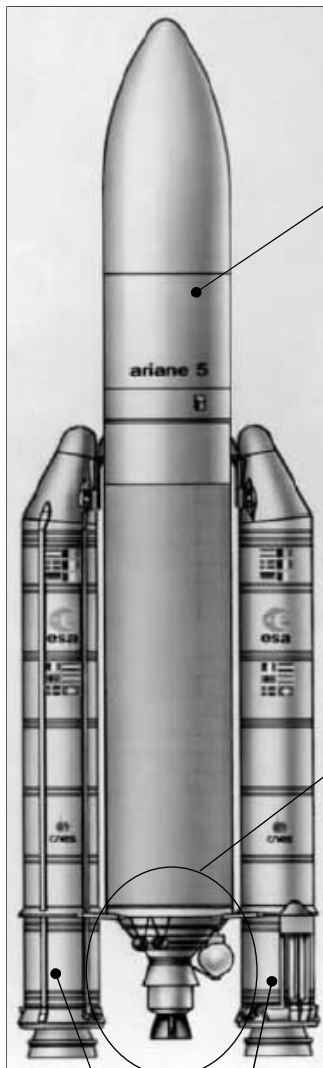


FUSÉE ARIANE 5

La fusée Ariane 5 est globalement composée d'un corps central (CC) à deux étages et deux propulseurs latéraux (PG et PD):



Corps central (CC) à deux étages

Le 1^{er} étage, ou **EPC** (Étage Principal Cryogénique), est situé dans la partie basse de ce corps central ; la tuyère de cet étage est allumée avant le décollage et le reste jusqu'à séparation des deux étages.

Le 2^{ème} étage, ou **EPS** (Ensemble Propulsif Stockable), est situé dans la partie haute de ce corps central ; la tuyère de cet étage est allumée au moment de la séparation des deux étages.

Moteur Vulcain et sa tuyère centrale TC

La tuyère centrale **TC** du moteur Vulcain du 1^{er} étage du corps central **CC** est située en extrémité basse de ce corps. Elle est orientable autour des directions \vec{y} et \vec{z} de $\pm 7^\circ$.

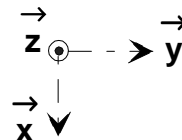


figure 1 : fusée Ariane 5

Propulseurs latéraux PG et PD

Les deux **EAP** (Étage Accélérateurs à Poudre) latéraux sont utilisés au décollage pour apporter de la puissance et sont ensuite largués.

En extrémité du propulseur gauche ($y < 0$), noté **PG**, se trouve la tuyère gauche **TG**, orientable autour des directions \vec{y} et \vec{z} de $\pm 6^\circ$.

En extrémité du propulseur droit ($y > 0$), noté **PD**, se trouve la tuyère droite **TD**, orientable autour des directions \vec{y} et \vec{z} de $\pm 6^\circ$.

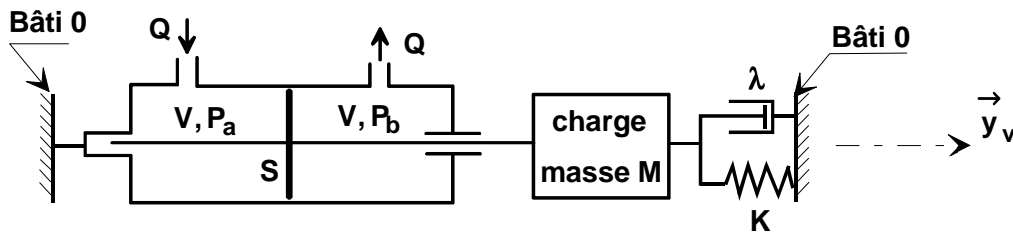
Pour diriger la fusée on doit orienter la force propulsive. La solution retenue consiste à orienter les tuyères plutôt qu'à dévier les jets des moteurs.

Pour orienter une tuyère, deux vérins hydrauliques ont été choisis pour délivrer la puissance élevée nécessaire. Ce système hydraulique convertit la pression interne en énergie mécanique d'orientation des tuyères.

Étude du servo-vérin

Pour cette étude le modèle simplifié de comportement utilisé pour un servo-vérin déplaçant une charge de masse M est représenté sur la figure 2. ci-dessous :

Figure 2. : modèle d'un servo-vérin



Les caractéristiques du servo-vérin et du fluide utilisé sont : S la surface utile du vérin et B le module de compressibilité du fluide.

Soit $y(t)$ la variation de déplacement de la charge par rapport à la position d'équilibre obtenue en l'absence de pression. La variation $y(t)$ étant petite, on peut faire les hypothèses suivantes :

- les volumes des deux chambres du vérin sont identiques et égaux à V ,
- les débits entrant et sortant sont identiques et égaux à Q .

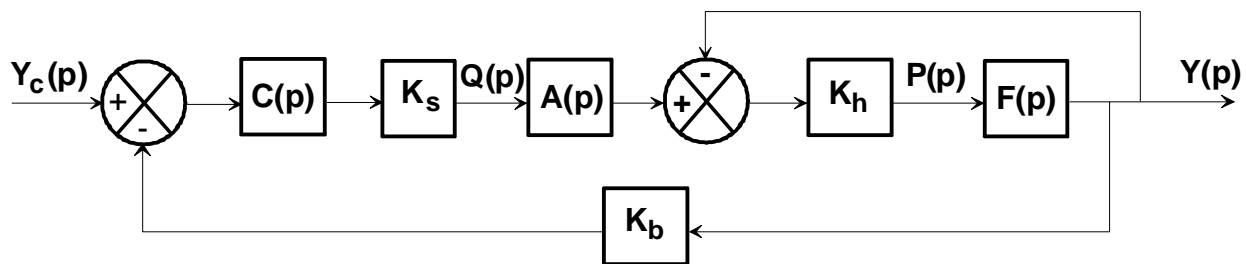
La charge de masse M est liée au bâti par un ressort de raideur K et un amortisseur de coefficient λ .

L'étude hydraulique du servo-vérin et notamment l'étude des débits de compressibilités et de déformations nous permet d'écrire : $Q = S\dot{y} + \frac{V}{2B}\dot{P}$ avec $P = P_a - P_b$. L'étude mécanique de la

charge nous permet d'écrire : $M\ddot{y} = PS - Ky - \lambda\dot{y}$ (1).

Le débit Q est commandé par un servo-distributeur (association d'une servo-valve et d'un distributeur), non représenté ici et de fonction de transfert : K_s . La représentation sous forme de schéma-bloc du servo-vérin asservi en position est donnée sur la figure 3. ci-dessous avec $K_b = 1$:

Figure 3. : schéma-bloc d'un servo-vérin



Dans ce schéma bloc, $Y_c(p)$ est la transformée de Laplace de la consigne de position $y_c(t) = y(t)$ du servo-vérin.

1. Préciser la démarche à utiliser pour obtenir l'équation (1) : système isolé, bilan des actions mécaniques en précisant leurs expressions, hypothèses simplificatrices formulées, théorème utilisé ...

2. La première étude est menée avec $C(p) = 1$. Déterminer les fonctions de transfert $A(p)$, $F(p)$ et le gain K_h .

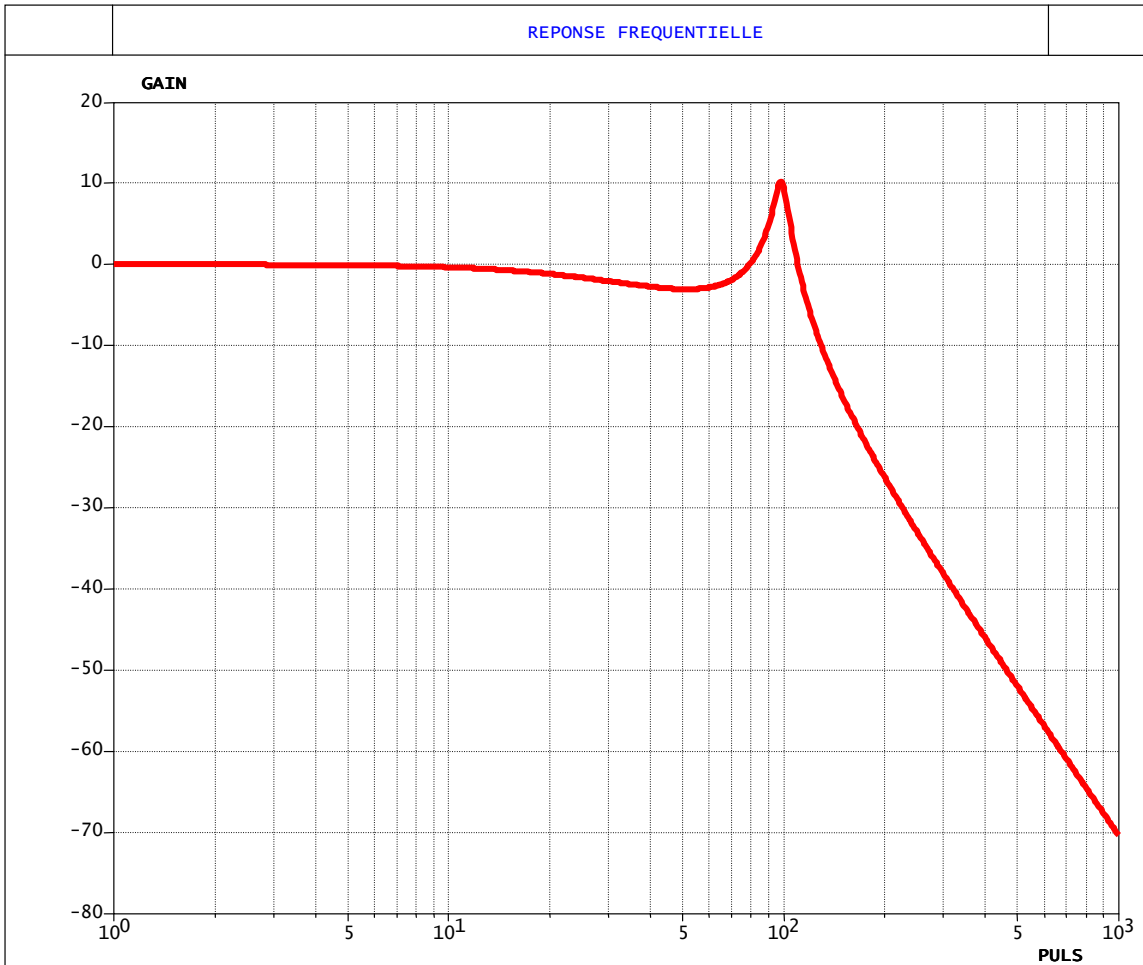
3. Sur l'annexe 1. sont tracés différents diagrammes du servo-vérin asservi en position :

- Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert **en boucle fermée**.
- Diagramme de Bode de la fonction de transfert **en boucle ouverte**,
- Réponse indicielle (entrée unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée.

À partir de ces diagrammes et sachant que le numérateur de la fonction de transfert en boucle fermée est un gain pur, identifier l'ordre du système en boucle fermée, son gain statique et déterminer sa fréquence de résonance. Justifier vos réponses.

ANNEXE 1.

Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert en boucle fermée si $C(p) = 1$



Réponse indicielle (entrée unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée si $C(p) = 1$

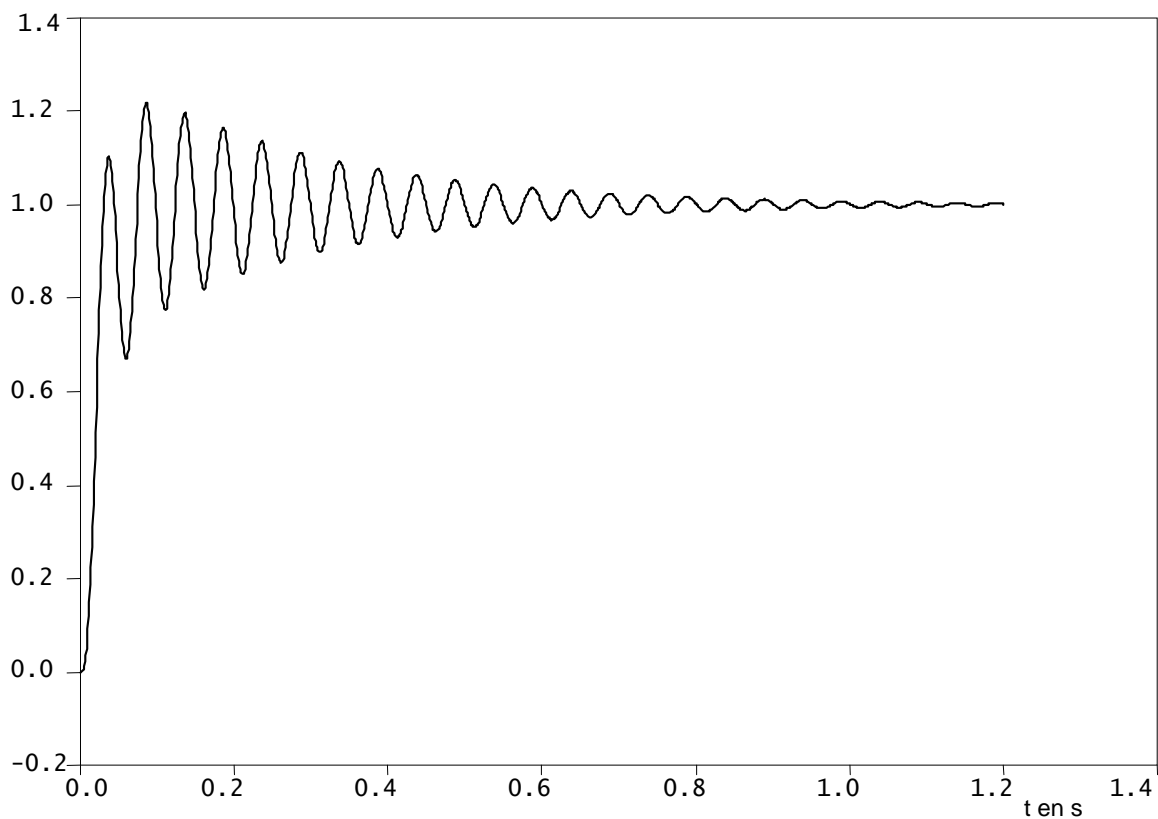
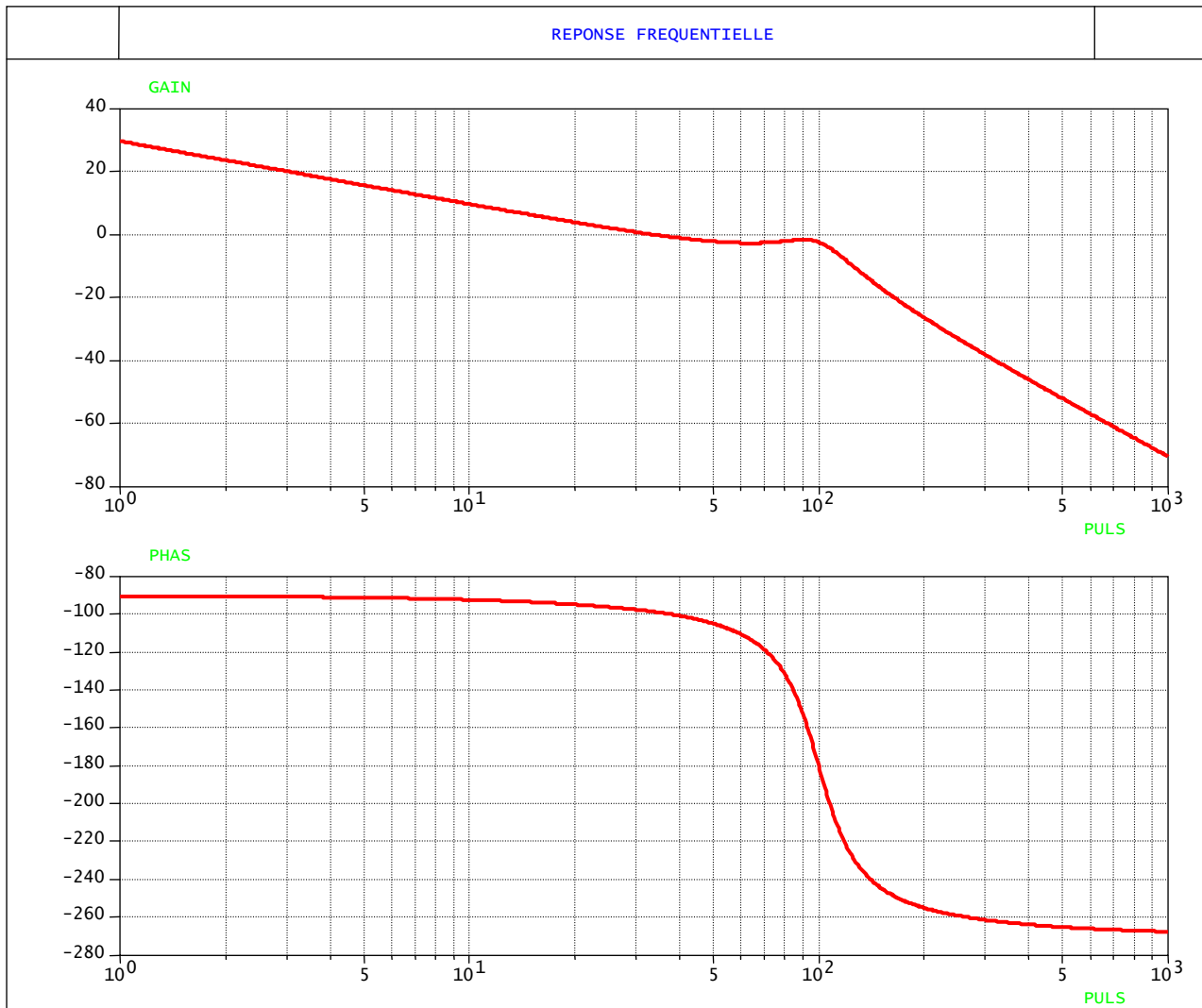


Diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte si $C(p) = 1$


4. Le cahier des charges du servo-vérin définit certains critères :

- Écart nul en régime permanent en réponse à un échelon de position.
- Temps de réponse à 5% = 0,15s.
- Marge de gain ≥ 6 dB , marge de phase $\geq 45^\circ$.

Vérifier si tous les critères ci-dessus sont respectés si $C(p) = 1$. Justifier vos réponses.

5. Le système est corrigé par un dispositif appelé filtre réjecteur. La pulsation propre du filtre réjecteur a été calée sur la pulsation de résonance ω_R du système non corrigé.

La fonction de transfert du correcteur est $C(p) = \frac{p^2 + 2z_1 \omega_R p + \omega_R^2}{p^2 + 2z_2 \omega_R p + \omega_R^2}$. z_1 et z_2 sont des coefficients

d'amortissement positifs et inférieurs à $\frac{\sqrt{2}}{2}$ et $z_1 < z_2$.

Donner l'allure du diagramme de Bode réel, en gain, du correcteur.

6. Sur l'annexe 2.2. sont tracés différents diagrammes du système corrigé :

- Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé.
- Diagramme de Black de la fonction de transfert en boucle ouverte du système corrigé, tracé sur l'abaque de Black-Nichols.
- Réponse indicielle (entrée unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé.

Conclure quant au respect des critères du cahier des charges définis à la question 4.. En fonction des diagrammes de Bode fournis à l'annexe 2. et de celui obtenu à la question 5., préciser l'apport de ce correcteur.

ANNEXE 2.

Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé

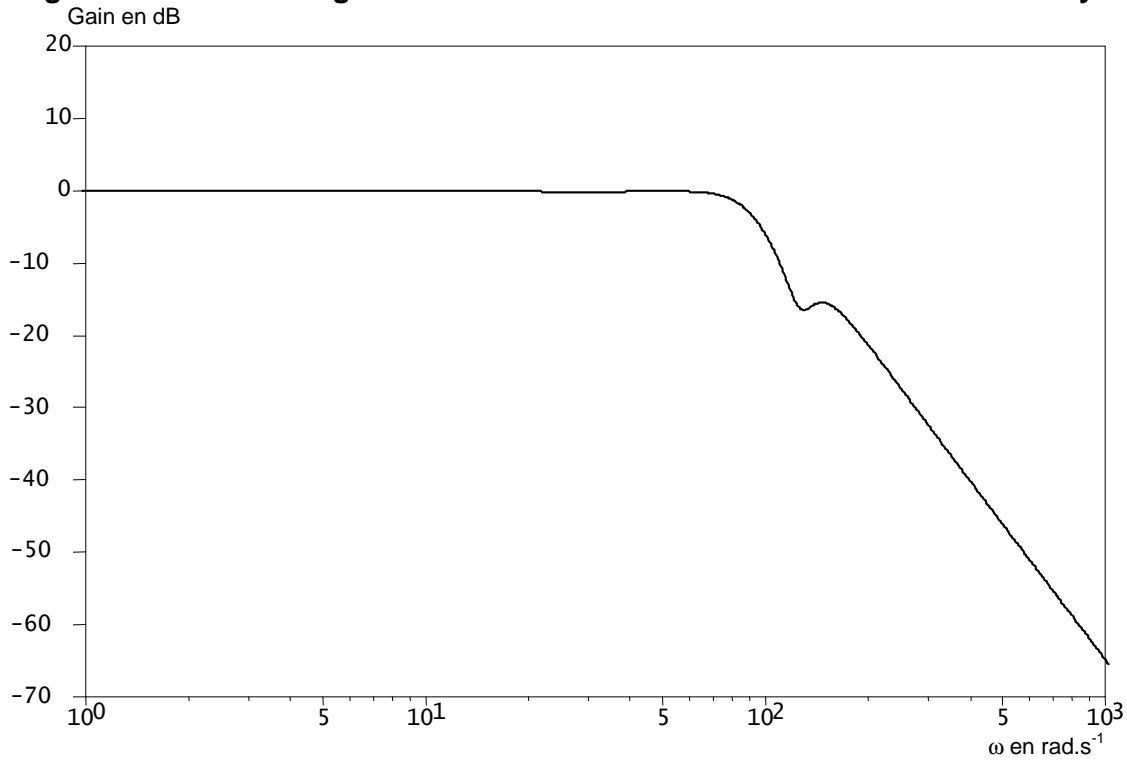
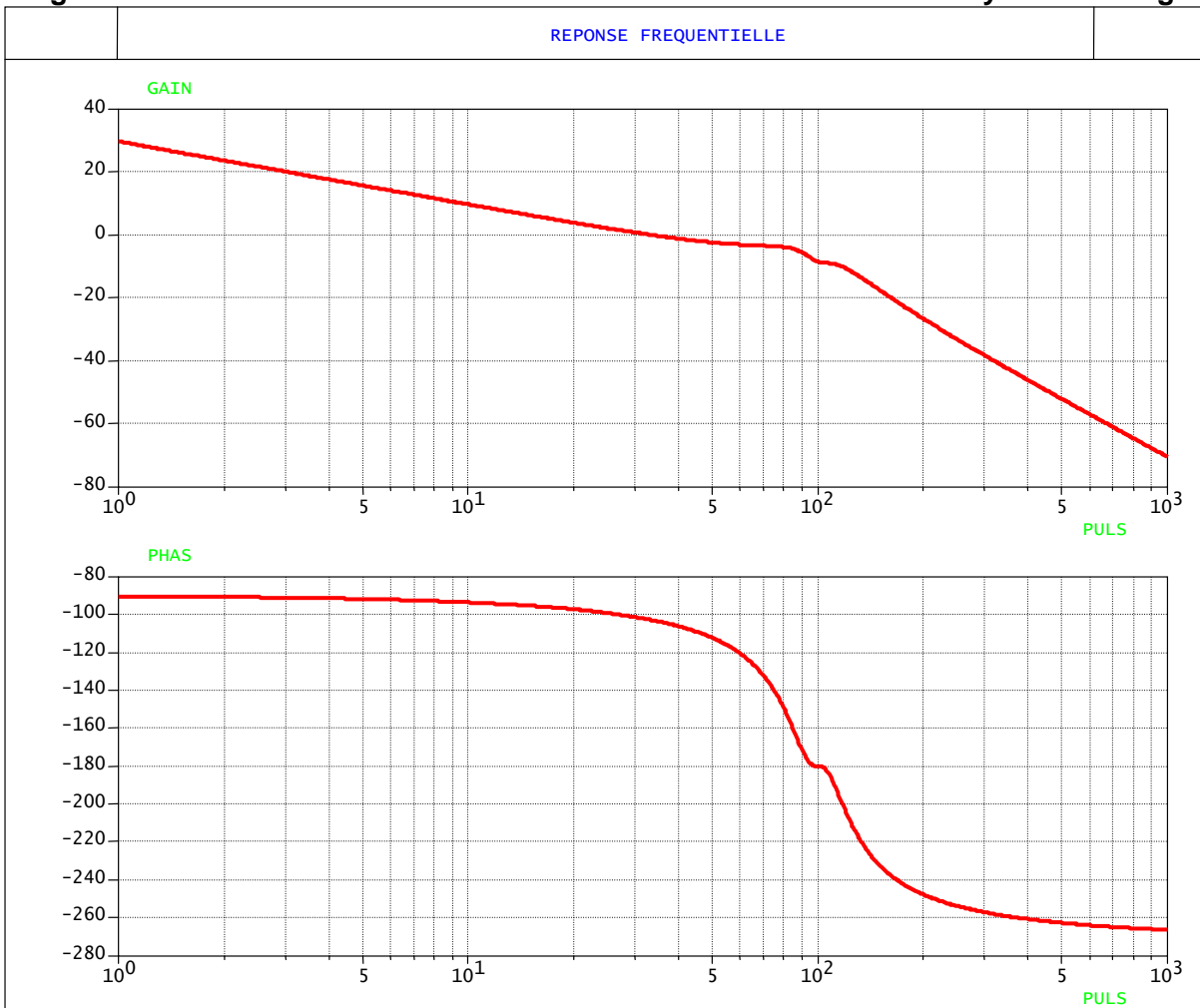


Diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte du système corrigé



Réponse indicielle (entrée unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé

