

TD16.11 – Stabilité des SLCI et réglage des marges : ROBOT MIR

Machine d'inspection des réacteurs



1. CONTEXTE

A. Présentation

Le robot MIR développé pour la vérification des cuves de Superphénix doit être adapté pour le contrôle d'une nouvelle génération de réacteurs à neutrons rapides.

La **fonction globale** du robot MIR est :

- d'assurer le contrôle surfacique télévisuel des soudures des deux cuves et des zones adjacentes ;
- d'assurer le contrôle volumique par ultrasons des soudures de la cuve principale et des zones adjacentes. Une possibilité était offerte d'effectuer ce contrôle sur la cuve de sécurité ;
- de mesurer en permanence la distance entre les deux cuves.

Pour cela, le robot se déplace dans l'espace inter-cuve, entre la cuve principale et la cuve de sécurité.

Lorsque le robot évolue dans l'espace inter-cuve, il est en permanence relié à **un filin de traction et à un ombilical** par lequel transite la puissance électrique, les signaux d'information et différents gaz dont celui nécessaire au refroidissement. Pour garantir un bon enroulement de l'ombilical, **un système de treuil** est installé au-dessus de la dalle du réacteur.

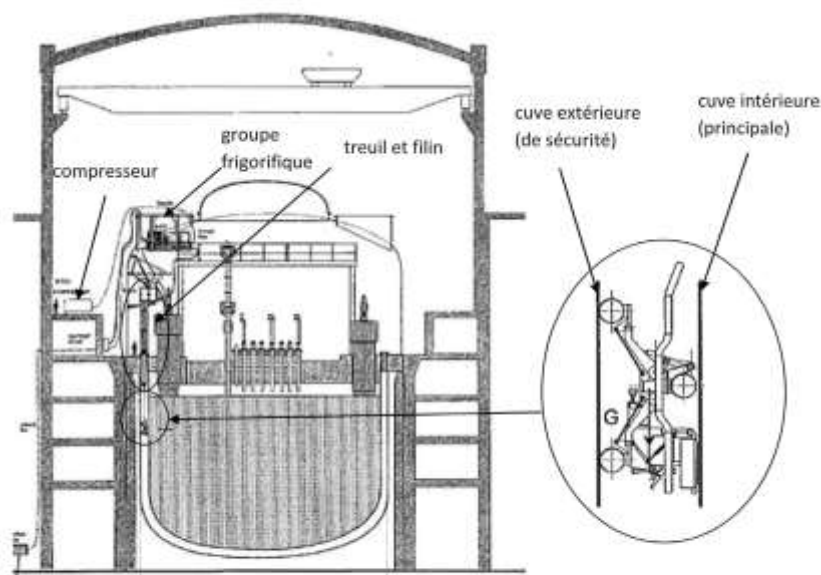


Figure 1 : schéma d'implantation des sous-ensembles du MIR lors d'une intervention.

B. Description et exigences

Le robot MIR est un véhicule motorisé composé d'un châssis tubulaire, de quatre bras articulés et des composants nécessaires à la mise en œuvre des contrôles et mesure. La structure est en acier inoxydable. La masse est d'environ 180 kg.

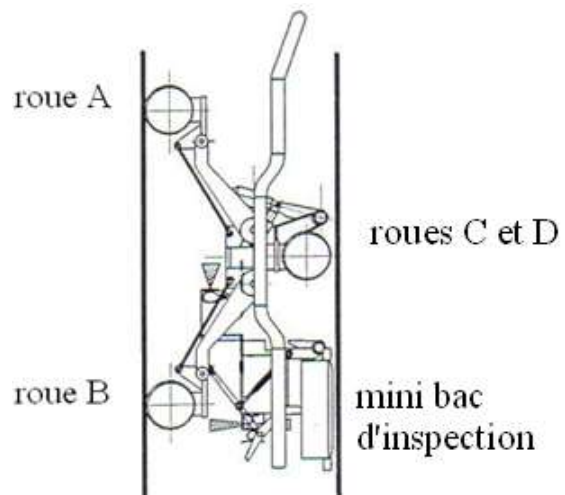


Figure 2 : robot MIR en position déployée.

Le cahier des charges précise l'exigence 12 qui est étudiée dans ce sujet et donnée figure 3.

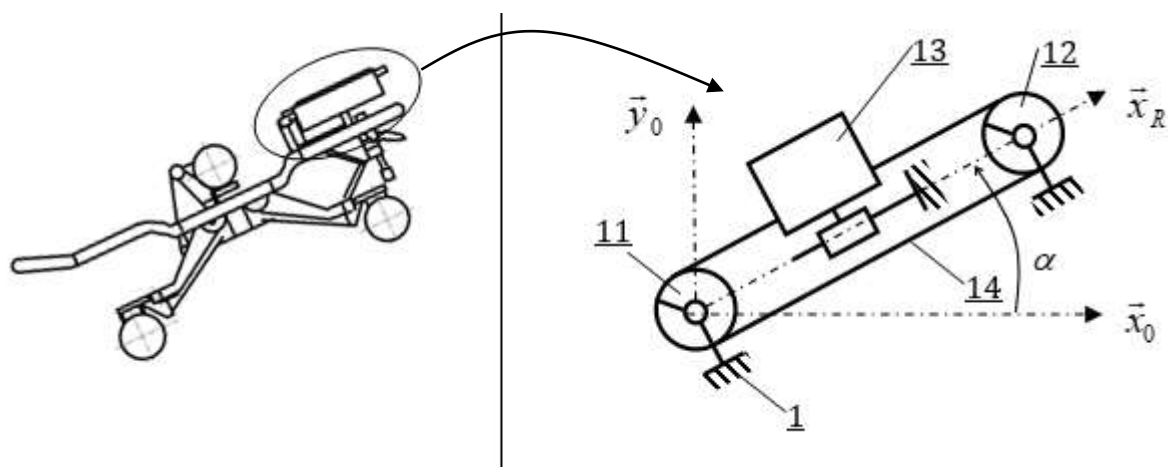
Exigences	Nom	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 1.1	Précision	Vitesse d'inspection	5 mm/s	± 0.5 mm/s
Id 1.2	Stabilité du déplacement	Marge de gain Marge de phase Pulsation au gain unité	12 dB 45° 100 rad/s	Valeur mini -0°/+5° $\pm 5\%$

Figure 3 : extrait du cahier des charges.

C. Données supplémentaires, hypothèses et problématique

Le robot MIR étant à l'arrêt entre les deux cuves, le mini bac, qui contient les appareils de contrôle, est plaqué contre la paroi de la cuve à contrôler. Pour l'inspection des soudures, le transducteur 13 (capteur de l'état des soudures) doit se déplacer à l'intérieur du mini bac d'inspection à vitesse constante. Le mini bac est rempli d'un fluide visqueux. L'inspection peut avoir lieu pour n'importe quelle position du robot MIR, donc l'angle α qui caractérise la direction du déplacement du transducteur par rapport à l'horizontale, est susceptible de prendre toute valeur comprise entre $-\pi/2$ (robot tête en bas) et $\pi/2$ (robot tête en haut). Afin de garantir la qualité des résultats de mesure, le transducteur doit donc se déplacer à une vitesse V_0 constante par rapport à la paroi, et ceci pour toute valeur de l'angle α .

Figure 4 : schéma de l'intérieur du mini bac d'inspection.



Le transducteur est en liaison glissière de direction \vec{x}_R , avec le corps 1 du robot MIR. La chaîne d'énergie est composée entre autres, d'un actionneur rotatif qui exerce un couple $\mathbf{c}(\mathbf{t})$ sur le pignon 11, qui est en liaison pivot, supportée parfaite, avec le robot MIR.

Un système poulies (**11** et **12**) et courroie crantée **14** impose le mouvement de translation au transducteur **13** (cf schéma de la figure 4).

Hypothèses :

- On suppose que le robot **1** est immobile par rapport au repère galiléen.
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites.
- On néglige la masse et l'inertie de la courroie crantée **14**.
- Le fluide du mini bac exerce un effort visqueux directement proportionnel à la vitesse de déplacement et caractérisé par le coefficient de frottement visqueux μ en N.s/m, uniquement sur le transducteur **13**.

Données :

- Masse du transducteur : m_t
- Moment d'inertie de chaque pignon autour de leurs axes respectifs ($O_{11} \vec{z}_0$ et $O_{12} \vec{z}_0$) : I
- Rayon de chaque pignon : r_p
- Le champ de pesanteur : $-g \cdot \vec{y}_0$

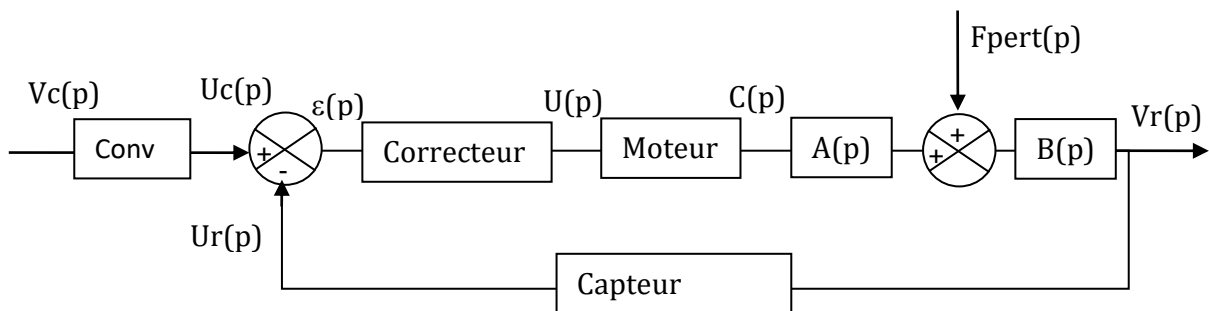
Notation :

- $c(t) = \vec{M}_{O_{11},moteur \rightarrow 11} \cdot \vec{z}_R$: couple moteur exercé sur le pignon **11**.
- $v_r(t) = \vec{V}_{M \in 13/R} \cdot \vec{x}_R$: vitesse de translation du transducteur **13**.

L'équation qui régit le comportement dynamique s'écrit :

$$M_{eq} \cdot \frac{dv_r}{dt} = \delta \cdot c(t) + \beta \cdot v_r(t) + \gamma \cdot g \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \delta = -1/r_p \\ \beta = -\mu \\ \gamma = -m_t \sin \alpha \end{cases}$$

Pour garantir une vitesse de translation du transducteur **13** quasi égale à la valeur de consigne indépendamment de l'angle α et stable, on réalise le système bouclé suivant :



Notations :

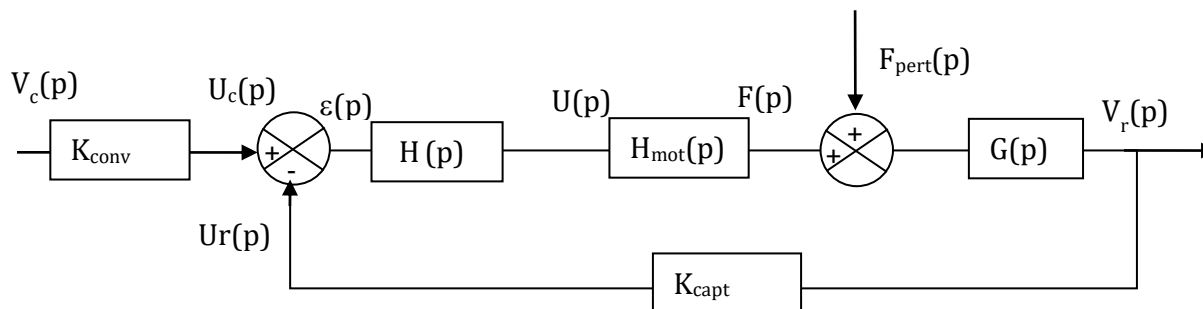
- $V_r(p)$ est la transformée de Laplace de $v_r(t)$ vitesse de translation du transducteur **13**.
- $F_{pert}(t)$ est la transformée de Laplace de $f_{pert}(t)$, avec : $f_{pert}(t) = -m_t \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot u(t)$

Q1.1. En supposant des conditions initiales nulles, exprimer les fonctions de transfert $A(p)$ et $B(p)$ en fonction entre autres de δ , β et M_{eq} .

Le capteur est modélisé par un gain pur de valeur K_{capt} .

Q1.2. En supposant une perturbation nulle, quelle doit être la valeur du gain K_{conv} du convertisseur modélisé par un gain pur, afin que l'écart $\varepsilon(t)$ soit nul quand la valeur de la vitesse réelle $v_r(t)$ est égale à la valeur de la consigne $v_c(t)$.

On adopte pour la suite la modélisation suivante :



Avec : $H_{mot}(p) = \frac{K_m}{1 + \tau_m p}$, $G(p) = \frac{K}{1 + \tau p}$ et $H(p) = K_{cor}$ (fonction de transfert du correcteur)

Q1.3. Exprimer les deux fonctions de transfert suivantes en fonction des gains τ_m , τ , K_m , K , K_{conv} , K_{cor} , et K_{capt} :

$$H_1(p) = \left. \frac{V_r(p)}{V_c(p)} \right|_{F_{pert}=0} \quad \text{et} \quad H_2(p) = \left. \frac{V_r(p)}{F_{pert}(p)} \right|_{V_c=0}$$

Q1.4. Comment s'appellent les fonctions H_1 et H_2 . Le système est-il stable ? Justifier.

On raisonne sur la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée et non perturbée.

Q1.5. Tracer les diagrammes asymptotiques dans le plan de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $U_r(p)/\varepsilon(p)$ en utilisant les valeurs numériques suivantes :

$$K_m = 0.1 \text{ N.V}^{-1} \quad \tau_m = 10^{-2} \text{ s} \quad K_{capt} = 50 \text{ V.s.m}^{-1} \quad K = 200 \text{ m.s}^{-1}.\text{N}^{-1} \quad \tau = 1 \text{ s}$$

Q1.6. Déterminer le gain en décibel de la fonction de transfert en boucle ouverte (courbe réelle) à la pulsation de 100 rad.s^{-1} .

Q1.7. Déterminer la phase φ à la pulsation de 100 rad.s^{-1} .

Correction de la FTBO

Q1.8. On impose en entrée une consigne de vitesse $v_c(t) = v_0 \cdot u(t)$. v_0 est une constante et $u(t)$ la fonction échelon unitaire de Heaviside. Exprimer, en tenant compte de la perturbation, erreur statique relative en fonction de l'angle α , de la valeur de K_{cor} et des données. Conclusion.

On souhaite obtenir une vitesse de translation indépendante de l'inclinaison. Pour toute la suite du sujet, on installe un **correcteur Intégral** du type K_c/p , placé au début de la chaîne d'action.

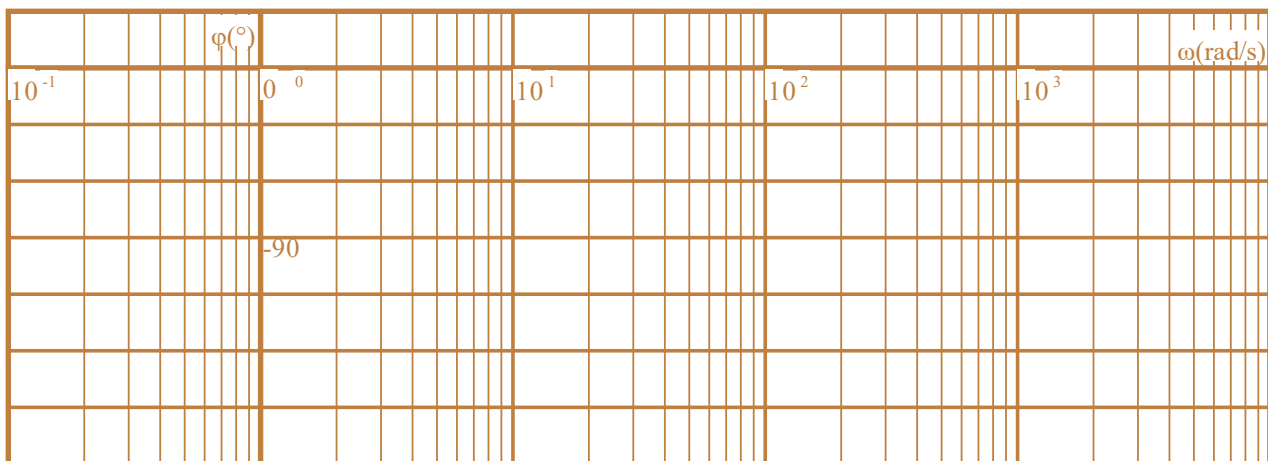
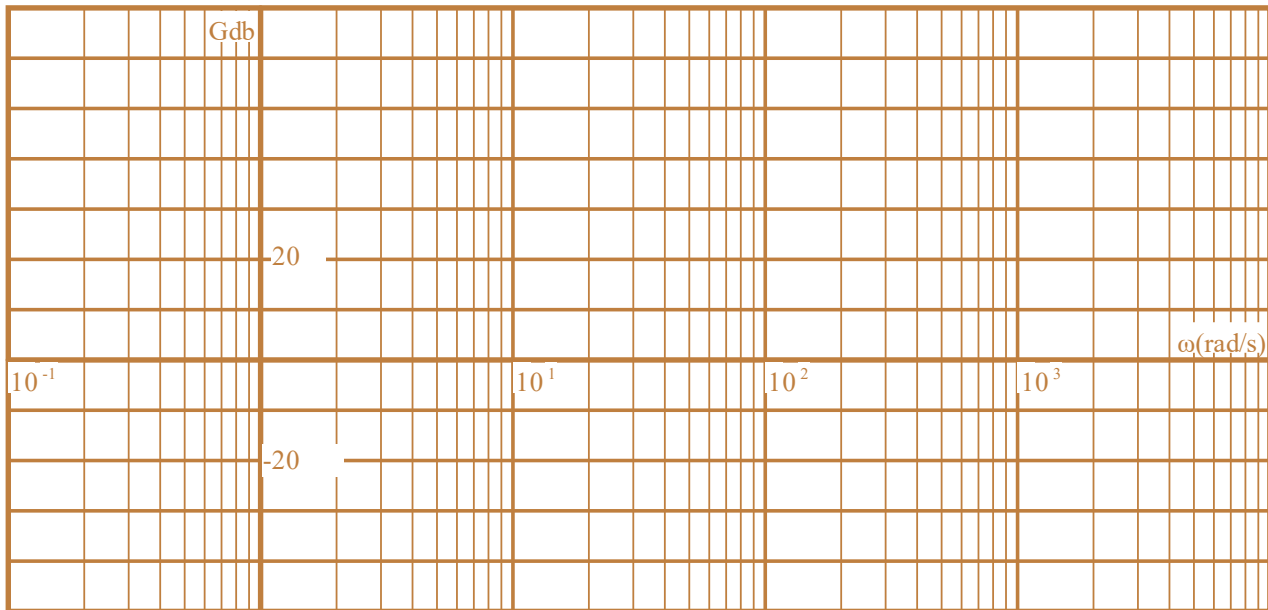
Q1.9. Quelles sont les influences de ce correcteur sur la stabilité et la précision ? Expliquer.

Q1.10. On impose de nouveau la vitesse $v_c(t) = v_0 \cdot u(t)$. Exprimer l'expression de la nouvelle erreur statique en régime permanent (en fonction de l'angle α et des données). Pouvait-on prévoir ce résultat ?

Q1.11. Tracer la FTBO corrigée pour $K_c = 1$. Déterminer ensuite la valeur de K_c pour que les marges de stabilités soient respectées (deux courbes supplémentaires à tracer).

Q1.12. Conclure quant au respect du cahier des charges.

FTBO non corrigé et non perturbée



FTBO avec correcteur Intégral ($K_c = 1$)

