

# Préparation Mines Telecom

## Réplique de la mission InSIGHT ★ –

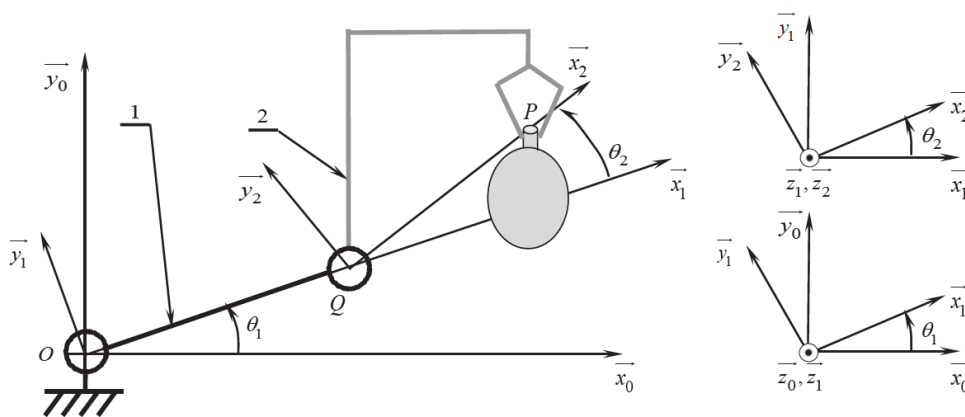
### Sujet

On s'intéresse ici au système de déploiement du sous-système SEIS. Il est basé sur un instrument hybride composé :

- ▶ d'un système de déploiement (DPL);
- ▶ d'une sphère (SEIS) comportant trois capteurs sismiques à très larges bandes et leurs capteurs de température;
- ▶ d'une boîte électronique d'acquisition dont la structure est donnée par le diagramme de définition des blocs.

On donne figure 4 le diagramme partiel des exigences.

La figure 2 représente la structure du système de déploiement DPL.



D'après concours Commun INP 2019 – MP.

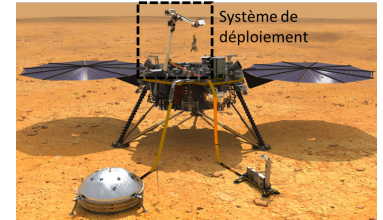


FIGURE 1 – Sous-système SEIS

FIGURE 2 – Schématisation cinématique du bras de déploiement

**Bâti 0** Le bâti 0 est doté du repère  $\mathcal{R}_0 (O; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ .

**Bras 1** Le bras 1 est doté du repère  $\mathcal{R}_1 (O; \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ . Le mouvement de 1 par rapport à 0 est une rotation d'axe  $(O, \vec{z}_0)$  et d'angle  $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ . Le centre d'inertie  $G_1$  est paramétré par  $\vec{OG}_1 = \frac{L}{2} \vec{x}_1$ . De plus  $\vec{OQ} = L \vec{x}_1$ . Enfin,  $m_1 = 352 \text{ g}$  et  $L = 0,5 \text{ m}$ .

La figure 3 présente le modèle volumique du bras 1. Les plans  $(G_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$  et  $(G_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  sont des plans de symétrie matérielle du bras 1.

Le mouvement de 1 par rapport à 0 est commandé par un actionneur  $M_{01}$ , constitué d'un moteur pas à pas et d'un réducteur de vitesse à couronne dentée flexible de rapport de transmission  $\lambda = 82$ , d'encombrement et de masse très faibles en regard des autres solides, logés à l'intérieur de la liaison (0/1).

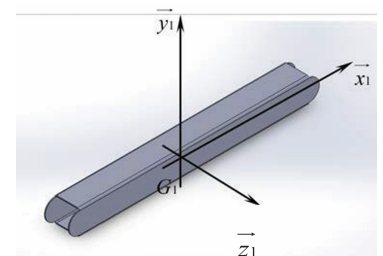


FIGURE 3 – Bras 1

**Avant-bras 2** L'avant-bras 2 est doté du repère  $\mathcal{R}_2 (Q; \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ . Le mouvement de 2 par rapport à 0 est une rotation d'axe  $(Q, \vec{z}_1)$  et d'angle  $\theta_2 = (\vec{x}_1, \vec{x}_2) = (\vec{y}_1, \vec{y}_2)$ . Le centre d'inertie  $G_2$  est paramétré par  $\vec{QG}_2 = \frac{L}{2} \vec{x}_2$ . De plus  $\vec{QP} = L \vec{x}_2$ . Enfin,  $m_2 = 352 \text{ g}$  et  $L = 0,5 \text{ m}$ .

L'extrémité en  $P$  est équipée d'une pince de masse négligeable qui saisit la sphère SEIS. On note  $K_{O2}$  le moment d'inertie de l'avant-bras 2 par rapport à l'axe  $(O, \vec{z}_0)$  dans la position la plus défavorable. Le mouvement de 2 par rapport à 1 est commandé par un actionneur  $M_{12}$ , constitué d'un moteur pas à pas et d'un réducteur de vitesse à couronne dentée flexible de rapport de transmission  $\lambda = 82$ , d'encombrement et de masse très faibles en regard des autres solides, logés à l'intérieur de la liaison (1/2).

**Sphère du SEIS : S** On considère que l'amplitude du mouvement (S/2) est très faible. La position (S/0) repérée par  $\vec{OP} = X_P(t)\vec{x}_0 + Y_P(t)\vec{y}_0$ . La masse  $m_s = 1,2$  kg est considérée comme ponctuelle en son centre d'inertie  $G_S$  par rapport aux autres mouvements.  $G_S$  est tel que  $\vec{PG}_S = -R\vec{y}_0$  ( $R$  est une constante positive).

On note  $K_{O5}$  le moment d'inertie de la sphère  $S$  par rapport à l'axe  $(O, \vec{z}_0)$  dans la position  $\theta_1 = \theta_2 = 0$ .

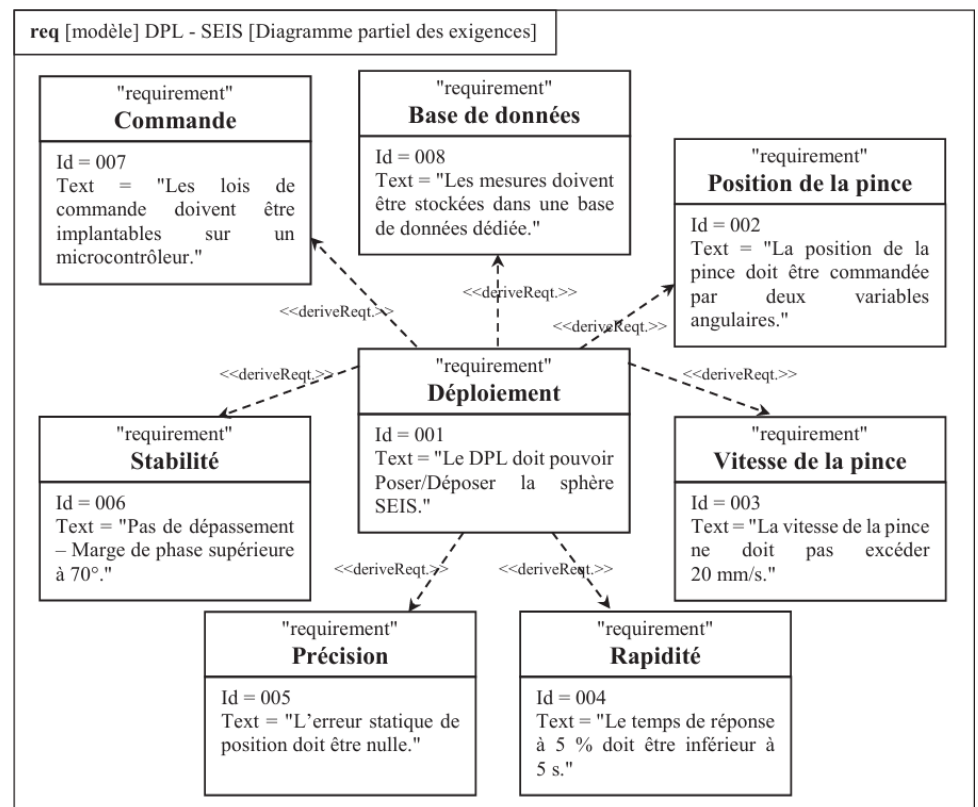


FIGURE 4 – Diagramme partiel des exigences

## 0.1 Validation des capacités de positionnement du système de déploiement

### Objectif

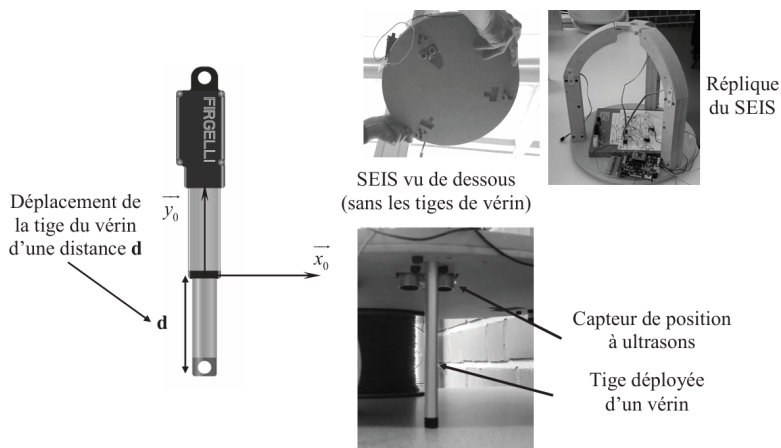
Vérifier l'exigence 002 « Position de la pince » afin que le point de préhension  $P$  du système de déploiement DPL puisse être défini à partir de deux coordonnées articulaires.

**Question 1** Exprimer  $\theta_1$  et  $\theta_2$  en fonction de  $X_P$ ,  $Y_P$  et  $L$ . Conclure quant au respect de «l'exigence 002».

## 0.2 Étude de l'asservissement en position du vérin

### Objectif

Choisir un correcteur approprié permettant de satisfaire le cahier des charges vis-à-vis des exigences concernant l'asservissement en position du vérin électrique suivant l'axe  $\vec{y}_0$  conformément à la figure 11.



**FIGURE 5** – Déplacement de la tige du vérin

La mesure de la distance est obtenue grâce à un capteur à ultrason permettant de délivrer, sous la forme d'impulsions, une image de la distance entre la structure sur SEIS et le sol. Cette information est ensuite traitée afin de générer un signal image de la distance parcourue par la tige du vérin.

### Notations et spécifications :

- ▶ gain du capteur :  $K_{\text{capt}} = 588 \text{ impulsions/m}$ ;
- ▶ gain de l'ensemble réducteur et vis-écrou :  $K_{\text{red}} = 19,1 \times 10^{-6} \text{ m/rad}$ ;
- ▶ vitesse linéaire de la tige du vérin :
- $V(t)$  en  $\text{m s}^{-1}$ ;
- ▶ déplacement linéaire de la tige du vérin :  $d(t)$  en  $\text{V}$ ;
- ▶ correcteur :  $C_0(p)$ ;
- ▶ gain du hacheur :  $K_H = 1,163$ .

Pour toute la suite du sujet, on considère :  $C_r(p) = 0$ . Tout d'abord, le correcteur est considéré unitaire  $C_0(p) = 1$ .

**Question 2** Proposer un schéma-bloc permettant de modéliser l'asservissement du déplacement de la tige.

**Question 3** Déterminer l'expression littérale de la fonction de transfert en boucle ouverte  $G_{BO}(p)$  et mettre celle-ci sous forme canonique. Donner la classe de cette fonction de transfert. En déduire la précision du système.

On donne l'expression numérique de la fonction de transfert en boucle ouverte :

$$G_{BO}(p) = \frac{0,0112}{p(0,00028p + 1)}.$$

**Question 4** Tracer les diagrammes de Bode asymptotiques et réels de la fonction de transfert  $G_{BO}(p)$  sur le DR3. En déduire la marge de phase de l'asservissement en effectuant toutes les constructions graphiques nécessaires. Conclure sur le respect de l'exigence 006 «Stabilité».

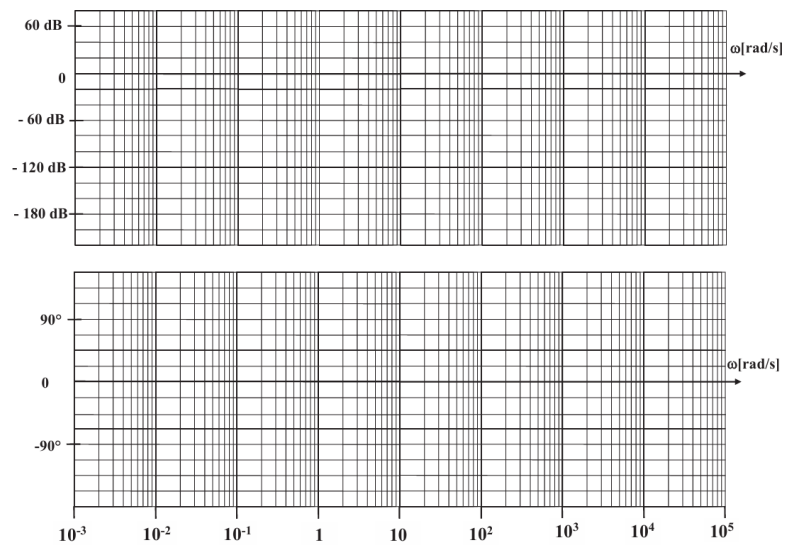


FIGURE 6 – Diagramme de Bode

On désire quantifier la rapidité du système à la suite d'une sollicitation en échelon. On donne les relations permettant de calculer le temps de réponse à 5%, noté  $t_{r5\%}$ , pour un système d'ordre deux (avec  $\xi$  le facteur d'amortissement et  $\omega_0$  la pulsation propre du système non amorti) :

$$\begin{cases} \xi < \frac{1}{\sqrt{2}}, t_{r5\%} \simeq \frac{3\xi}{\omega_0} \\ \xi > \frac{1}{\sqrt{2}}, t_{r5\%} \simeq \frac{6\xi}{\omega_0} \end{cases}$$

**Question 5** Déterminer et calculer les paramètres caractéristiques de la fonction de transfert en boucle fermée  $G_{BF} = \frac{D(p)}{D_c(p)}$ . En déduire le temps de réponse de l'asservissement en vitesse. Conclure sur le respect de l'exigence 004 «Rapidité».

Afin d'améliorer les performances de l'asservissement, on choisit un correcteur proportionnel de gain  $K_D$  tel que  $C_0(p) = K_D$ . La valeur numérique du gain sera déterminée à partir de deux méthodes :

- approche graphique, à partir de la marge de phase (maîtrise de la stabilité);
- approche analytique, à partir d'un comportement imposé.

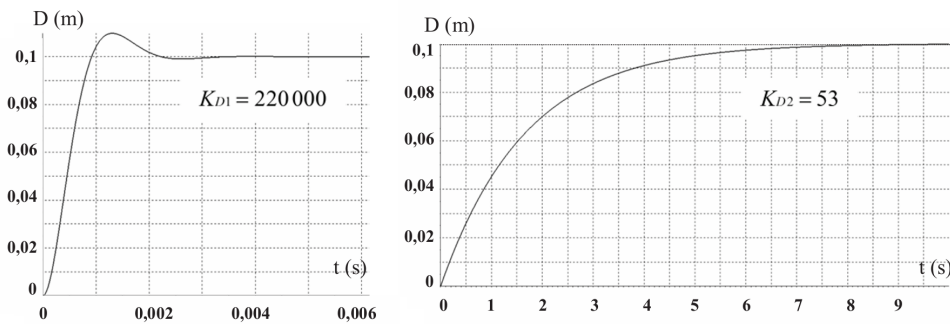
**Question 6** À partir de constructions graphiques sur la figure 6, donner la valeur du gain du correcteur  $K_{D1}$ , permettant de garantir une marge de phase supérieure à  $70^\circ$ . La valeur de  $K_{D1}$  vous paraît-elle pertinente et réaliste ?

On impose un temps de réponse à 5% de 5 s et un facteur d'amortissement  $\xi$  supérieur à 1. On donne l'expression numérique de  $G_{BF}(p)$  avec un correcteur de gain  $K_D$  :

$$G_{BF}(p) = \frac{1}{\frac{0,025}{K_D} p^2 + \frac{89}{K_D} p + 1}.$$

**Question 7** À partir des équations liant le temps de réponse, le facteur d'amortissement et la pulsation propre ainsi que de l'expression numérique de  $G_{BF}(p)$ , donner une expression liant  $t_{r5\%}$  et  $K_{D2}$ . En déduire la valeur de  $K_{D2}$  permettant de respecter la contrainte imposée en termes de rapidité.

On donne ci-dessous les tracés de la sortie du système asservi à la suite d'un échelon de consigne de 10 cm pour  $K_{D1} = 220\,000$  et  $K_{D2} = 53$ .



**FIGURE 7** – Réponses indicielles du système asservi

**Question 8** Commenter les courbes (respect des exigences) et choisir le correcteur qui vous paraît le plus pertinent.