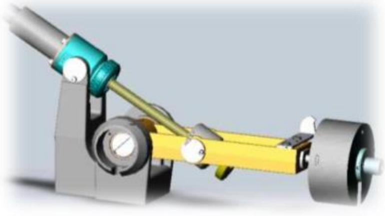


Travaux pratiques
- Modélisation SLCI -
système : bras robot maxpid

Objectifs du TP :

- Modéliser les différents composants de l'axe complet
- Evaluer l'influence du correcteur sur les performances du système.

1ère partie : Présentation et Mise en évidence de l'asservissement

☞ **Manipulation 1 :**

- Allumer le système (bouton rouge en bas sur le côté gauche)
- Débloquer l'arrêt d'urgence
- Lancer le logiciel **MaxPid** (sous Windows)
- Visualiser rapidement les vidéos de présentation : PLANECO
- Voyager à travers le logiciel pour découvrir les informations fournies et les fonctionnalités de l'interface.

☞ **Manipulation 2 : grandeur pilotée**

- Coucher le système (avec délicatesse!) : le plan d'évolution est horizontal et le bras est chargé avec deux masses de 650 g chacune
- Vérifier que la connexion est établie : bouton [Connexion] sur [On]
- Cliquer sur [PID] et mettre le système en fonctionnement **non asservi** (case [MAXPID Asservi] non cochée)
- Cliquer sur [Travailler avec Maxpid] puis [Schéma cinématique animé]
- Au moyen d'un tournevis appuyant sur l'extrémité du bras, essayer de modifier la position du bras (numéroté **5)**.

Question n°1 : *à l'aide du paramétrage du schéma cinématique disponible sur le logiciel, définir précisément la variable $\theta(t)$ qui est la grandeur pilotée du système.*

- Positionner le bras **5** (à l'aide du tournevis) de telle sorte que θ = 15° et relever lentement le système pour qu'il soit vertical. Refaire la même expérience avec θ = 50°.

Question n°2 : *Que constate-t-on ? justifier vis à vis du système vis/écrou à billes utilisé (voir document Tp SLCI Maxpid Ressources)*

☞ **Manipulation 3 : influence de la perturbation en effort**

- Quitter le menu [Schéma cinématique animé]
- Cliquer sur [PID] et mettre le système en fonctionnement **asservi** (case [MAXPID Asservi] cochée)

Avec : Gain proportionnel = 11
Gain intégral = 0
Gain dérivé = 0 et valider.

- Dans [Travailler avec Maxpid] / [Réponse à une sollicitation] cocher les variables consigne et position
- choisir un [pas de déplacement] de 20° en partant d'une position initiale de l'ordre de 25°

- Lancer un [Echelon de position].
- Au moyen du tournevis appuyant sur l'extrémité du bras, essayer de modifier la position du bras **5**.
- Lancer un [Echelon de position] de -20° pour revenir à la position initiale autour de 25°.
- Lancer de nouveau [Echelon de position] de 20°avec un gain proportionnel de 100 et essayer de modifier la position du bras **5.**

Question n°3 : *Que constate-t-on (variation de $\theta(t)$ et réaction du système suivant la valeur de Kp) ?*

- Revenir à la position initiale et lancer un [Echelon de position] de 20° avec un gain proportionnel de 11

Question n°4 : *que vaut l'écart statique en position* $\varepsilon_s = \lim_{t\to\infty} \varepsilon(t) = \lim_{t\to\infty}(\theta(t) - \theta_{consigne}(t))$?

*En vous référant au document en annexe, conclure quant à la « forme » du modèle de la fonction de transfert en **boucle ouverte** du système.*

2ème partie : Identification de la fonction de transfert en boucle fermée

☞ **Manipulation 4 : modélisation 1er ordre**

- Coucher le système
- Se placer à une position autour de 25° depuis le menu [Réponse à une sollicitation].
- Puis dans ce menu choisir :
  Pas de déplacement : **20**
  Nb de disques: **2 -> 1300g**
  Plan d'évolution: **Horizontal**
- Dans [PID] définir un gain proportionnel de **11** (les autres gains étant nuls)
- Sélectionner les tracés de la consigne et de la position.
- Lancer un [Echelon de position]. La réponse temporelle s'affiche: le temps, la consigne et la position affichés à droite de l'écran correspondent à la position du curseur matérialisé par la droite verticale noire qu'on peut déplacer avec les flèches → et ← ou avec la souris.
- Noter les valeurs initiale θ_i et finale θ_f de θ puis déterminer :
  - le temps de réponse t_r à 5%
  - l'écart statique ε_s $\varepsilon_s = \lim_{t\to\infty} \varepsilon(t) = \lim_{t\to\infty}(\theta(t) - \theta_{consigne}(t))$
  - la valeur du retard observé (noté τ_r).
- Cliquer sur l'icône d'identification de la réponse (en bas à droite) puis sur [Modèle calculé]. Choisir un modèle du **1er ordre** et noter la fonction de transfert $H_1(p)$ calculée ([Modèle calculé]).

Question n°5 : *A partir de vos mesures et en vous aidant de l'identification logiciel,*

- *identifier le comportement du système à un modèle du **1er ordre retardé**. Vous **justifierez précisément** les valeurs du gain statique et de la constante de temps issues de votre essai (Leurs valeurs sont assez proches de celles de l'identification logiciel)*
- *exprimer alors numériquement la fonction de transfert H(p) du modèle choisi.*

3ème partie : Influence du gain de la chaîne directe

☞ **Manipulation 5 : modélisation 2ième ordre**

- Le système étant en position horizontale, le ramener en position de départ θ_d = 25°en choisissant un pas de déplacement de -20°.
- Cliquer sur [PID] et rentrer les valeurs suivantes (en les sauvegardant):
  Gain proportionnel = 11
  Gain intégral = 0
  Gain dérivé = 0
- Lancer un échelon de position de 20°
- Noter les valeurs de l'écart de position (ε_s), du temps de réponse à 5% (tr), du 1er dépassement (D_1) et de la pseudo-période (T) si leur mesure est possible (cliquer sur commentaires)
- Renouveler l'opération pour un gain proportionnel K_p= 17 - 20 - 25- 100 -200

Question n°6 : *lorsqu'il y a dépassement de la valeur asymptotique, expliciter la démarche utilisée par le logiciel pour déterminer les caractéristiques de la fonction de transfert du modèle du 2ème ordre associé au système*

Question n°7 : *Conclure quant à l'influence de K_p sur les performances du système*

☞ **Manipulation 6 :**

- Revenir à la position de départ θ_d = 25°
- Sélectionner les tracés de la consigne, de la position, de la commande et de la vitesse moteur.
- Lancer un échelon de 40° avec K_p = 100 et une durée d'acquisition de 1000 ms.

Pour des valeurs de gain Kp et d'échelon élevées on observe une réponse présentant une phase linéaire durant le régime transitoire. Cela ne correspond plus à un comportement de système SLCI.

Question n°8 : *Quelle est la cause de l'apparition de cette phase linéaire dans l'évolution de θ ?*

☞ **Manipulation 7 :**

- Ouvrir le fichier : maxpidsaturation.zcos qui utilise le logiciel scilab
- Effectuer la simulation et vérifier que la réponse à un échelon est de forme comparable à celle obtenue sur le système maxpid.

Question n°9 :

- *Noter les valeurs de la saturation sur le schéma bloc du fichier scilab (double cliquer sur le bloc) et vérifier sa conformité par rapport à la documentation constructeur du moteur utilisé (disponible sur le logiciel maxpid).*
- *Noter la valeur du gain statique et de la constante de temps de la fonction de transfert du moteur sur le schéma du fichier scilab (clique droit : modifier le contexte). Retrouver la valeur du gain statique à partir de la documentation constructeur. Pourquoi les valeurs de constante de temps ne sont pas identiques entre modèle simulé et donnée constructeur ?*

Malgré la présence d'un intégrateur dans la Fonction de transfert en boucle ouverte du schéma bloc (voir schéma bloc1 de l'annexe), on constate que l'écart statique en position n'est pas nul.

☞ **Manipulation 8 :**

- Supprimer la fonction seuil du schéma bloc du fichier scilab et Effectuer la simulation
- Vérifier que l'écart statique en position est nul (∀ Kp)

Question n°10 : *Conclure vis-à-vis de la réponse apportée à la question 4.*

4ème partie : influence d'un correcteur PI

☞ **Manipulation 9 :**

- Le système étant toujours en position horizontale, le ramener en position de départ θ_d = 25°comme précédemment.
- Cliquer sur [PID] rentrer les valeurs suivantes (en les sauvegardant) :
  Gain proportionnel = 150
  Gain intégral = 0
  Gain dérivé = 0
- Lancer un échelon de position de 20°
- Noter les valeurs de l'écart de position (ε_s), du temps de réponse à 5% (données par la logiciel d'acquisition)
- Revenir à la position de départ θ_d = 25°
- Renouveler l'opération pour un gain intégral Ki =5-10-20-40

ATTENTION : si les oscillations du système ne s'atténuent pas, l'arrêter en diminuant rapidement la valeur de Ki.

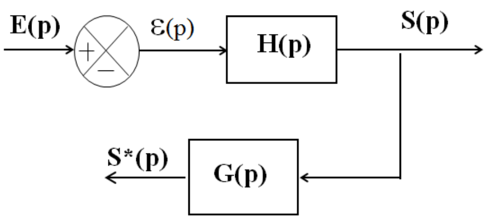
Question n°11 : *Conclure sur l'influence de K_i sur les performances du système.*

Question n°12 : *Justifier que l'action intégrale améliore la précision statique en position en vous référant au document annexe.*

Question n°13 : *En appliquant le critère de Revers (se référer à l'annexe) dans le plan de Bode, montrer que cette action intégrale peut générer l'instabilité observée.*

Annexe : Eléments de cours sur les performances des systèmes asservis

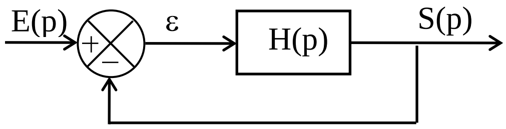
FTBO : On définit la Fonction de Transfert en Boucle Ouverte comme étant le produit des fonctions de transfert de la chaîne directe par celui des fonctions de transfert de la chaîne de retour



$$H_{BO}(p) = \frac{S^*(p)}{E(p)} = \frac{S^*(p)}{\varepsilon(p)} = H(p).G(p)$$

Précision statique :

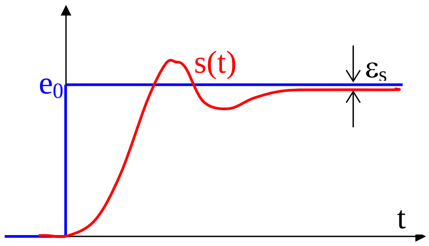
On caractérise la précision par ε l'écart (parfois appelé "erreur") entre la consigne e(t) et la sortie s(t): $\varepsilon(t) = e(t) - s(t)$



- précision statique en régime permanent = $\lim_{t\to\infty} \varepsilon(t)$
- Ecart statique en position (ou erreur indicielle) notée ε_s : $e(t) = e_0\, u(t)$

$$\varepsilon(p) = E(p) - S(p) = E(p)\left(1 - \frac{H}{1+H}\right) = \frac{E(p)}{1+H} = \frac{e_0}{p(1+H)}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = \lim_{t\to\infty} \varepsilon(t) = \lim_{p\to 0} p\,\varepsilon(p) = \lim_{p\to 0} \frac{e_0}{1+H}$$

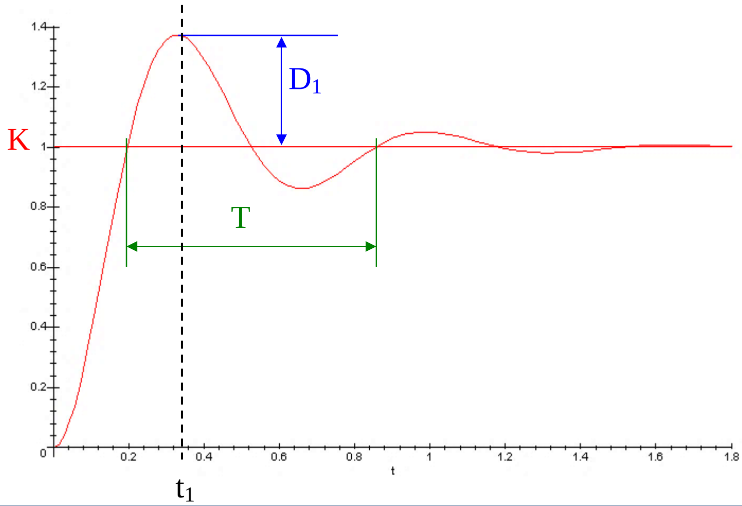


au voisinage de 0, **$H(p) \approx \frac{K}{p^\alpha}$, α étant la classe de la FTBO**

- **$\alpha = 0$: $\varepsilon_s = \frac{e_0}{1+K}$** donc la précision augmente si le gain de la FTBO augmente.
- **$\alpha > 0$: $\varepsilon_s = 0$** donc, si on a au moins un intégrateur dans la FTBO, le système est précis en position.

2ème ordre en régime pseudo-périodique :
résultats pour l'identification

- pseudo période : $T = \dfrac{2\pi}{\omega_0\sqrt{1-m^2}} = 2.t_1$
- 1er dépassement : $D_1 = K\, e^{\frac{-\pi m}{\sqrt{1-m^2}}}$



Structure de l'asservissement maxpid

Sur le schéma-blocs (schéma 1) du système Maxpid on peut distinguer :

· les blocs 1 et 9 : gains liés à la conversion numérique-analogique, gains identiques
· les blocs 4 et 10 : réglage des zéros du capteur et du codeur.
· le bloc 2 : correcteur Proportionnel Intégral Dérivé (PID).
· le bloc 3 : transforme en consigne analogique la commande numérique sortant du correcteur
· une saturation : elle protège le moteur en limitant à un maximum la tension d'alimentation.
· un seuil : le moteur ne démarre pas dès qu'il est alimenté mais comme il doit vaincre des frottements, il a besoin d'une tension minimale appelée aussi tension de décollement en dessous de laquelle il ne se passe rien.
· le bloc 5 : moteur à courant continu.
· le bloc 6 : loi de transformation de mouvement (établie en Tp cinématique : autour du point de fonctionnement $\theta = 35°$ la loi linéarisée est $\beta_{(en\ tr)} = 0.209\ \theta_{(en\ °)}$ ce qui donne $\theta_{(en\ rad)} = 0.013\beta_{(en\ rad)}$) .
· le bloc 7 : intégrateur, passage d'une vitesse de rotation à un angle.
· le bloc 8 : conversion radian/degré .

En utilisant les propriétés des schémas on peut obtenir un schéma à retour unitaire (schéma 2).

SCHEMA-BLOCS

Schéma 1

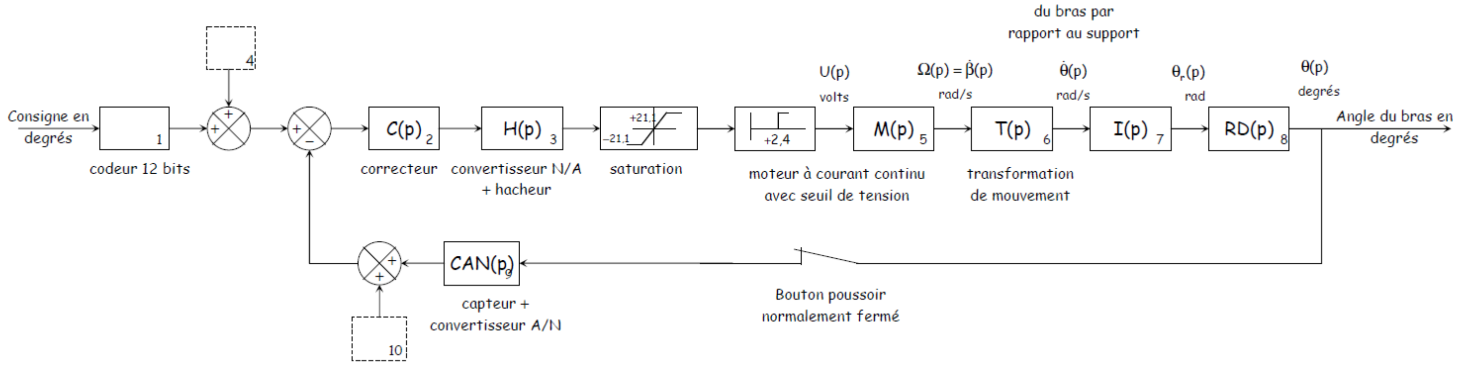
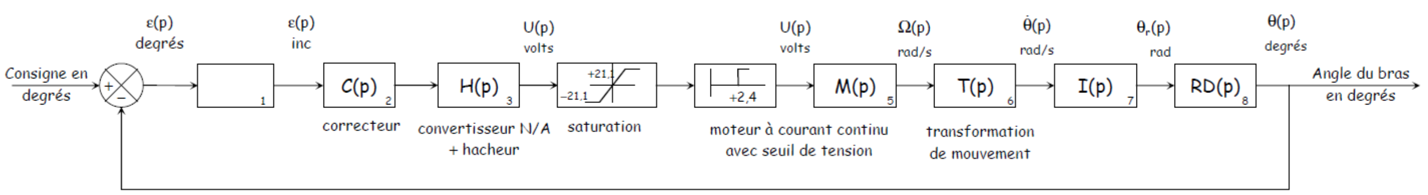
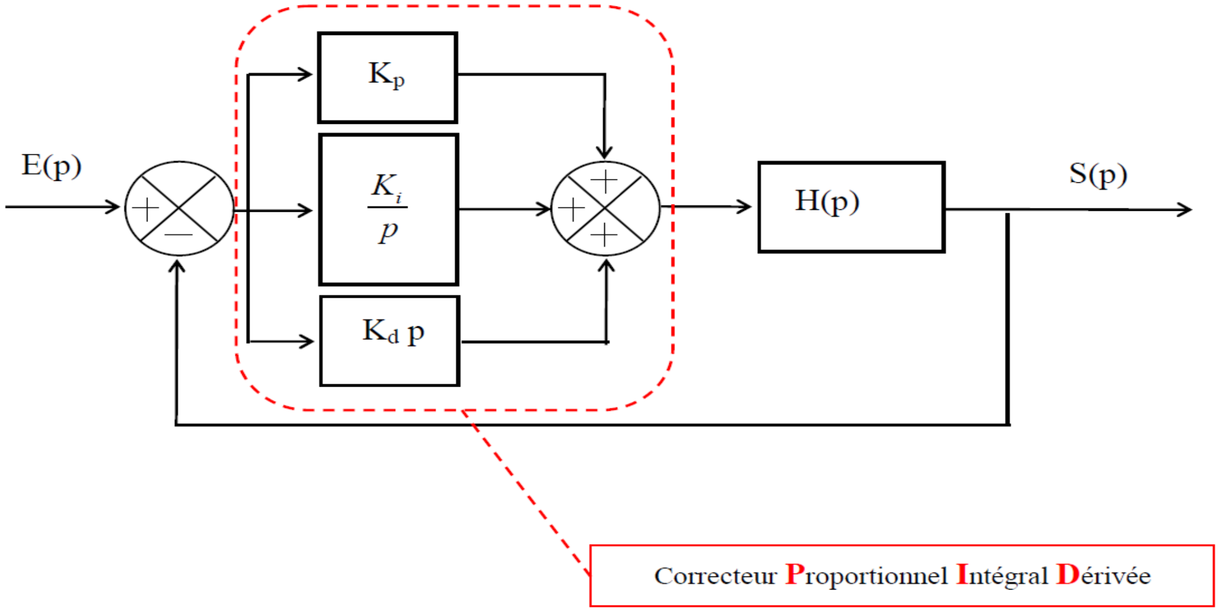


Schéma 2

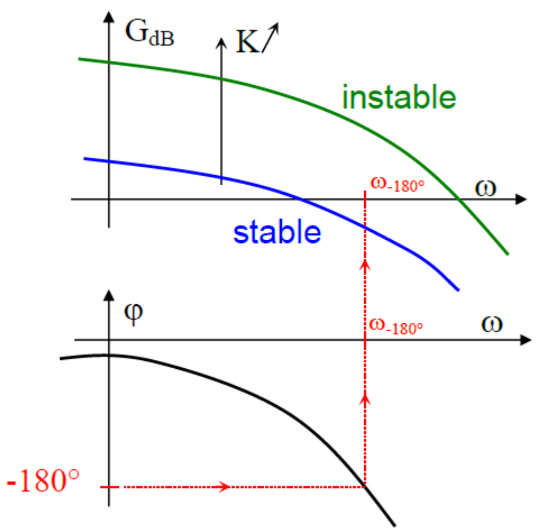


Correcteur PID :

Les valeurs réglées correspondent à celles d'un correcteur **PID**, voir figure ci-dessous :



Critère de Revers dans Bode :



Le système est stable en boucle fermée si, pour la pulsation correspondant à φ = -180°, la courbe de gain de la FTBO passe au-dessous du niveau 0 dB.

Donc si

- pour $\varphi = -180°$, $G > 0$ dB

ou

- pour $G = 0$ dB , $\varphi < -180°$,

alors le système est instable.