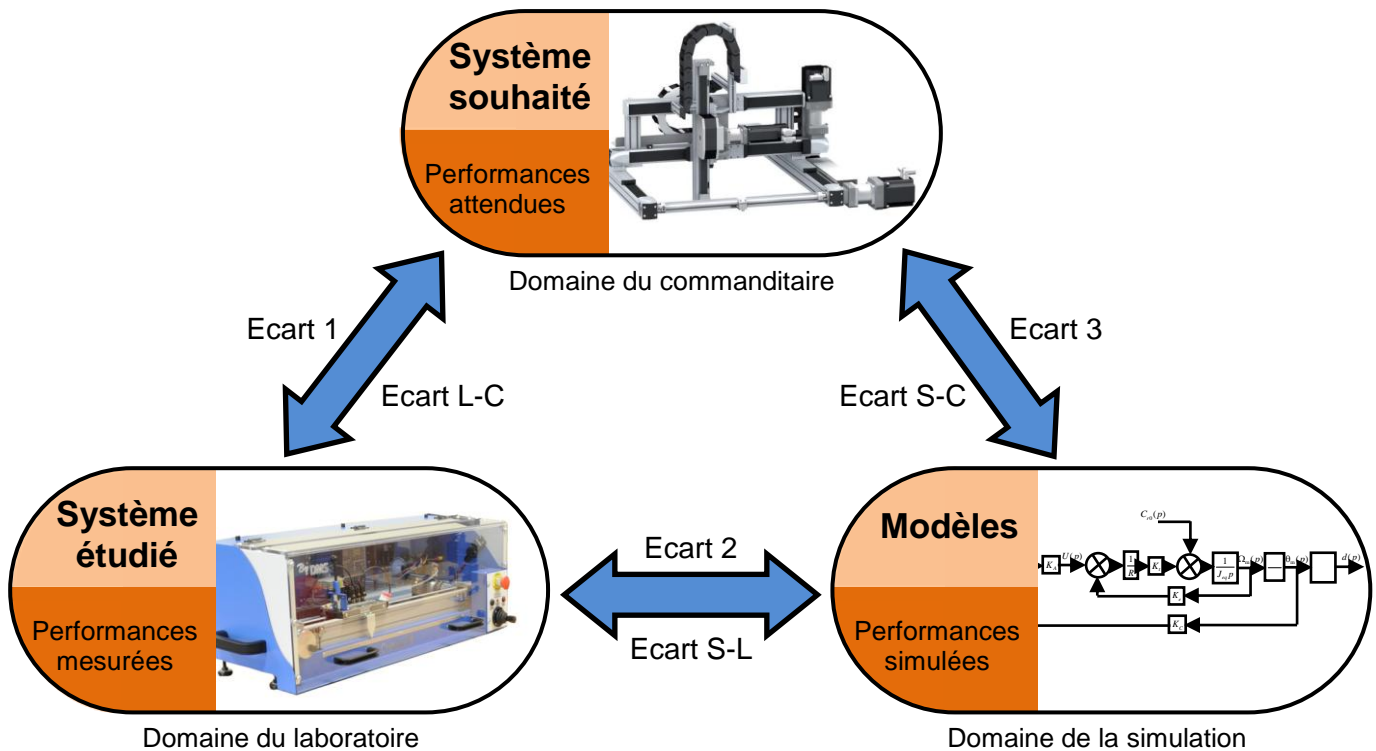


D'après Roland Marrou lycée Claude Bernard

## I. Présentation et mise en évidence de la problématique

### 1. Démarche de l'ingénieur



### 2. Problématique

Les objectifs du TP sont :

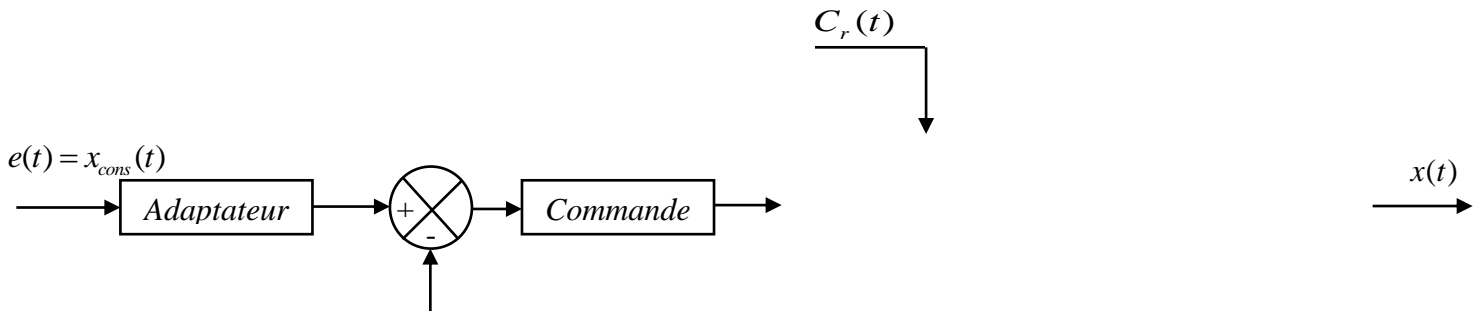
- Valider le modèle de connaissance associé à l'asservissement en position du système.
- Valider le modèle identifié à l'aide du logiciel Scilab.
- Découvrir et vérifier les liens entre classe, gain statique du correcteur et précision du système modélisé.
- Découvrir et vérifier le lien entre les valeurs des marges et la stabilité du système.

## II. Travail demandé

### 3. Construction d'un modèle de connaissance

#### a. Schéma fonctionnel

- 1) En vous aidant de la description des chaînes d'énergie et d'information du document-ressources, compléter le schéma fonctionnel suivant :



On note :

- $x_{cons}$  la consigne de position du chariot,
- $C_r$  le couple résistant ramené au niveau du moteur,
- $x$  la position du chariot.

#### b. Modèle de connaissance

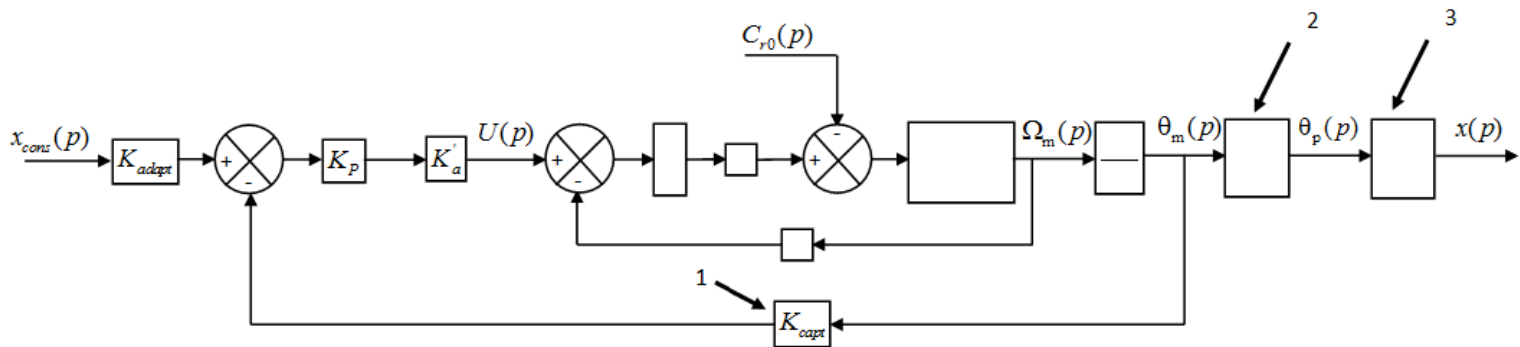
Le système de l'axe asservi Control'X est organisé selon la structure habituelle des systèmes asservis en position. La commande d'axe étudiée n'est cependant pas réalisée par un asservissement de type continu mais de type « échantillonné » (ou numérique) pour des simples raisons de coût et de facilité de réglage. Dans ce cas, la commande n'est pas calculée de façon continue, mais par « pas » de durée  $T_e$  (période d'échantillonnage). Dans l'hypothèse d'une simple correction proportionnelle (étudiée ici) et si la fréquence d'échantillonnage est suffisamment élevée, le système pourra néanmoins être considéré comme analogique.

La décomposition Chaîne d'Energie/Chaîne d'Information permet de proposer le modèle suivant pour le système.

On note :

- $x_{cons}$  la consigne de déplacement du système notée  $e$  sur le logiciel
- $u$  la tension d'alimentation du moteur
- $\omega_m$  la vitesse de rotation du moteur notée  $N$  sur le logiciel
- $\theta_m$  l'angle de rotation du moteur notée  $q$  sur le logiciel
- $x$  la valeur du déplacement en sortie
- $v$  la valeur de la vitesse du chariot en sortie

Le schéma-bloc précédent peut se mettre sous la forme du schéma-bloc suivant :

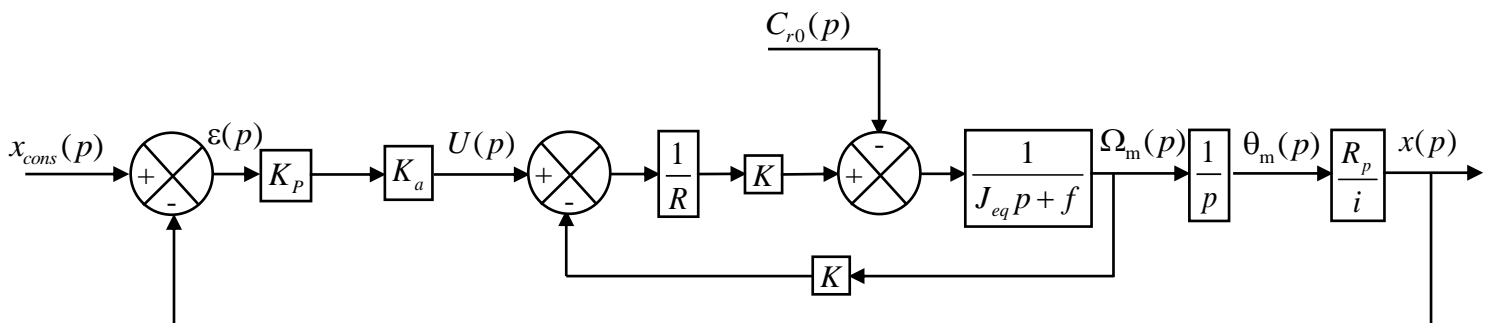


- 2) Repérer à quels constituants physiques sont associés les blocs ou les ensembles de blocs proposés ci-dessus dans le modèle de connaissance.
- 3) Grâce à vos connaissances, et en vous aidant du dossier technique, déterminer les fonctions de transfert des blocs repérés 1, 2 et 3.
- 4) Les équations du moteur à courant continu sont proposées ci-dessous, compléter alors les 4 fonctions de transfert correspondants au moteur.

$$\begin{cases} u(t) = R.i(t) + e(t) \\ C_m(t) = K.i(t) \end{cases} \text{ et } \begin{cases} C_m(t) - C_r(t) = J_{eq} \frac{d\omega(t)}{dt} + f\omega(t) \\ e(t) = K.\omega(t) \end{cases}$$

L'inductance du moteur sera négligée et le couple résistant sera supposé constant et noté  $C_{r0}$ . Compléter alors les 4 blocs du moteur à courant continu du schéma-bloc précédent.

- 5) On souhaite avoir un écart statique  $\varepsilon(t)$  nul lorsque  $x(t) = x_{cons}(t)$ . En déduire alors l'expression de  $K_{adapt}$ .
- 6) Montrer alors que la schéma-bloc peut se mettre sous la forme du schéma à retour unitaire suivant.



#### 4. Validation du modèle mis en place en boucle fermée

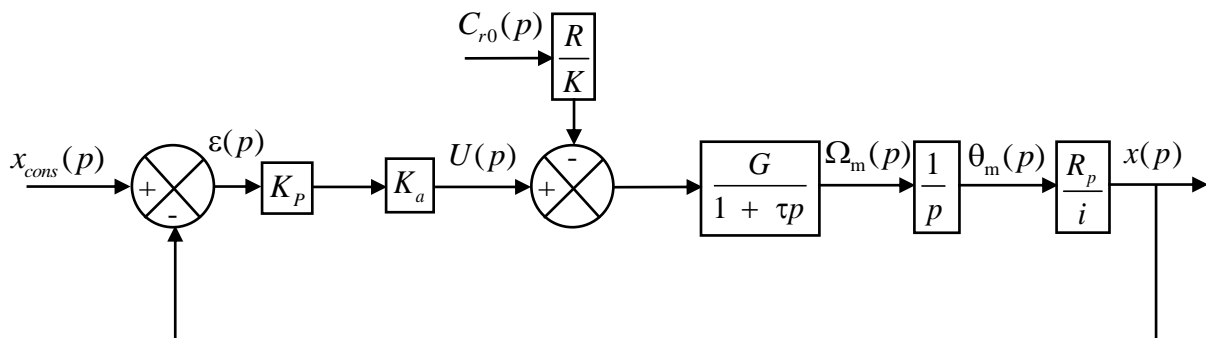
Lancer Scilab et le module Xcos et ouvrir le fichier ControlX.zco. Le schéma élaboré est le schéma-bloc précédent avec les valeurs identifiées à partir des résultats expérimentaux permettant de prendre en compte les saturations. Les valeurs numériques ont été renseignées dans l'onglet "Modifier le contexte".

L'annexe 1 propose la réponse expérimentale en position pour une entrée de 200 mm et un correcteur  $K_p$  de 1.

- 7) Lancer la simulation et en comparant aux résultats expérimentaux en annexe 1, valider le modèle mis en place.

#### 5. Etude de la précision pour une perturbation nulle

- 8) Montrer que le schéma-bloc peut se mettre sous la forme suivante et proposer les expressions des grandeurs  $G$  et  $\tau$ . Vous ferez l'application numérique avec  $K_a = 4 \text{ V/mm}$ .



- 9) Donner l'expression de l'écart  $\varepsilon(p)$  dans le cas où la perturbation est négligée en fonction de l'entrée  $x_{cons}(p)$  et des différentes fonctions de transfert.
- 10) Donner l'expression de l'écart statique  $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t)$  pour les trois entrées suivantes :
  - $x_{cons}(t) = X_0 \cdot u(t)$  avec  $X_0 = 100 \text{ mm}$
  - $x_{cons}(t) = V_0 \cdot t \cdot u(t)$  avec  $V_0 = 500 \text{ mm/s}$
  - $x_{cons}(t) = \gamma_0 \cdot t^2 \cdot u(t)$  avec  $\gamma_0 = 10000 \text{ mm/s}^2$
- 11) Reprendre votre modèle Scilab et imposer successivement les trois entrées précédentes, mesurer la valeur de l'écart et comparer avec vos expressions déterminées à la question précédente.
- 12) Passer sur le système réel et imposer successivement les 3 entrées suivantes et comparer avec vos résultats précédents :
  - $x_{cons}(t) = X_0 \cdot u(t)$  avec  $X_0 = 100 \text{ mm}$
  - $x_{cons}(t) = V_0 \cdot t \cdot u(t)$  avec  $V_0 = 500 \text{ mm/s}$  avec une position finale de 200 mm
  - trapèze de vitesse avec :
    - une position de 300 mm
    - une vitesse de 1000 mm/s
    - une accélération de 10000 mm/s<sup>2</sup>.

## 6. Etude de la précision pour une perturbation constante et une entrée nulle

- 13) A partir du schéma de la question 8, donner l'expression de l'écart statique pour une entrée nulle et une perturbation constante d'amplitude  $C_{r0}$  avec  $C_{r0} = 0,158 \text{ Nm}$
- 14) Imposer ces mêmes conditions sur Scilab et comparer la valeur de l'écart avec celle déterminée précédemment.
- 15) Sur le système réel, imposer une entrée échelon :  $x_{cons}(t) = X_0 u(t)$  avec  $X_0 = 100 \text{ mm}$  et mesurer la valeur e la composante de l'écart dû à la perturbation.

## 7. Précision avec un correcteur proportionnel intégral

On choisit maintenant de placer un correcteur intégral de la forme:  $C(p) = \frac{K_p(1 + \tau_i p)}{p}$  avec  $\begin{cases} K_p = 10 \text{ s}^{-1} \\ \tau_i = 0,1 \text{ s} \end{cases}$

- 16) Reprendre les questions des parties 5 et 6.
- 17) Compléter alors le tableau suivant avec les valeurs correspondantes de l'écart pour une perturbation nulle. Le terme  $\alpha$  représente la classe du système, c'est à dire le nombre d'intégrateurs de la boucle ouverte.

		$\alpha$ : classe du système		
		0	1	2
Entrées du système	$x_{cons}(t) = X_0 u(t)$			
	$x_{cons}(t) = V_0 t u(t)$			
	$x_{cons}(t) = \gamma_0 t^2 u(t)$			

- 18) Le document en annexe 2 propose la consigne en position (bleu) et la position (vert) pour une consigne trapézoïdale en vitesse pour un correcteur  $C(p) = K_p$  avec  $K_p = 0,25$ . En utilisant le tableau précédent, commenter l'écart entre consigne et position. Proposer sans calcul, la réponse en position pour la même entrée mais avec  $K_p = 0,5$ .
- 19) On peut observer un petit écart en valeur finale (très peu visible) de 0,4 mm. En vous servant des résultats de la partie 6, proposer une explication physique permettant de justifier cet écart.

## 8. Etude de la réponse fréquentielle en boucle ouverte

- 20) Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte.

- 21) Proposer sur le document réponse de l'annexe 2, la réponse fréquentielle asymptotique en boucle ouverte sur les diagrammes de Bode pour  $K_p = 1$ .
- 22) Ouvrir avec Scilab le fichier ControlX\_freq.zcos, lancer la simulation et comparer votre tracé à celui de la modélisation.

## 9. Définition de la stabilité

On définit la stabilité d'un système à partir des marges de phase et des marges de gain :

Marge de gain :

Sur le tracé de Bode de la FTBO, on se place à  $\omega$ , tel que :  $\varphi(\omega) = -180^\circ$ .

$$MG = -H_{dB}(\omega)$$

Les cahiers des charges ou diagrammes d'exigences imposent habituellement des valeurs comprises entre 10 et 20dB.

Marge de phase :

Sur le tracé de Bode de la FTBO, on se place à  $\omega$ , tel que :  $H_{dB}(\omega) = 0$  dB.

$$M\varphi = 180^\circ + \varphi(\omega)$$

Les cahiers des charges ou diagrammes d'exigences imposent habituellement des valeurs comprises entre 30 et 80°.

Pour qu'un système soit stable d'un point de vue théorique, les marges doivent être obligatoirement positives.

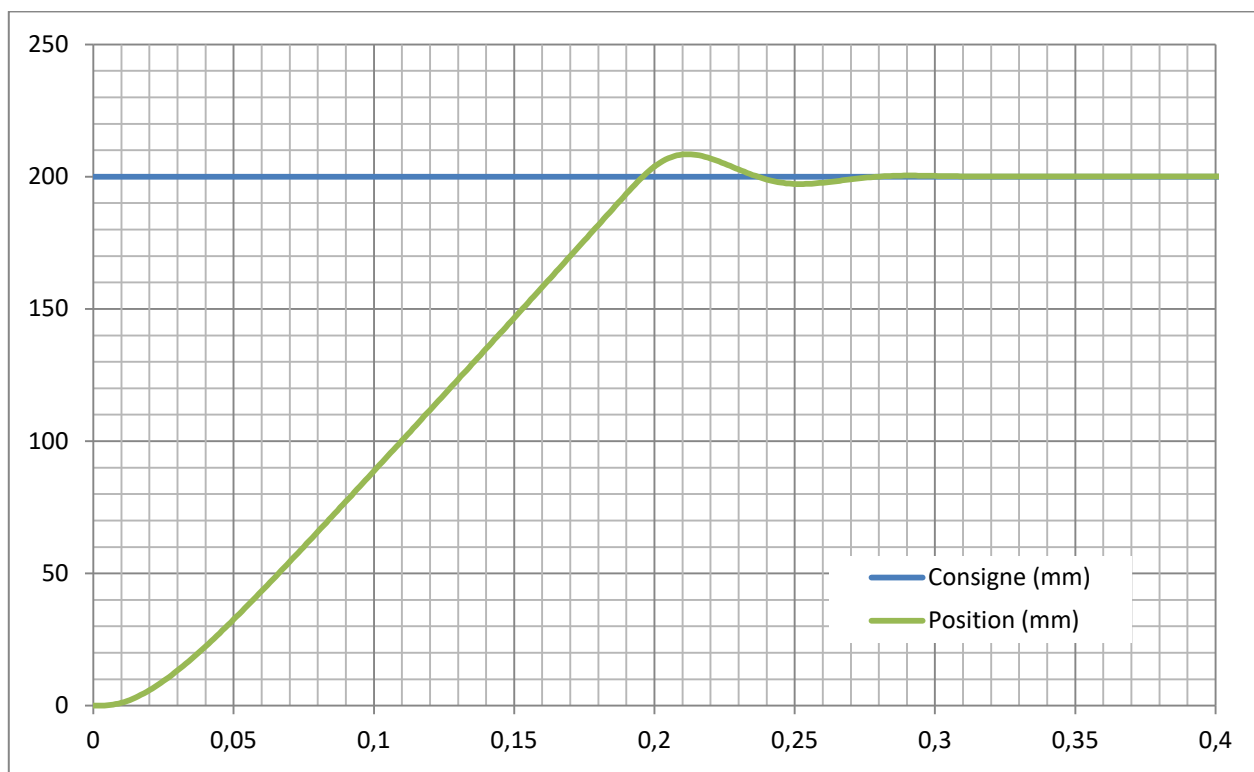
Les figures proposées en annexe 4 montre la mesure des marges de gain et de phase sur le tracé fréquentiel en boucle ouverte. La marge de gain a été tracée en rouge et la marge de phase en vert.

## 10. Influence du correcteur proportionnel sur la stabilité

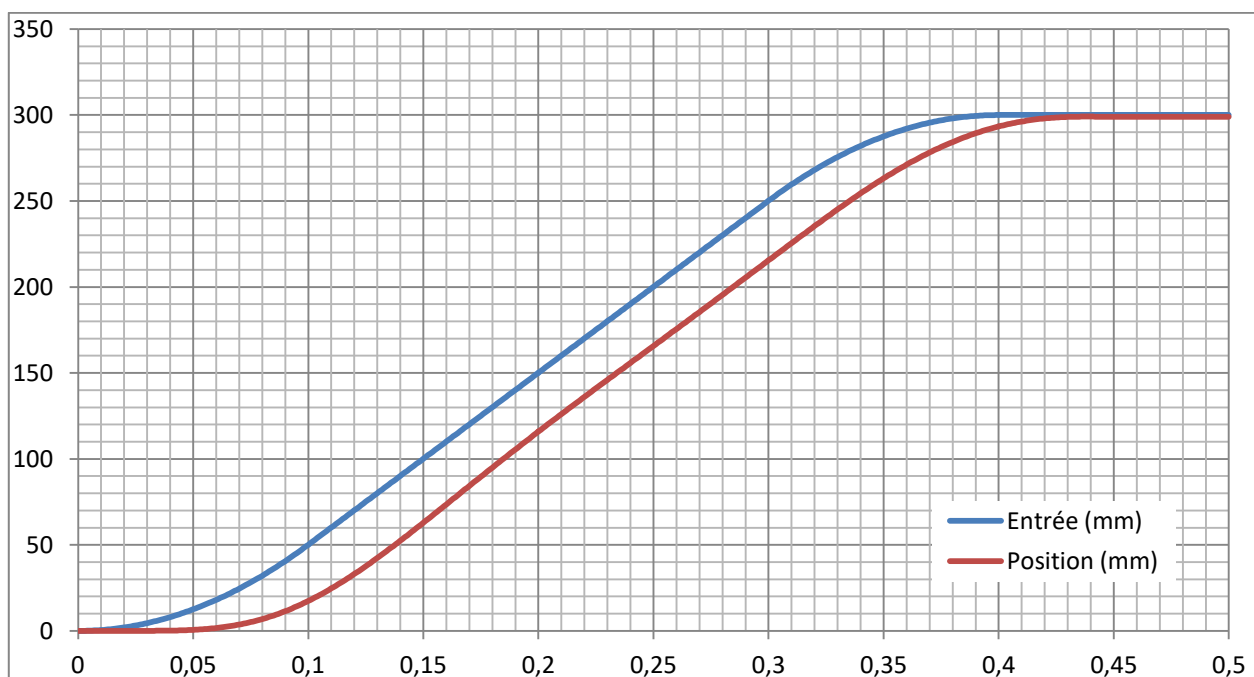
- 23) Sur le tracé de Bode obtenu à l'aide la modélisation du fichier ControlX\_freq.zcos, mesurer les valeurs des marges de gain et de phase pour  $K_p = 1$ .
- 24) Faire varier la valeur de  $K_p$ , en prenant successivement les valeurs 0.5, 2, 5 et 10 et mesurer les marges. Qu'observe-t-on pour la réponse temporelle. Faites le lien entre les valeurs des marges et la stabilité du système.
- 25) Passer sur le système réel et imposer les mêmes valeurs pour  $K_p$ . Commenter les différences entre le système réel et la modélisation en termes de stabilité.

## III. Annexes

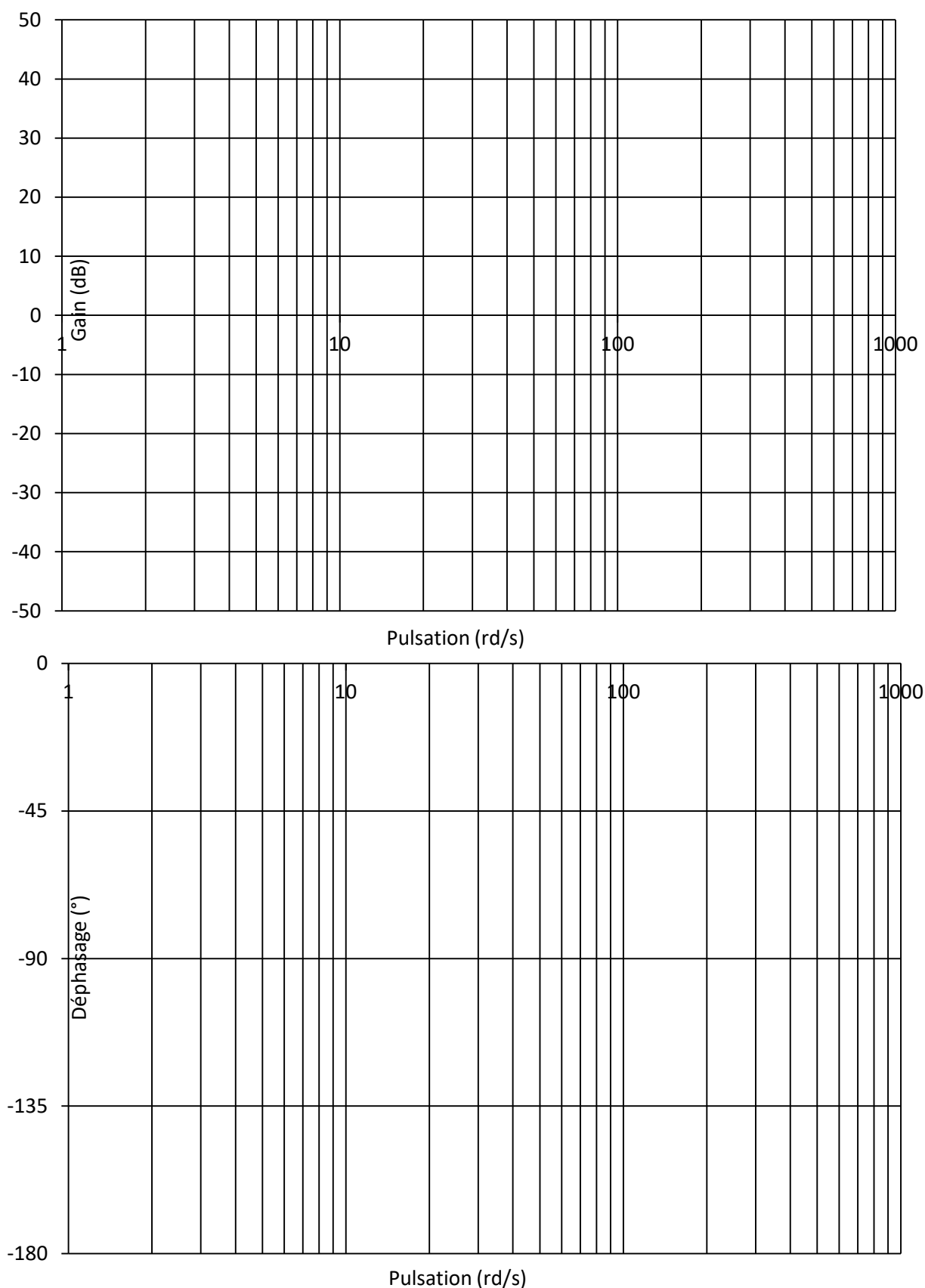
### 11. Annexe 1 : réponse expérimentale en position pour une entrée échelon de 100 mm.



### 12. Annexe 2 : réponse expérimentale en position pour une entrée trapézoïdale en vitesse.



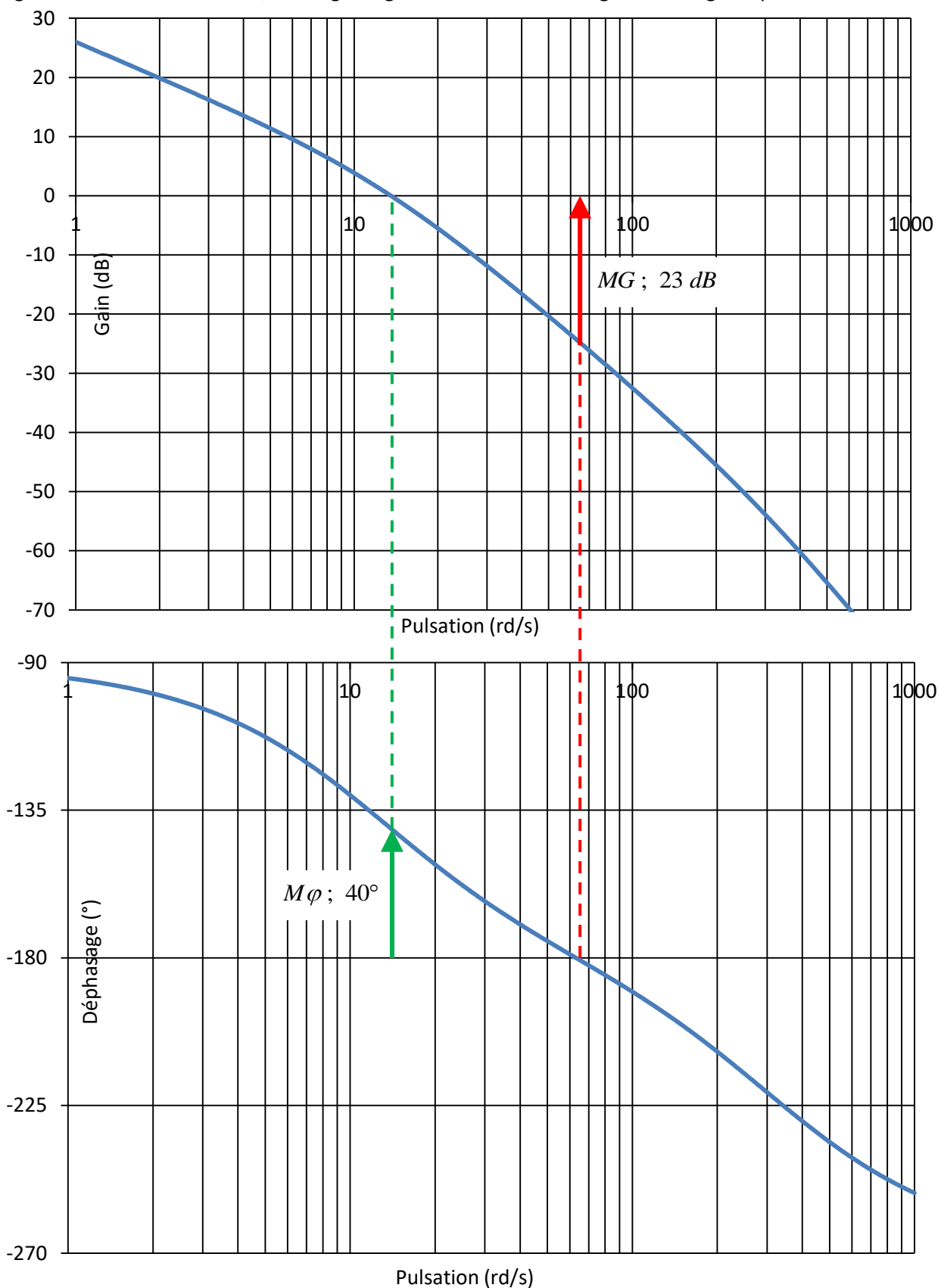
## 13. Annexe 3 : document-réponse pour le tracé de Bode en boucle ouverte.





## 14. Annexe 4 : exemple de la mesure des marges sur un tracé fréquentiel en boucle ouverte.

Sur les figures suivantes d'une FTBO, la marge de gain a été tracée en rouge et la marge de phase en vert :

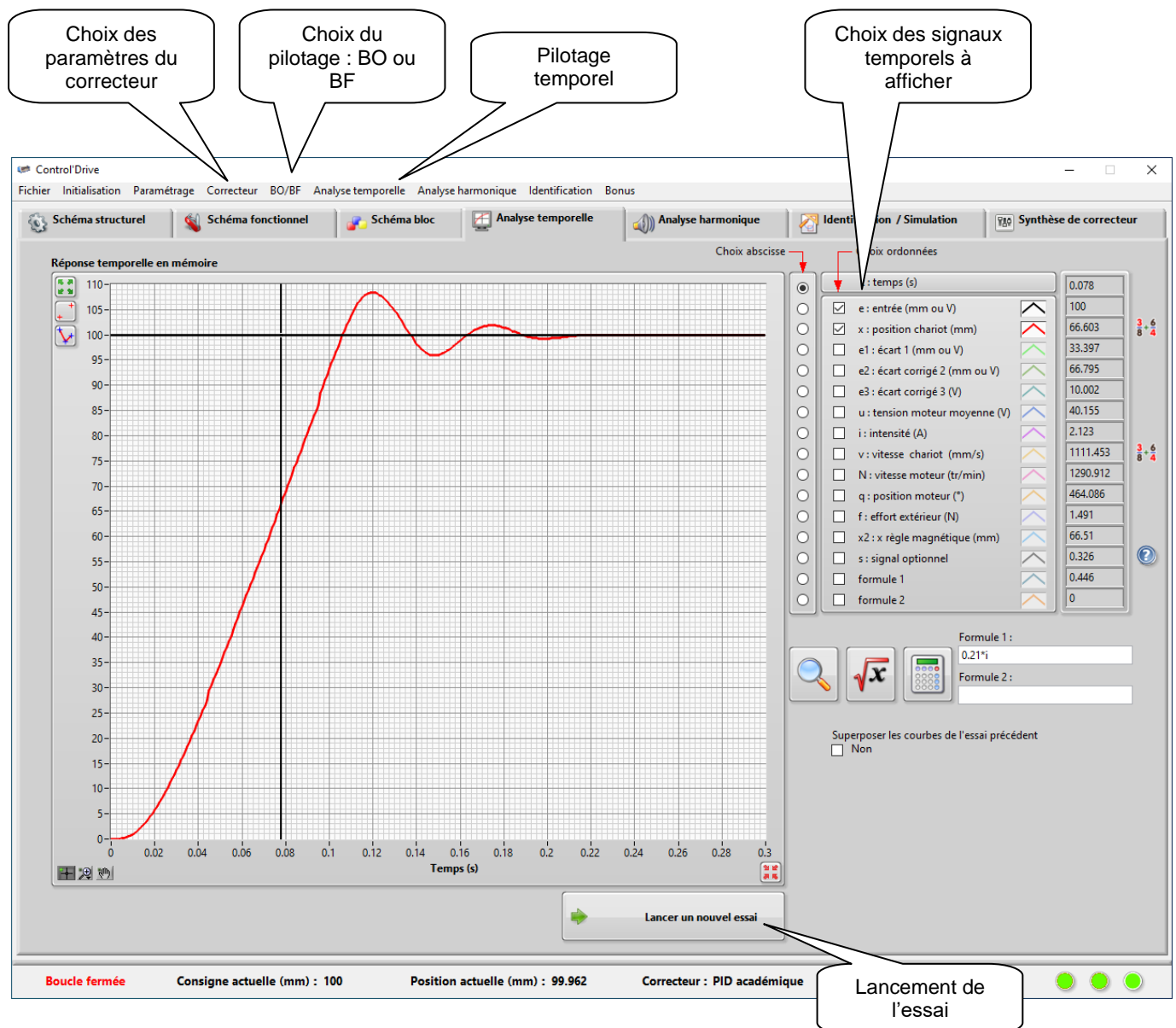


## 15. Annexe 4 : pilotage de l'axe Control'X.

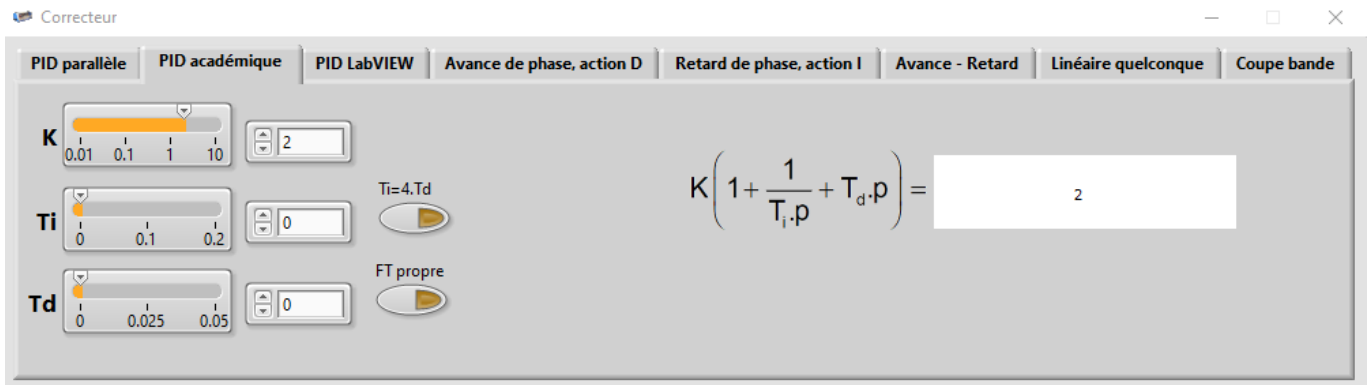
Allumer le banc Control'X avec le bouton situé sur la face arrière et armer le pilotage avec le bouton vert situé à droite sur la face avant.



Lancer le logiciel Control'Drive . Le logiciel affiche le tracé précédent dont vous ne tiendrez pas compte.



Choisir dans l'onglet correcteur, un correcteur proportionnel de valeur 2 :



Choisir un pilotage en Boucle Fermée.

Activer l'onglet Analyse temporelle, et afficher la consigne  $e$  (ou  $x_{cons}$ ), la position  $x$  et la tension moteur  $u$ .

Sélectionner « Lancer un nouvel essai » :

