Courant de démarrage	A	23.8	14.8	12.6	13.4	12.6	7.97	5.24	4.53	3.00	1.93	1.16
8 Résistance aux bornes	Ohm	0.755	1.21	1.91	2.25	2.87	4.52	6.87	10.6	16.0	24.9	41.2
9 Vitesse limite	tr / min	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
10 Courant permanent max.	A	3.30	2.67	2.16	1.99	1.77	1.43	1.17	0.945	0.771	0.621	0.484
11 Couple permanent max.	mNm	120	127	130	130	129	132	132	132	132	131	130
12 Puissance max. fournie à la tension nom.	W	98.2	61.2	70.4	94.4	107	67.8	44.4	51.6	33.9	21.5	12.8
13 Rendement max.	%	73	72	73	75	75	74	71	73	70	67	64
14 Constante de couple	mNm / A	36.5	47.6	60.3	65.0	73.0	92.0	113	140	171	211	268
15 Constante de vitesse	tr / min / V	262	201	158	147	131	104	84.8	68.4	55.7	45.3	35.6
16 Constante de temps mécanique	ms	36	36	35	35	34	34	34	34	34	34	34
17 Inertie du rotor	gcm²	638	666	665	651	638	641	630	623	620	604	589
18 Inductivité	mH	0.23	0.39	0.63	0.73	0.92	1.46	2.18	3.36	5.05	7.66	12.40
19 Résistance therm. carcasse / air ambiant	K / W	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
20 Résistance therm. rotor / carcasse	K / W	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
21 Constante de temps thermique du bobinage	s	73	76	76	74	73	73	72	71	71	69	67

Spécifications

Jeu axial sous charge axiale	< 15 N	0.1 mm
	> 15 N	0.1 - 0.5 mm
Jeu axial pour combinaison de moteurs avec codeurs, limitée à max.		0.15 mm
Roulements pré-contraint		
Pré-contrainte min.		15 N
Charge maximum des roulements		
axiale (dynamique)		15 N
radiale (à 5 mm de la face)		100 N
Force de chassage (statique)		400 N
(statique, axe soutenu)		10 000 N
Jeu radial avec roulements		0.05 mm
Température ambiante		-20 ... +100°C
Température rotor max.		+125°C
Nombre de lames au collecteur		26
Poids du moteur		790 g

Les caractéristiques moteur du tableau sont des valeurs nominales.
Voir en page 43 les plages de tolérances.
Des informations détaillées se trouvent sur le maxon-selection-prog ramm du CD-R OM ci-joint.

Plages d'utilisation



Légende

Explications page 49

Plage de puissance conseillée

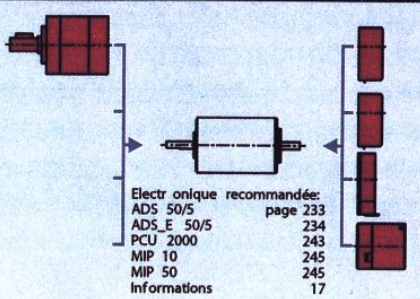
Plage de fonctionnement permanent
Compte tenu des résistances thermiques (lignes 19 et 20) et de la température ambiante à 25°C, la température max. du rotor sera atteinte = Limite thermique

Fonctionnement intermittent
La surcharge doit être de courte durée.

815 Moteur avec bobinage à haute résistance
811 Moteur avec bobinage à basse résistance

Construction modulaire maxon

Aperçu à la page 17 - 21



Réducteur planétaire
62 mm
8 - 50 Nm
Détail page 203

Electronique recommandée:
ADS 50/5 page 233
ADS_E 50/5 234
PCU 2000 243
MIP 10 245
MIP 50 245
Informations 17

Codeur digital
HP HEDS 5540
500 imp., 3 canaux
Détail page 217

Codeur digital
HP HEDL 5540
500 imp., 3 canaux
Détail page 219

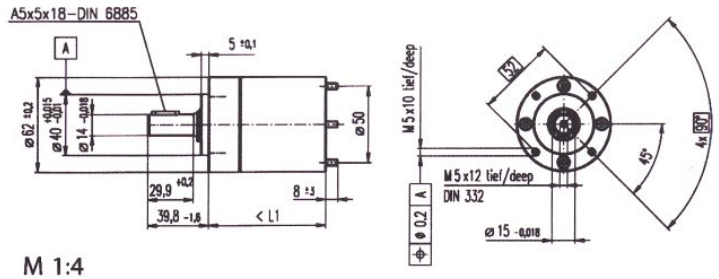
Codeur digital
HP HEDS 6540
1000 imp., 3 canaux
Détail page 221

Frein
40 mm
24 VDC, 0.4 Nm
Détail page 248

Edition Avril 2003

Annexe I : table des moteurs à courant continu Maxon $\Phi = 60mm$.

Réducteur planétair e G P 6 2 62 mm, 8 - 5 0 Nm

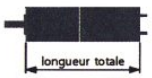


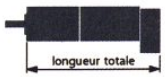
M 1:4

Données techniques			
Réducteur planétaire			taille droite
Arbre de sortie			acier inoxydable, trempé
Palier de sortie			roulements à billes
Jeu radial à 7 mm de la face			max. 0.08 mm
Jeu axial			max. 1 mm
Charge axiale max.			120 N
Force de chassage max.			1000 N
Vitesse d'entrée conseillée			< 3000 tr / min
Plage de température conseillée			-30 ... +140°C
Nombre d'étages	1	2	3
Charge radiale max. à 24 mm de la face	240 N	360 N	570 N
Jeu moyen à vide	1.0°	1.5°	2.0°

Programme Stock
Programme Standard
Programme Spécial (sur demande!)

Données sur les réducteurs		Numéros de commande 110499	110501	110502	110503	110504	110505	110506	110507	110508
1 Rapport de réduction		5.2 : 1	19 : 1	27 : 1	35 : 1	71 : 1	100 : 1	139 : 1	181 : 1	236 : 1
2 Rapport de réduction exact		57/11	3591/187	3249/121	1539/44	226223/3179	204687/2057	185193/1331	87723/484	41553/176
3 Nombre d'étages		1	2	2	2	3	3	3	3	3
4 Couple permanent max.	Nm	8	25	25	25	50	50	50	50	50
5 Couple intermittent max. admissible	Nm	12	37	37	37	75	75	75	75	75
6 Sens de rotation entrée / sortie		=	=	=	=	=	=	=	=	=
7 Rendement max.	%	80	75	75	75	70	70	70	70	70
8 Poids	g	950	1250	1250	1250	1540	1540	1540	1540	1540
9 Longueur du réducteur L1	mm	72.5	88.3	88.3	88.3	104.2	104.2	104.2	104.2	104.2



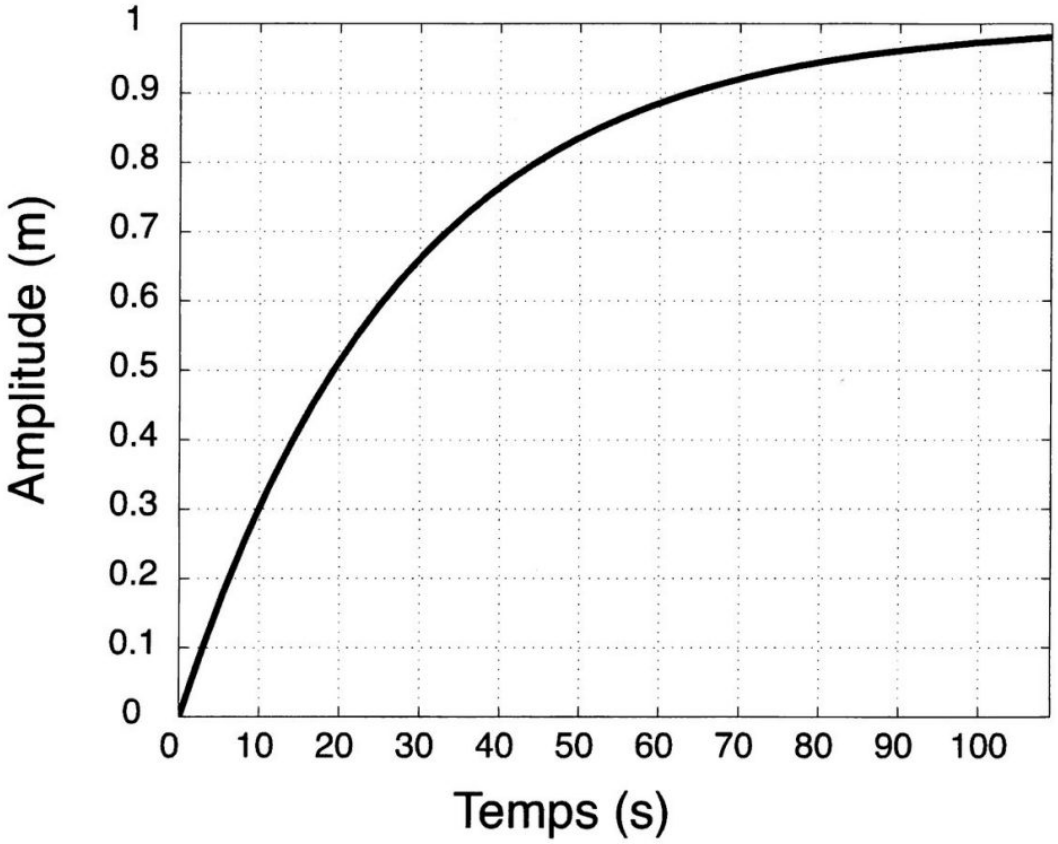


Combinaison

+ Moteur	Page	+ Géné. / Codeur	Page	+ Frein	Page	Longueur totale [mm] = longueur du moteur + longueur du réducteur + (géné. / codeur / frein) + pièces de montage							
F 2260, 40 W	94					163.1	178.9	178.9	178.9	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8
F 2260, 40 W	94	Codeur digital HED_ 55__	217/219			184.5	200.3	200.3	200.3	216.2	216.2	216.2	216.2	216.2
F 2260, 40 W	94	Codeur digital HEDS 6540	221			186.3	202.1	202.1	202.1	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0
F 2260, 40 W	94	F		rein 40	248	192.2	208.0	208.0	208.0	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9
F 2260, 80 W	95					198.6	214.4	214.4	214.4	230.3	230.3	230.3	230.3	230.3
F 2260, 80 W	95	Codeur digital HED_ 55__	217/219			220.0	235.8	235.8	235.8	251.7	251.7	251.7	251.7	251.7
F 2260, 80 W	95	Codeur digital HEDS 6540	221			221.8	237.6	237.6	237.6	253.5	253.5	253.5	253.5	253.5
F 2260, 80 W	95	F		rein 40	248	227.7	243.5	243.5	243.5	259.4	259.4	259.4	259.4	259.4
EC 45, 250 W	160					216.6	232.4	232.4	232.4	248.3	248.3	248.3	248.3	248.3
EC 45, 250 W	160	Codeur digital HEDL 9140	220			232.2	248.0	248.0	248.0	263.9	263.9	263.9	263.9	263.9
EC 45, 250 W	160	Codeur digital HEDL 9140	220	Frein 28	249	241.0	256.8	256.8	256.8	272.7	272.7	272.7	272.7	272.7
EC 45, 250 W	160	Résolveur 26	226			216.6	232.4	232.4	232.4	248.3	248.3	248.3	248.3	248.3
EC 45, 250 W	160			Frein 28	249	224.0	239.8	239.8	239.8	255.7	255.7	255.7	255.7	255.7

Edition Avril 2003

Annexe II : table des réducteurs Maxon compatibles.



Annexe III : réponse indicielle du système en boucle fermée pour $K_1 = 20$.

Type moteur	42M250C3A	42M300C3A	60L250B3A	60L300B3A
Voltage de commande (V)	24	24	24	24
Vitesse maxi (tr/min)	250	300	250	300
Sens de rotation	réversible	réversible	réversible	réversible
Couple disponible (N.m)	0,36	0,36	1,39	1,39
Moment d'inertie (g.m^2)	12,5.10^{-4}	12,5.10^{-4}	9,5.10^{-3}	9,5.10^{-3}
Température de fonctionnement	-20°C à 70°C	-20°C à 70°C	-20°C à 70°C	-20°C à 70°C
Précision angulaire (degrés)	1,8	1,8	1,8	1,8
Poids (g)	145	145	440	440

Annexe IV : tableau des moteurs disponibles pour les actionneurs M_i ($i \in \{1, 2, 3, 4\}$).

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

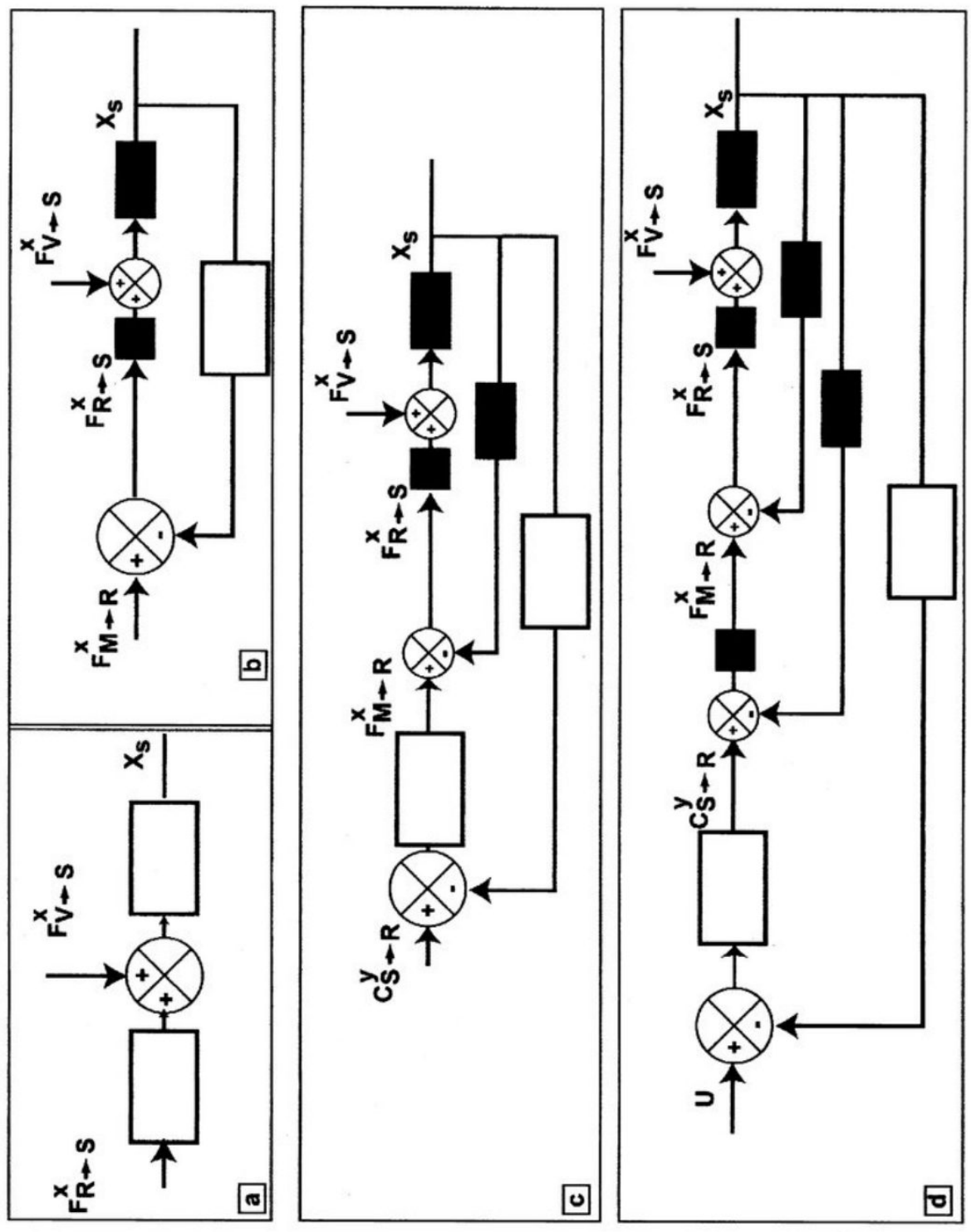
NOM :
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

Né(e) le :

N° du candidat

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



Document réponse I. (Toutes les grandeurs notées ici correspondent aux transformées de Laplace des grandeurs temporelles associées).

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

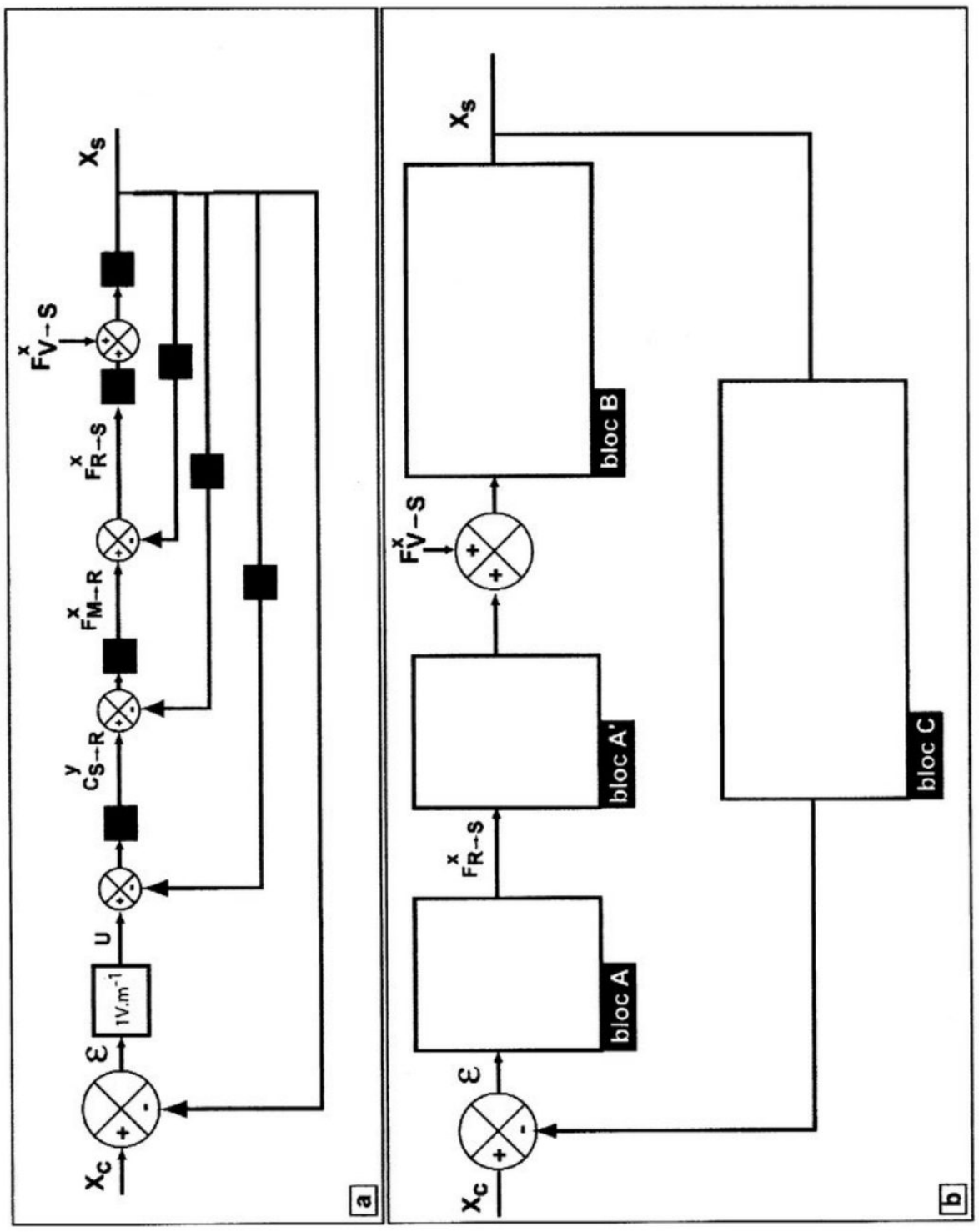
NOM :
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

Né(e) le :

N° du candidat

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



Document réponse II. (Toutes les grandeurs notées ici correspondent implicitement aux transformées de Laplace des grandeurs temporelles associées).

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
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Réponse fréquentielle et diagrammes de Bode
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Mobilité, hyperstatisme et petits déplacements

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/x-ens/psi