



TD – SLCI : performances des SLCI

**Télescope ASTROLAB**

Les télescopes motorisés se sont beaucoup démocratisés ces dernières années. Les modèles assez répandus de la société *MEADE* sont accessibles à des prix de quelques centaines d'euros, largement accessibles pour des amateurs.

La société *SET* a créé un système didactisé « *Astro-lab* » à partir du système réel *Meade ETX125EC* en photographie ci-contre. L'étude menée par la suite reflète l'état d'esprit de conception d'un tel système asservi, mais le cahier des charges proposé n'est pas celui du système réel.

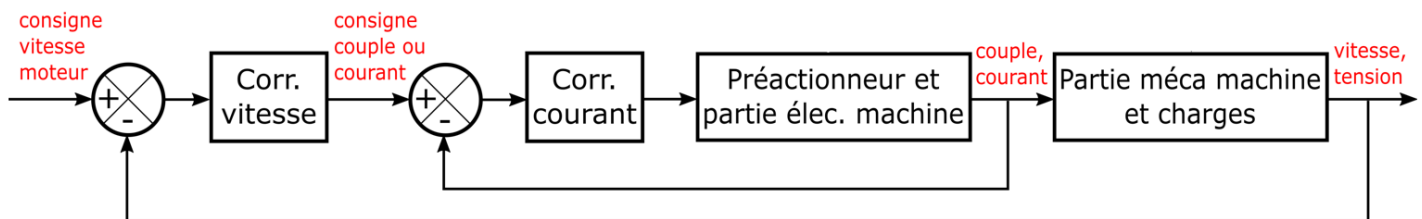


De façon traditionnelle, le système est piloté par trois boucles imbriquées :

- Une boucle externe en position (angle permettant de suivre un astre), donnant une consigne de vitesse.
- Une boucle intermédiaire en vitesse, déterminant l'accélération à donner au système
- Une boucle interne en courant (donc couple ou accélération), très rapide.

**Objectif :**

Le robot est déjà asservi en vitesse (les deux boucles intérieures) de la sorte :

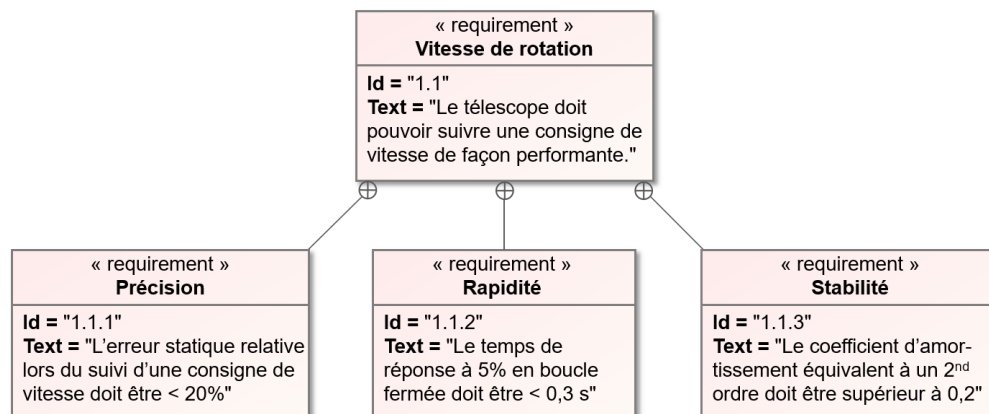


L'objectif de cette étude est double :

- Vérifier que cet asservissement interne répond au cahier des charges
- Puis proposer un modèle d'asservissement externe, et régler le correcteur.

**A/ Vérification du cahier des charges de l'asservissement interne en vitesse + courant**

Le cahier des charges de l'asservissement en courant est le suivant :

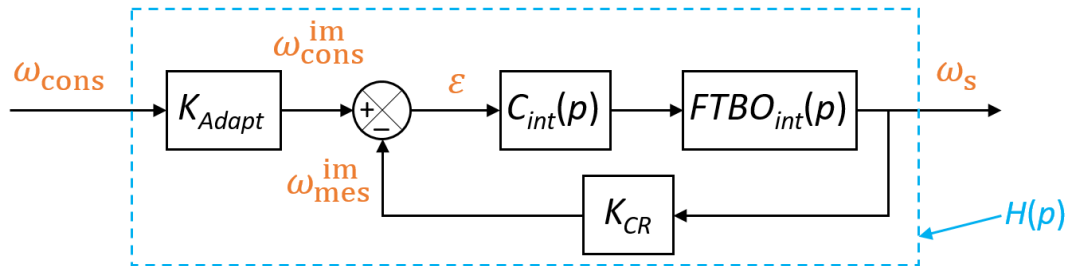


Afin de vérifier ce cahier des charges, une expérimentation est réalisée sur la **boucle interne fermée**, en envoyant un échelon de consigne  $V_0 = 3000$  tr/min. La vitesse est mesurée par un codeur incrémental dont l'information est traduite par un convertisseur CAN. À la fréquence d'utilisation du système, l'ensemble de cette chaîne de retour est équivalent à un gain  $K_{CR}$ .



TD – SLCI : performances des SLCI

Une image de la vitesse réelle  $\omega_{mes}^{im}$ , proportionnelle à cette dernière (dans la limite de la bande passante du capteur), est alors comparée à une image de la consigne  $\omega_{cons}^{im}$ , comme suit :



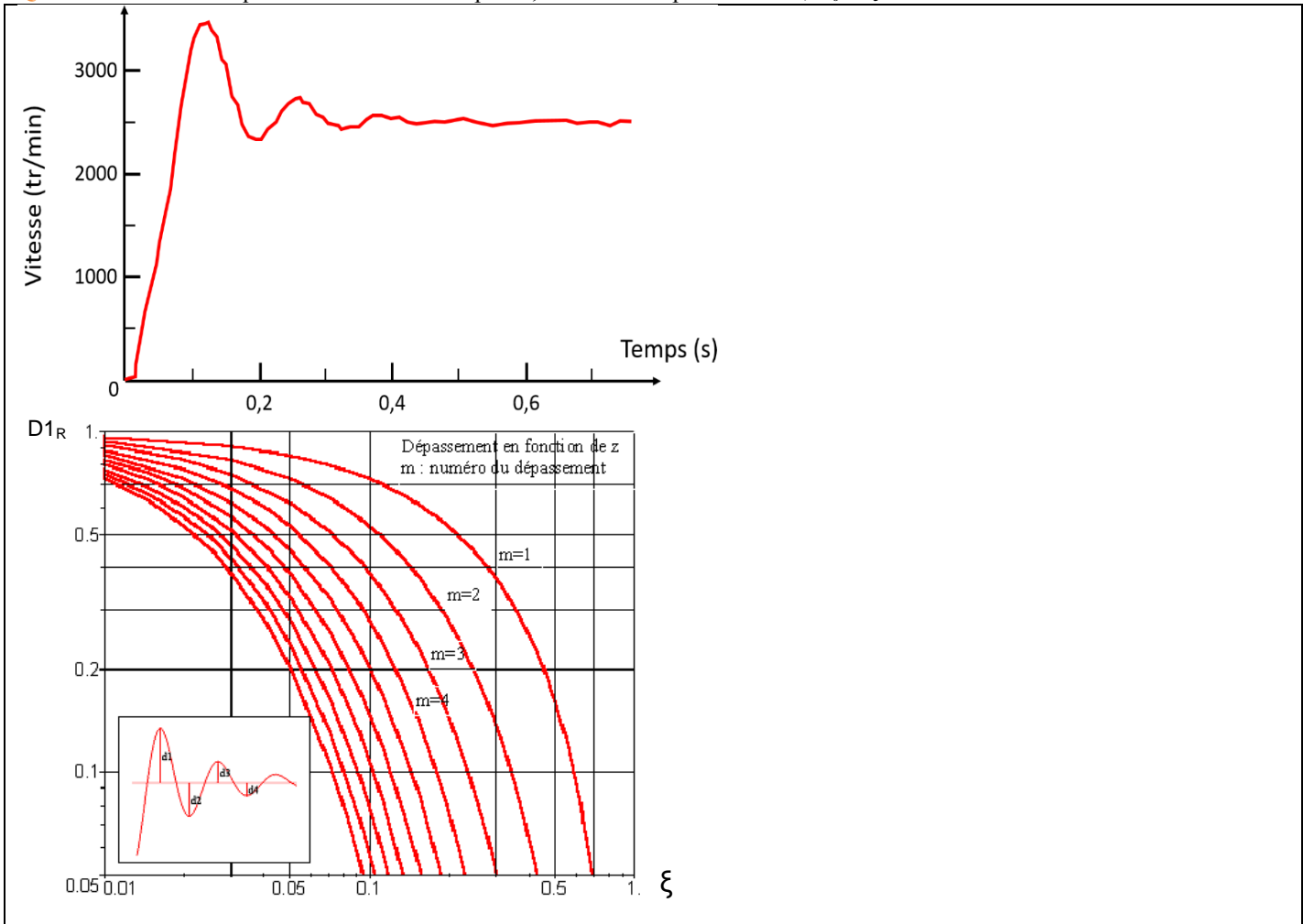
Q1 – Quelle valeur proposez-vous pour  $K_{Adapt}$  ?

On souhaite identifier le comportement de **toute cette boucle fermée** à un second ordre de la forme  $H(p) = \frac{K}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$ .

La réponse mesurée à un échelon de consigne  $V_0 = 3000$  tr/min est donné ci-dessous.

**Hypothèse** : on rappelle que la pseudo-pulsation du système pseudo-oscillant est  $\omega_p = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}$ , on supposera que  $\xi^2 \ll 1$  auquel cas  $\omega_p \approx \omega_0$ , ce qui vous permettra d'identifier approximativement la pulsation propre de cette FTBO.

Q2 – À l'aide de l'abaque et de la courbe de réponse, identifier les paramètres  $K$ ,  $\omega_0$  et  $\xi$  de ce second ordre.



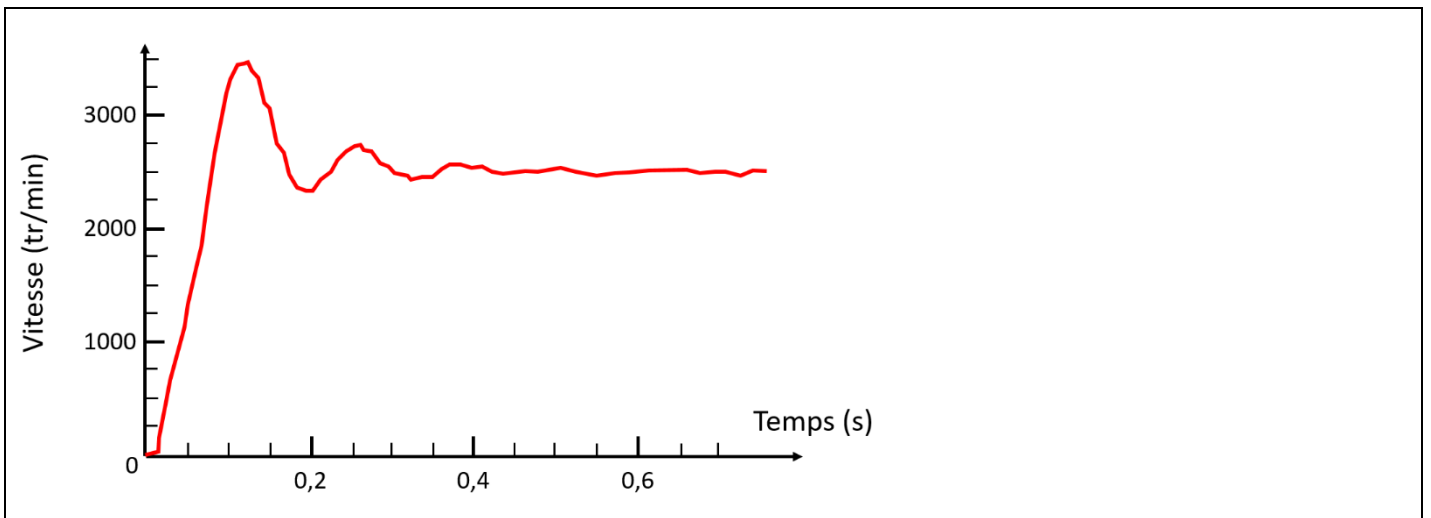


## TD – SLCI : performances des SLCI

Q3 – D'après la mesure obtenue du facteur d'amortissement  $\zeta$ , que vaut  $\zeta^2$  ? L'hypothèse formulée  $\zeta^2 \ll 1$  était-elle viable ?

Q4 – Rappeler l'expression de l'erreur statique  $\varepsilon_s$  pour une entrée échelon d'amplitude  $V_0$  sur un système de classe  $\alpha = 0$ . Faire l'application numérique : est-ce en accord avec le relevé sur la courbe expérimentale ? Pourquoi ?

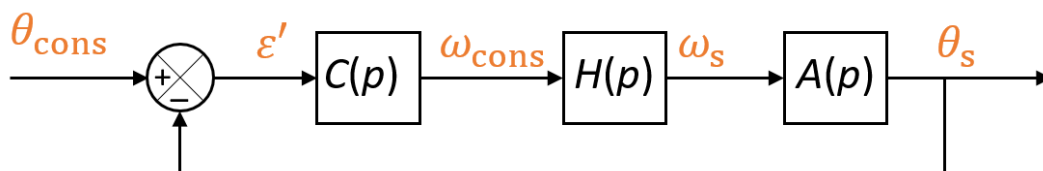
Q5 – En faisant clairement apparaître votre tracé, estimer le temps de réponse à 5% sur cette mesure en boucle fermée.



Q6 – Conclure quant aux exigences du cahier des charges.

### B/ Établissement de la boucle externe en position

La boucle interne identifiée est considérée comme une fonction de transfert « boîte noire » que nous allons désormais chercher à asservir en position.



La vitesse de rotation du télescope  $\omega_s(p)$  est traduite en position angulaire  $\theta_s(p)$  du télescope par le bloc  $A(p)$ .

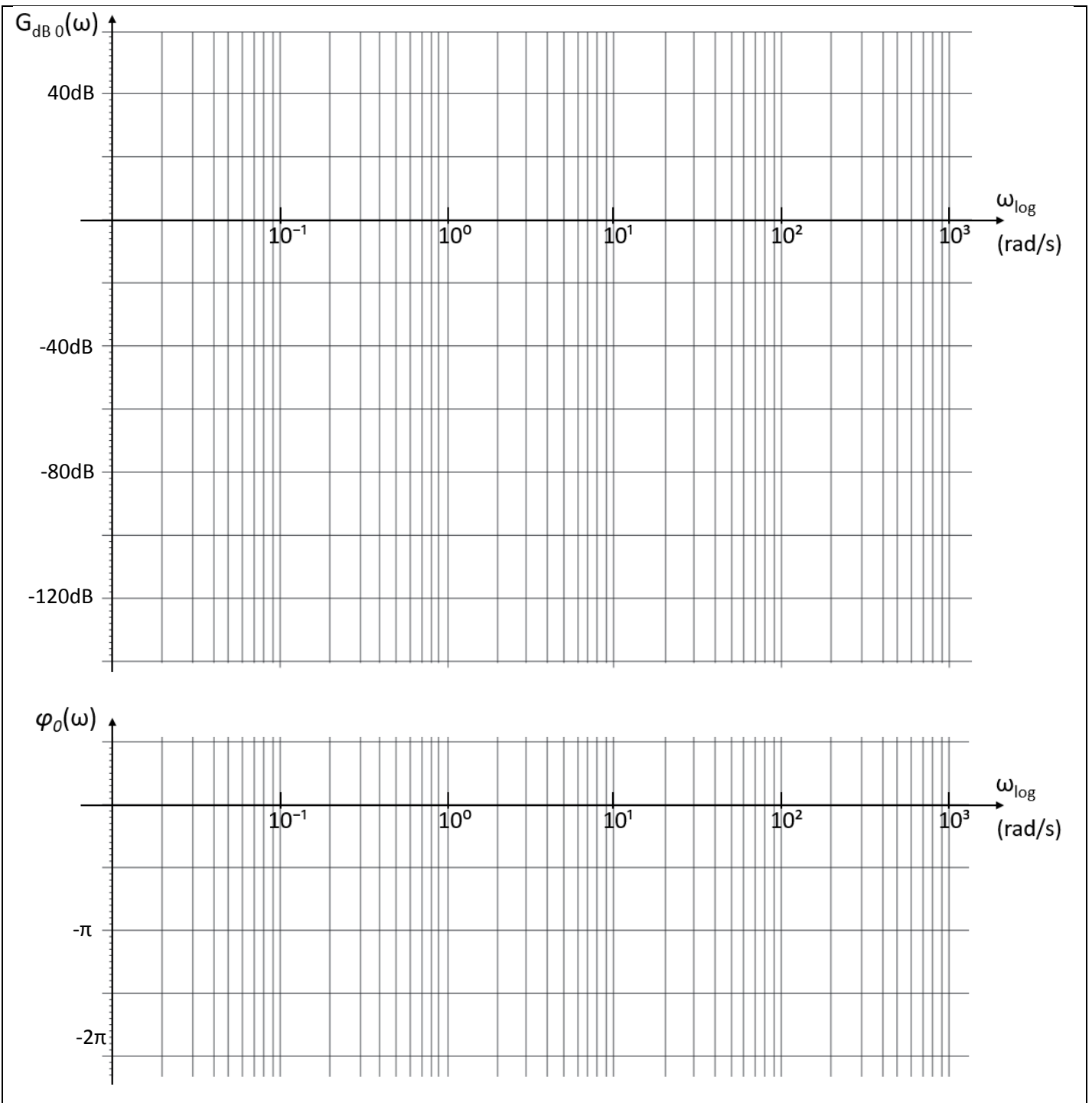


TD – SLCI : performances des SLCI

Q7 – Donner, par analyse physique, l'expression de la fonction de transfert  $A(p)$  en justifiant.

Supposons momentanément que le correcteur est unitaire  $C(p) = 1$ . Pour travailler graphiquement, il faut déterminer le diagramme de Bode de la FTBO de ce système corrigé :  $FTBO_0(p) = H(p) \times A(p)$ . L'indice «0» indique qu'on se réfère à la FTBO en retour unitaire.

Q8 – D'après vos résultats des questions 2 et 7, dessiner le diagramme de Bode **asymptotique** (en gain et en phase) de  $FTBO_0$  :  $G_{dB 0}(\omega)$  et  $\varphi_0(\omega)$ . Donnée :  $G_{dB}$  croise 0dB en  $\omega_{0dB} = 2$  rad/s.

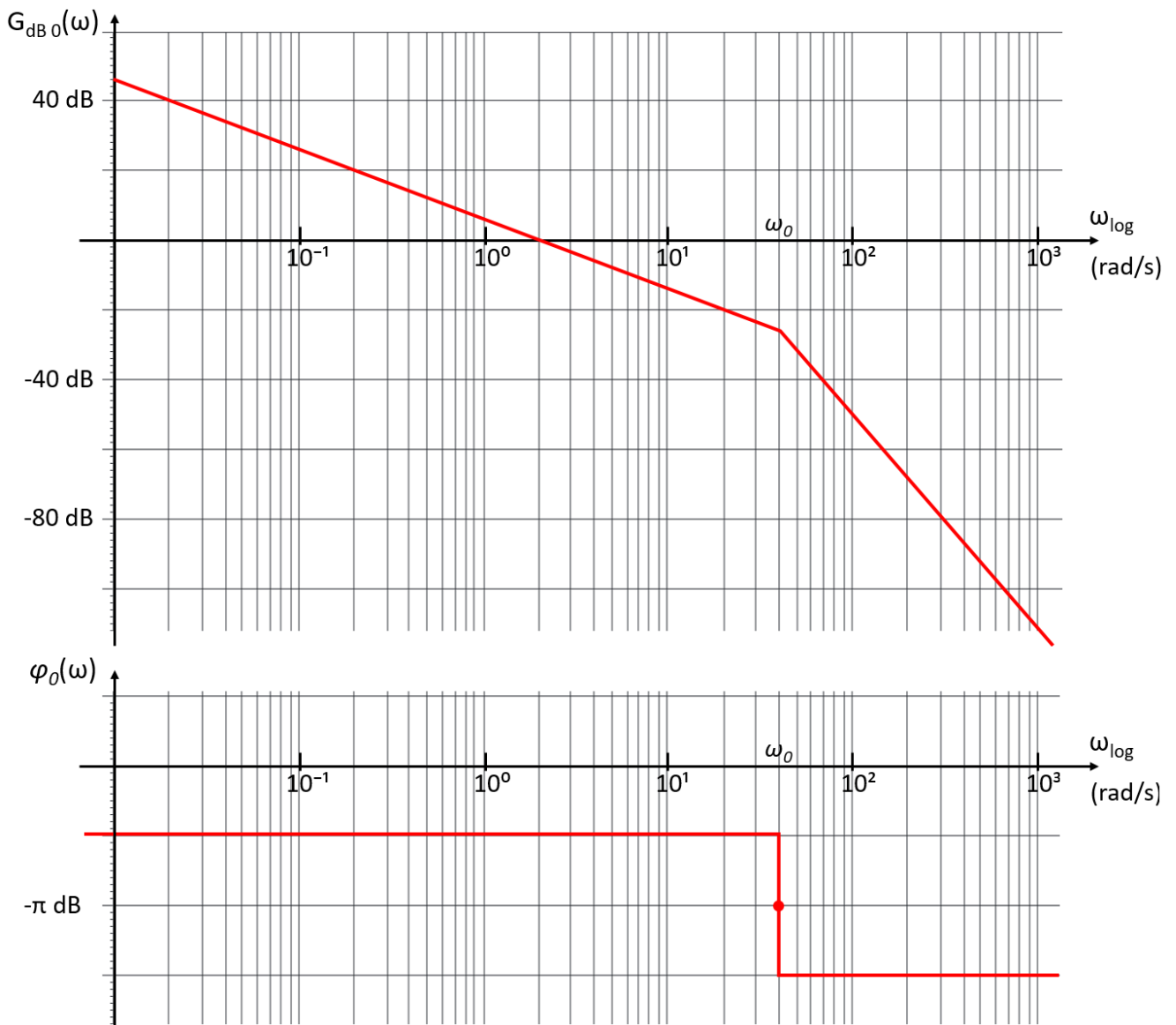




**C/ Réglage de la correction de la boucle externe en position**

En partie précédente, vous avez dû trouver le diagramme de Bode asymptotique suivant :

$$FTBO_0(p) = \frac{1}{p} \frac{K_{s0}}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0} p + \frac{p^2}{\omega_0^2}} \text{ avec } K_{s0} = 2, \frac{2\xi}{\omega_0} = 0.013 \text{ s et } \frac{1}{\omega_0^2} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^2.$$

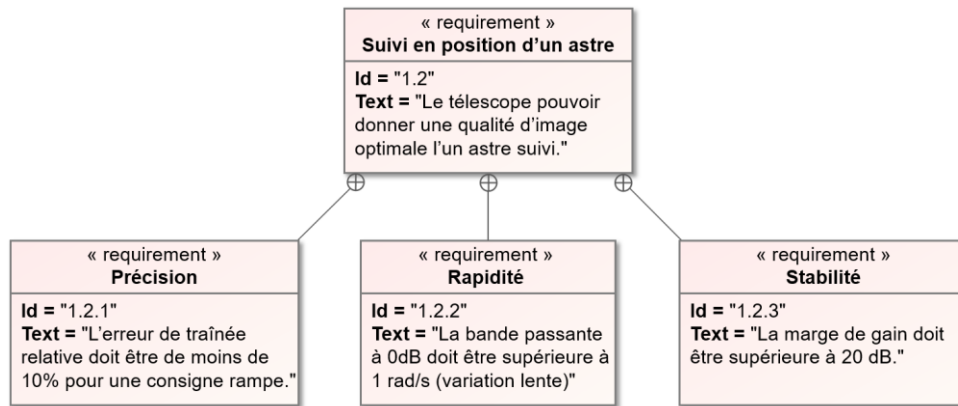


On rappelle que pour un second ordre  $\varphi = -\pi/2$  à la pulsation propre  $\omega_0$ . Ici, à cause de l'intégrateur, on aura donc  $\varphi(\omega_0 \approx 40 \text{ rad/s}) = -\pi$ . On donne le gain statique de la FTBO<sub>0</sub> à correction unitaire,  $K_{s0} = 2$ . Donnée :  $20 \log(2) = 6 \text{ dB}$ .



## TD – SLCI : performances des SLCI

En pratique, pour suivre un astre, le système n'est pas piloté en vitesse mais en position avec une consigne en rampe. Les exigences propres à cet asservissement sont données ci-dessous :



Le correcteur proposé est un correcteur **proportionnel** de la forme  $C(p) = K_c$ .

**Q9** – Quelle est la classe  $\alpha$  de la FTBO corrigée, et son gain statique  $K_s$  ? Exprimer alors d'après le cours l'erreur de traînée relative  $\varepsilon_s/V_0$  pour une entrée rampe de la forme  $V_0 t$ .

**Q10** – À quelle condition sur  $K_c$  l'exigence 1.2.1 du cahier des charges est-elle validée (donner une valeur approchée) ?  
Rmq : une inégalité est attendue comme résultat de cette question.

**Q11** – Pour se placer à la limite du niveau de l'exigence 1.2.2, la courbe de gain doit-elle être translatée vers le haut ou vers le bas ? En annotant clairement le diagramme de la page précédente, déterminer de combien de dB.

**Q12** – À quelle condition sur le gain  $K_c$  cette même exigence 1.2.2 est-elle validée ? Une inégalité est attendue.

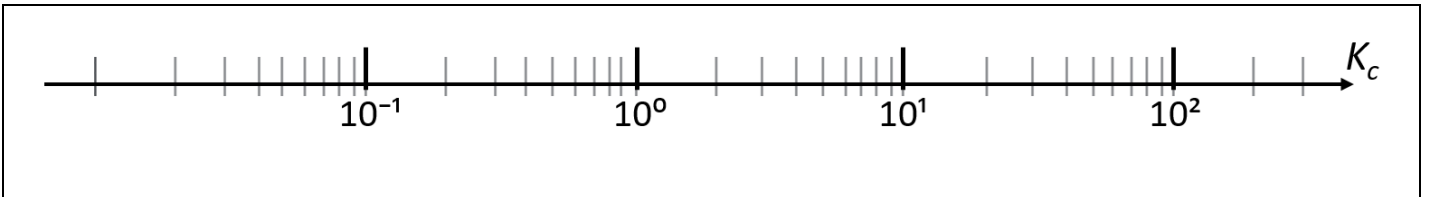
**Q13** – Pour se placer à la limite du niveau de l'exigence 1.2.3, la courbe de gain doit-elle être translatée vers le haut ou vers le bas ? En annotant clairement le diagramme de la page précédente, déterminer de combien de dB.



## TD – SLCI : performances des SLCI

**Q14** – À quelle condition sur le gain  $K_c$  cette même exigence 1.2.2 est-elle validée ? Une inégalité est attendue.

**Q15** – Indiquer en **trois couleurs différentes** (préciser la légende) les plages de  $K_c$  sur lesquelles chaque exigence est validée. Est-il possible de trouver un compromis où les trois exigences du cahier des charges sont validées simultanément ?



**Q16** – De façon générale, pour une correction proportionnelle comme ici, quel effet a une **augmentation du gain** sur ...

- La PRÉCISION : Positive / Négative
- La RAPIDITÉ : Positive / Négative
- La STABILITÉ : Positive / Négative

(rayer la mention inutile)