

Page : 1	SLCI	PT	TP
Ericc 3			

### Problème technique :

Améliorer le comportement du robot vis à vis d'une perturbation.

### Compétence visée :

- Comprendre le rôle des correcteurs PID sur un système asservi perturbé
- Analyser les écarts entre modèle et réel

### Pré-requis :

- Programme asservissement de 1<sup>ère</sup> année.
- Utilisation d'un logiciel de simulation.

### Matériel utilisé :

- Robot ERICC3.
- Logiciel associé à la maquette.
- Logiciel de simulation DID'ACSYDE.



### Déroulement du TP :

Une première partie expérimentale qui permettra de mettre en exergue l'effet de différents correcteurs sur la réponse du système.

Une seconde partie analytique dans la quelle on va élaborer et calibrer un modèle ce qui permettra une nouvelle fois de voir l'effet des correcteurs mais aussi d'identifier des causes probables de différence entre réel et modèle.

**Remarque :** Dans ce TP seul l'asservissement de « l'axe lacet » du Robot ERICC 3 est étudié.

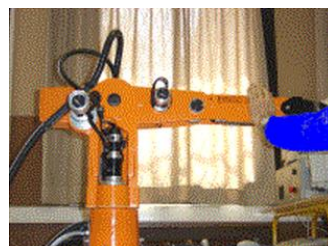
### I. Analyse expérimentale de la réponse du système corrigé

Dans cette partie nous allons vérifier expérimentalement l'effet des correcteurs sur la réponse du système.

#### a. Objectif de l'expérimentation

Il s'agit de commander plusieurs échelons de position sur l'axe de lacet (les correcteurs étant successivement activés), et d'analyser l'effet d'une perturbation de couple sur la réponse temporelle du robot ERICC 3.

**Nota :** Sur le système, une perturbation de couple provenant des frottements dans la chaîne cinématique existe en permanence ; néanmoins, pour mieux visualiser les effets, on exercera un **LEGER EFFORT** manuel sur le bras du robot pendant son mouvement (voir la photo).




### b. Données nécessaires à l'expérimentation

- la consigne de position est de  $0,4^\circ$ .
- la posture initiale du robot est telle que  $\theta_2 = 0^\circ$  (épaule) ;  $\theta_3 = -90^\circ$  (coude) ;  $\theta_4 = 0^\circ$  (poignet) qui est la posture de détermination de  $J_{\text{équivalent}}$ .

**Remarque** : pour placer l'axe du lacet en position initiale, il faut penser à appliquer les valeurs par défauts du correcteur PID : Kp (1000000), Kd (600) et Ki (200000).





### c. Manipulations

Mise en marche du robot et du logiciel de commande :

Robot	Appuyer sur les deux boutons rouges situés à l'arrière du boîtier ERICC3 ci-contre ainsi que sur le vert situé à l'avant.	
Logiciel	Lancer le logiciel ERICC3	

Dans le tableau suivant sont rappelées les différentes étapes qui permettent d'utiliser le robot :

**Remarque** : chaque numéro indiqué dans le tableau correspond à une bulle page 7

Etat initial	1	Placer le robot dans la posture initiale définie dans le texte TP après avoir éventuellement effectué la prise d'origine.	déplacement manuel :
			
Paramétrage de la correction	2	Mettre en place les valeurs de <b>réglage des correcteurs</b> (on étudiera 3 cas tour à tour Cf. question 1) :  <b>Cas 1</b> : correction proportionnelle (Kp=1000000) seule ;  <b>Cas 2</b> : correction proportionnelle et dérivée (Kp=1000000 et Kd=600) ;  <b>Cas 3</b> : correction proportionnelle, intégrale et dérivée (Kp=1000000, Ki=200000 et Kd=600).	paramétrage du correcteur :
			
Paramétrage de la consigne et de l'acquisition	3	Nouvelle mesure temporelle (permet d'afficher une nouvelle feuille d'acquisition)	2ème icône
			
	4	Puis dans la fenêtre qui apparaît : Échelon en boucle fermée	2ème icône
			
	5	Régler une amplitude de $0,4^\circ$ .	
	6	Régler la durée de l'échelon à 500 ms.	

Début de l'expérience	7	Lancer l'expérience	

#### d. Analyse des résultats expérimentaux

**Question 1.** Pour chacun des cas ci-dessous, analyser la stabilité et la précision de la réponse lorsque le système est soumis à une perturbation de type couple, lancer des échelons de position avec acquisition des courbes de position,

**Cas 1 :** pour une correction proportionnelle seule ( $K_p = 1e6$ ) ;

**Cas 2 :** pour une correction proportionnelle et dérivée ( $K_p = 1e6$  et  $K_d = 600$ );

**Cas 3 :** pour une correction proportionnelle, intégrale et dérivée ( $K_p = 1e6$ ,  $K_i = 2e5$  et  $K_d = 600$ ) ;

Pour les trois cas, effectuer l'impression sur papier des courbes et reporter vos remarques dans un tableau :

Bilan expérimental		
Correction	Stabilité	Précision
Cas 1		
Cas 2		
Cas 3		

**Remarque :**

Enregistrement des courbes	Cliquer sur la disquette → donner un nom à la courbe
Ouvrir les fichiers courbes	C:\Program files\astriane\ericc3\courbe

**Question 2.** Faire une nouvelle acquisition dans les conditions d'utilisation suivantes :

- Mettre le robot dans la posture initiale :  $\theta_2 = 0^\circ$  (épaule) ;  $\theta_3 = -90^\circ$  (coude) ;  $\theta_4 = 0^\circ$  ;
- Demander une nouvelle mesure temporelle.
- Mettre la valeur des correcteurs par défaut :  $K_p$  (1000000),  $K_d$  (600) et  $K_i$  (200000)
- Imposer une consigne d'amplitude de  $0.08^\circ$  (cocher la case « afficher le courant »)
- Lancer l'échelon

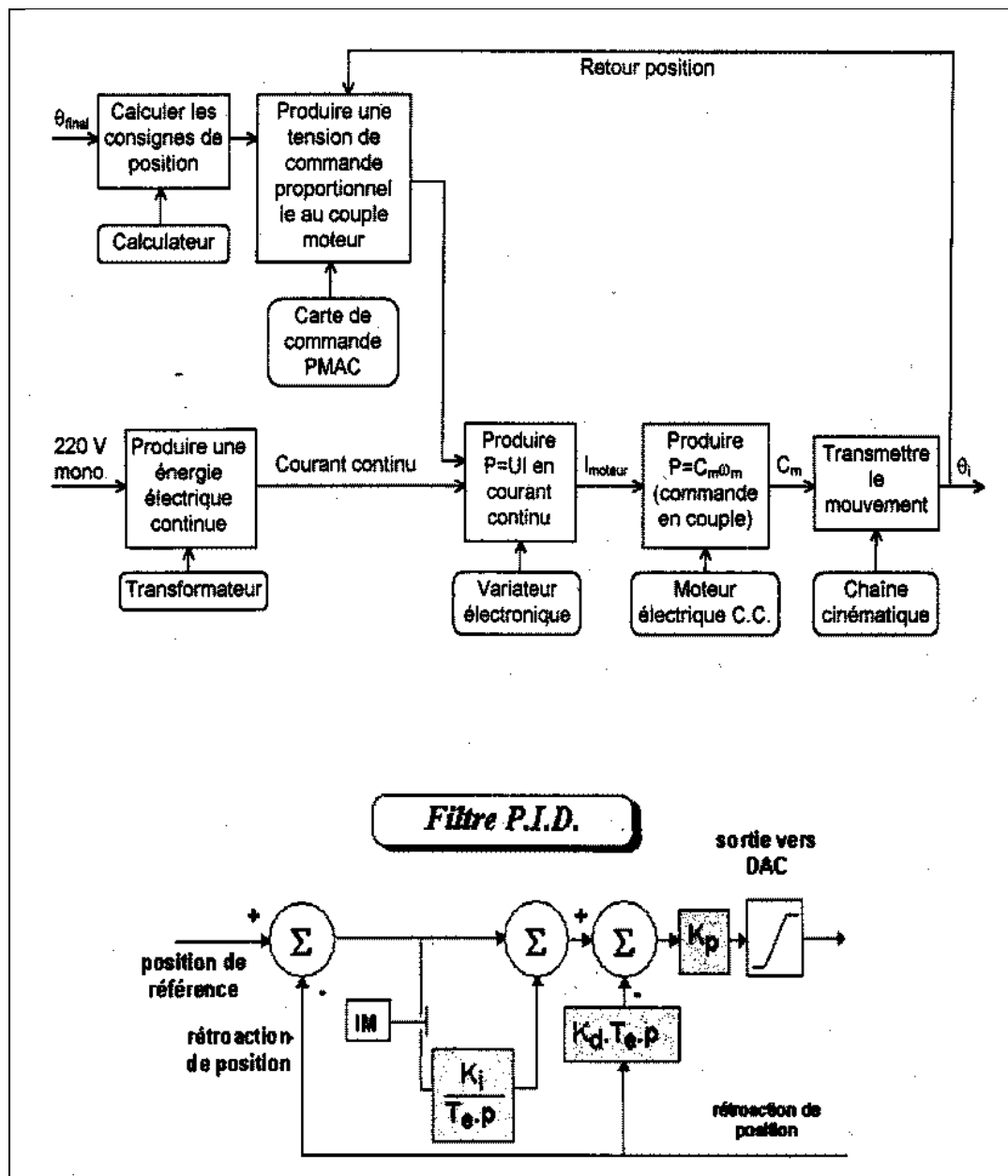
Page : 4	SLCI	PT	TP
Ericc 3			

**Question 3.** Sur la courbe vérifier que le courant reste à une valeur inférieure à 1,7 A.

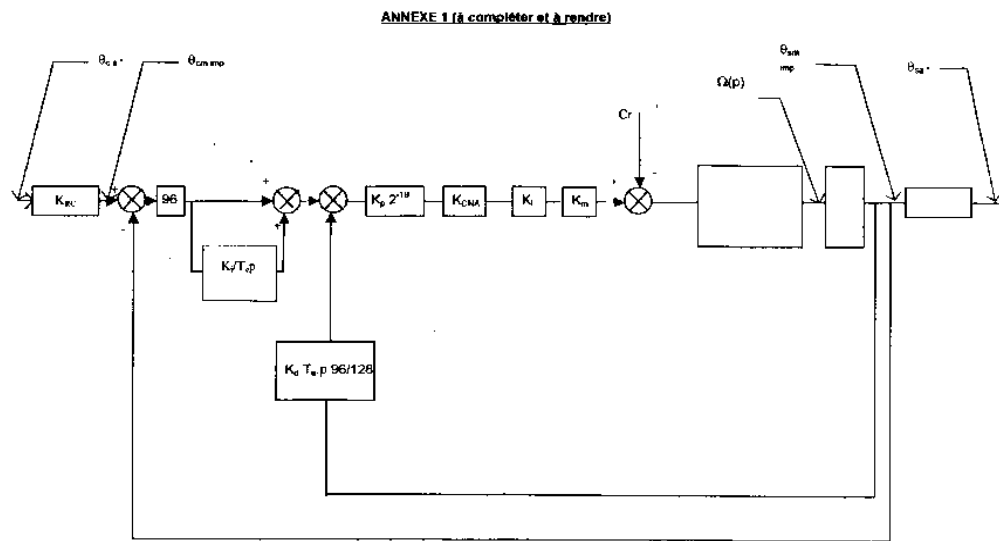
**Question 4.** Recommencer la manipulation avec une amplitude de 0,4° quelle constatation faites-vous ?

**Question 5.** Quel est l'effet de la saturation du courant moteur à 1,7A sur la réponse du système réel (période et amplitude des oscillations) ?

**Question 6.** Quel est l'effet des correcteurs, en particulier dans le cas n°3, lorsque tous les correcteurs sont mis en place.



- Schéma-bloc de l'asservissement de position de l'axe du lacet partiellement complété :



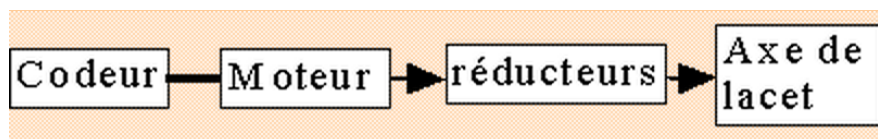
### i. Hypothèses d'étude

- le couple résistant  $C_r$  perturbateur est supposé « constant »,
- les valeurs de  $K_p$  (1000000),  $K_d$  (600) et  $K_i$  (200000) sont les valeurs de réglage par défaut du correcteur PID (Cf. schéma synoptique précédent).

### ii. Notations

- $\theta_{ca}^0$  : consigne de position de l'axe lacet en degrés ;
- $\theta_{cm}^{imp}$  : consigne de position de l'arbre du moteur en nombre d'impulsions du codeur ;
- $\theta_{sa}^0$  : position mesurée de l'axe lacet en degrés ;
- $\theta_{sm}^{imp}$  : position mesurée de l'arbre du moteur en nombre d'impulsions du codeur ;

### iii. Caractéristiques des constituants de la chaîne fonctionnelle « axe lacet »



- codeur : il fournit 2000 impulsions par tour de l'arbre du moteur auquel il est accouplé ;
- réducteurs  $\frac{\omega_{moteur}}{\omega_{axe}} = \rho = \frac{1000}{3}$
- temps d'échantillonnage  $T_e = 3096$  ms
- convertisseur numérique analogique 16 bits fournissant une tension de commande sur une plage de  $[\pm 10V \text{ pour } \pm 32767 \text{ impulsions}]$ ,
- commande en courant du moteur sur une plage de  $[- 1,7A \text{ à } + 1,7A]$  (limitation du courant moteur réglée à 1,7 Ampères).
- constante de couple du moteur de lacet :  $K_m = 0,043 \text{ Nm/A}$
- inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur :  $J = 2,09 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$
- coefficient de frottement visqueux :  $f = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ N.m.s}$



Page : 8	SLCI	PT	TP
Ericc 3			

**Question 9.** Compléter sur le schéma bloc du système les trois derniers blocs en indiquant les valeurs numériques (respecter les unités) et en prenant en compte l'intégration vitesse/position ainsi que le codeur (dont le bloc a été artificiellement sorti de la boucle de retour).

**Question 10.** Calculer le gain  $K_{RC}$  du calculateur, sachant que son gain en impulsions par degrés doit correspondre au nombre d'impulsions fournies par le codeur lors de la rotation de  $1^\circ$  de l'axe de lacet du robot (ne pas oublier le rapport de transmission).

**Question 11.** Calculer le gain  $K_{CNA}$  du convertisseur numérique analogique en volt par impulsion.

**Question 12.** Calculer le gain  $K_I$  du variateur électronique en Ampère par volt.

**Question 13.** Déterminer la valeur maximale de la consigne «  $\theta_{ca}^\circ$  » qui permet de ne pas dépasser la valeur maximale du courant moteur (réglée à 1,7 A).

**Remarque :** Initialement le signal renvoyé par les boucles de retour de l'asservissement est nul lors qu'en entrée on applique une consigne en échelon de position.



Page : 9	SLCI	PT	TP
Ericc 3			

## 2. Analyse de la réponse du système par la simulation

L'objectif de cette partie est d'exploiter le modèle établi précédemment pour analyser la réponse du système corrigé dans différentes situations d'utilisation.

Les résultats permettront :

- de voir l'influence des correcteurs sur la stabilité, et la précision pour une perturbation de type couple résistant
- d'identifier des causes possibles d'écart entre réel et modèle.

**Remarque 1 :** les simulations seront réalisées avec le logiciel (DID'ACSYDE). Vous pouvez déjà commencer par le lancer.

**Remarque 2 :** Pour ne pas perdre de temps il n'est pas demandé de réécrire le(s) modèle(s) précédemment établi(s) dans le logiciel DID'ACSYDE mais d'**exploiter** ceux fournis.

### a. Simulations à l'aide du modèle n°1

Ouvrir le fichier appelé "lacet\_ERICC3\_1.sch " fourni dans le dossier "TP Ericc3" (c'est celui qui correspond au modèle n°1).

**Arborescence pour aller chercher le fichier :** D:\PT\ericc3\2RE41\_web et cliquer sur lacet\_ERICC3\_1.sch

**Remarque :** pour permettre l'affichage du courant moteur, une sortie de la grandeur « imot » a été ajoutée par rapport au schéma bloc complété sur le document réponse.

**Question 14.** Vérifier que le schéma fourni correspond au schéma-bloc que vous avez complété (architecture et valeurs numériques).

Normalement il a été établi question 9 que la valeur de consigne en position doit être inférieure à  $0,1^\circ$  pour que le courant du moteur ne dépasse pas 1,7 A.

**Question 15.** Vérifier ce résultat en effectuant différentes simulations temporelles avec pour valeurs de la grandeur d'entrée «  $\theta_{ca}^\circ$  »  $\in [0.08^\circ, 0.15^\circ]$  (on utilisera les valeurs de réglage par défaut du correcteur PID :  $K_p$  (1000000),  $K_d$  (600) et  $K_i$  (200000)).

Démarche à suivre pour lancer une simulation	
Pour lancer la simulation cliquer sur :	<b>Analyse → Réponse</b>
Choisir les variables de sortie	<b>Imot</b> par exemple
Ajuster les paramètres du modèle	<b><math>K_p</math>, <math>K_d</math> et <math>K_i</math></b>
Ajuster le temps de simulations	<b>Horizon temporel</b>

**Nota :** pour la suite du TP, la **consigne de position est fixée à  $0,4^\circ$**  ; la perturbation « Cr » est paramétrée pour apparaître au temps 0,5 s ; on effectuera la simulation sur une durée de 1,5 s.

**Question 16.** Dans les trois cas suivants, analyser la stabilité et la précision lorsque le système est perturbé par un couple Cr (Cr prenant les valeurs 0 et 0,05 Nm) :

**Cas 1 :** Correction proportionnelle ( $K_p=1000000$ ) seule ;

**Cas 2 :** Correction proportionnelle et dérivée ( $K_p=1000000$  et  $K_d=600$ ) ;

**Cas 3 :** Correction proportionnelle, intégrale et dérivée ( $K_p=1000000$ ,  $K_i=200000$  et  $K_d=600$ ).

Pour les trois cas, imprimer les courbes sur papier et reporter vos remarques dans un tableau :

$C_r = 0 \text{ N.m}$		
Correction	Stabilité	Précision
Cas 1		
Cas 2		
Cas 3		

$C_r = 0,05 \text{ N.m}$		
Correction	Stabilité	Précision
Cas 1		
Cas 2		
Cas 3		

**Question 17.** Conclure quant-à l'effet du correcteur dérivé, l'effet du correcteur intégral et l'effet du PID.

**Question 18.** Comparer les résultats de l'expérimentation avec ceux de la simulation effectuée :

- vis à vis de l'effet de la saturation du courant moteur à 1,7A sur la réponse du système réel (période et amplitude des oscillations) ?
- vis à vis de l'effet des correcteurs, en particulier dans le cas n°3, lorsque tous les correcteurs sont mis en place.

Le modèle précédent n'étant pas suffisamment représentatif du système on propose un second modèle plus élaboré.

#### b. [Simulation à l'aide du modèle n°2](#)

##### i. Fichier DID'ACSYDE du modèle n°2

Un nouveau schéma-bloc DID'ACSYDE de l'asservissement de position est fourni. Il est préparé dans le fichier "Iacet\_ERICC3\_2.sch".

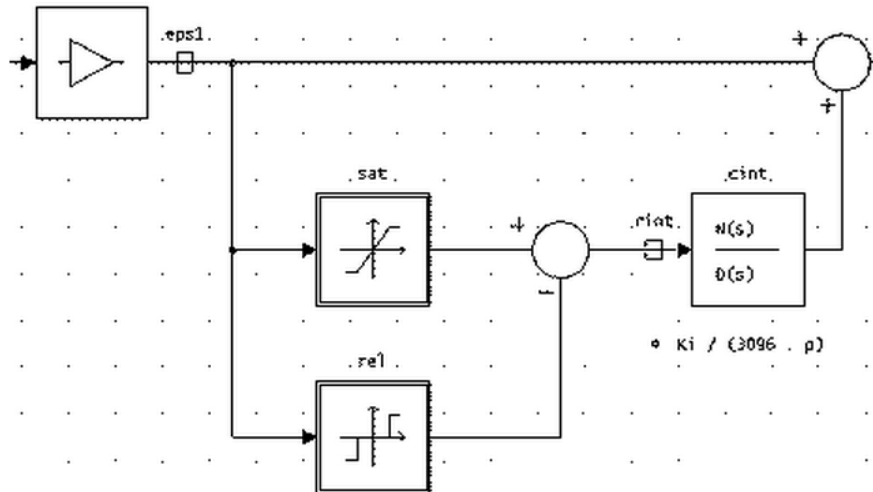
**Arborescence pour aller chercher le fichier :** D:\PT\ericc3\2RE41\_web et cliquer sur Iacet\_ERICC3\_2.sch

- la perturbation « Cr » est paramétrée pour apparaître au temps 0,5 s ;
- pour la suite du TP, la perturbation de **couple résistant « Cr » sera de 0.02 Nm ;**
- on effectuera la simulation sur une durée de 1,5 s.

## ii. Description du nouveau schéma-blocs

pour approcher le fonctionnement du système réel par simulation, deux modifications ont été apportées au schéma-blocs :

- La limitation du courant moteur à 1,7 A à été prise en compte par l'utilisation du bloc « satu » ;
- Le correcteur Intégral prend la forme particulière suivante :



**Question 19.** Tracer le graphe du signal « rint » qui résulte de la soustraction du signal sortant du bloc « rel » (relai) avec celui sortant du bloc « sat » (saturation).

**Question 20.** Dédurre du tracé précédent que le correcteur intégral n'agit que pour les valeurs de l'écart « eps1 » inférieur à la valeur du paramètre « SI » installé dans les blocs « sat » et « rel ». Vous pouvez demander plusieurs sorties dans le logiciel (ex : rint,stu1,rel1) et visualiser les effets de chacun des blocs

**Question 21.** Pour une correction proportionnelle, intégrale et dérivée ( $K_p = 1e6$ ,  $K_i = 2e5$  et  $K_d = 600$ ), vérifier par simulation, l'effet sur la stabilité et sur la précision, du nouveau correcteur intégral placé en amont de la perturbation de couple résistant (on analysera simultanément l'effet des deux valeurs  $SI = 0$  et  $SI = 2000$ ) ;

**Question 22.** valider le nouveau modèle par comparaison avec le résultat obtenu lors de l'expérimentation.

**Question 23.** Conclure quant aux qualités de ce robot en déplacement en point à point ; critiquer la solution utilisée si des contraintes de précision sur la trajectoire sont imposées.