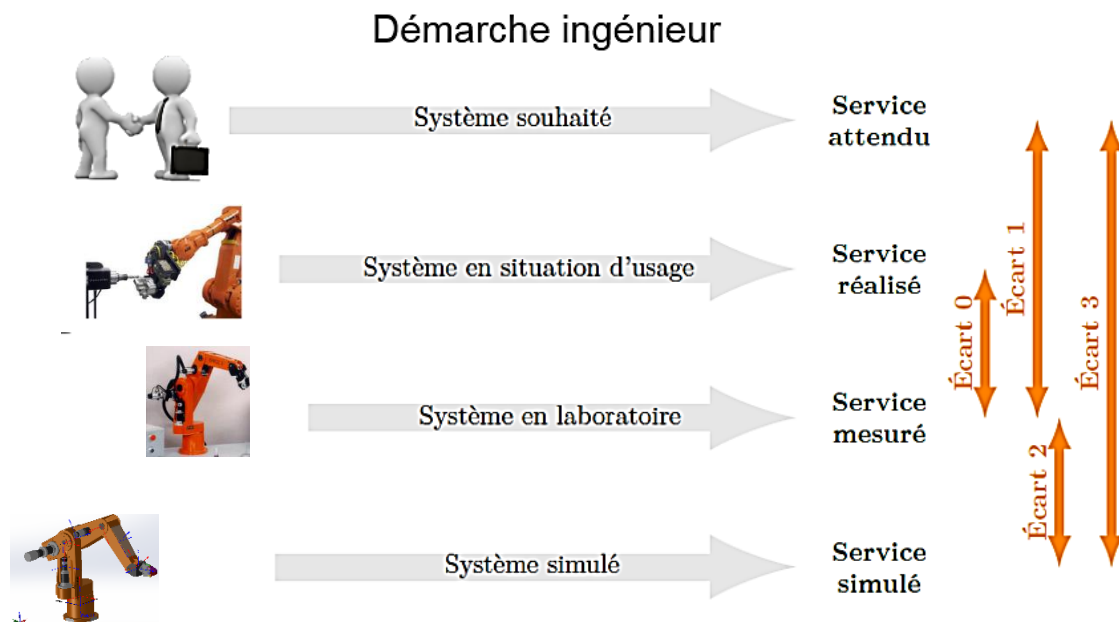


## Robot Ericc3 : performances de l'asservissement

### Objectifs de la séance

- Etude des performances expérimentales et simulées de l'asservissement du robot
- Influence des réglages de correction
- Etude fréquentielle simulée pour évaluation de la rapidité et de la stabilité

**Durée : 2 heures avec permutation à mi-séance**



**Objectif de la démarche : minimiser les écarts {attendu-réalisé-mesuré-simulé}**

### AVERTISSEMENT

**VOUS DEVEZ DEPLACER TOUT DOCUMENT NUMERIQUE MODIFIABLE DANS UN DOSSIER PERSONNEL AVANT OUVERTURE ET MODIFICATION.**

## Préparation à faire chez soi avant la séance de TP

- Partie 1 théorique à faire chez soi. Devra être prête avant la séance de TP. Ne doit pas être abordée pendant la séance de TP.
- Lire le sujet

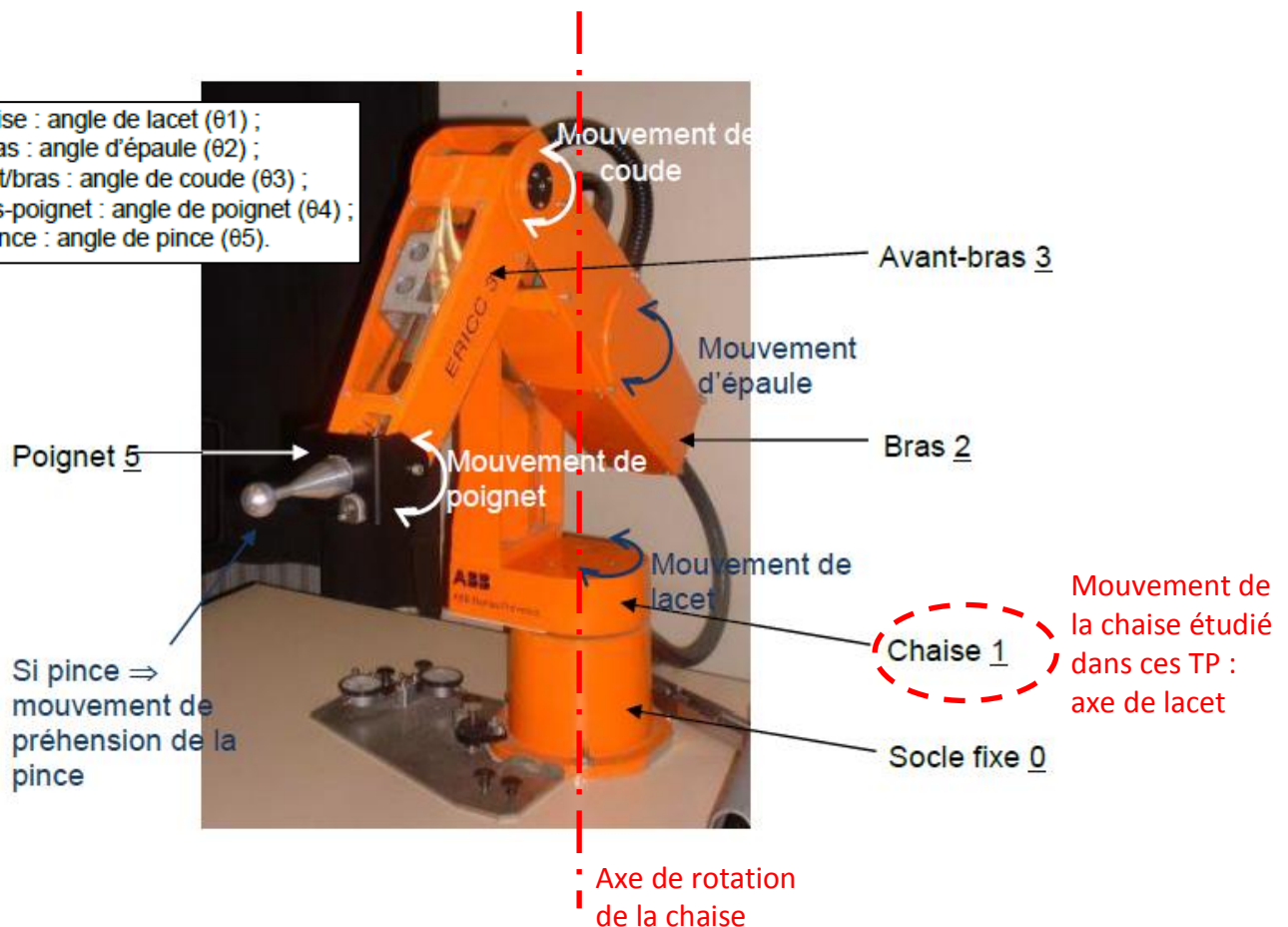
### Vous disposez

- Du sujet
- Fiche plastique couleur descriptive du robot déjà posée sur la table



### Vous devez rendre

- Rédaction sur votre cahier de TP.



### Cahier des charges de l'asservissement de l'axe de lacet : exigences

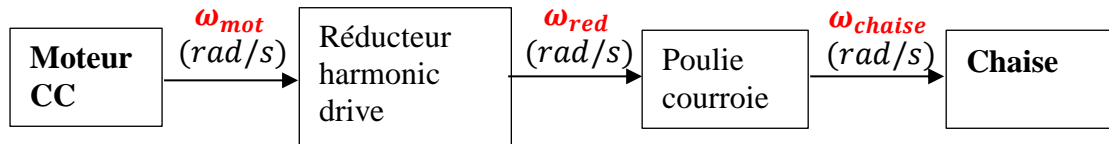
Exigence	Performance	Critère	Contrainte
E1	Stabilité	EB $\Rightarrow$ SB Marge de gain Marge de phase	Stable $MG > 12\text{dB}$ $MP > 45^\circ$
E2	Précision	Erreur statique	$\varepsilon_s < 1\%$ de la valeur consigne
E3	Rapidité	Temps de réponse à 5% Puls. de coupure à 0dB	$T_{R5} < 1\text{s}$ $\omega_{c0dB} > 10 \text{ rad/s}$
E4	Amortissement	1 <sup>er</sup> dépassement relatif	$Dr_1 < 10\%$

## PARTIE 1 : PREPARATION AVANT LA SEANCE

**Cette partie se prépare avant la séance de TP... chez soi. Elle doit être prête et rédigée avant la séance.**

### Modélisation cinématique de l'axe de lacet : schéma cinématique

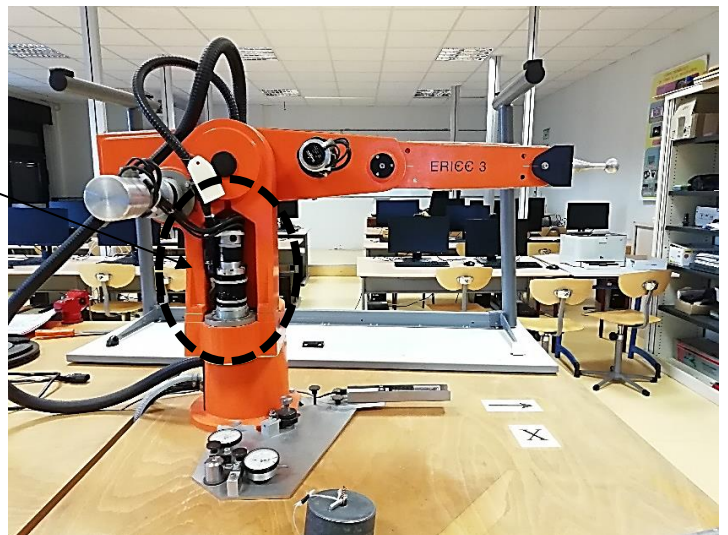
Ci-dessous l'IBD de chaque chaîne de puissance.



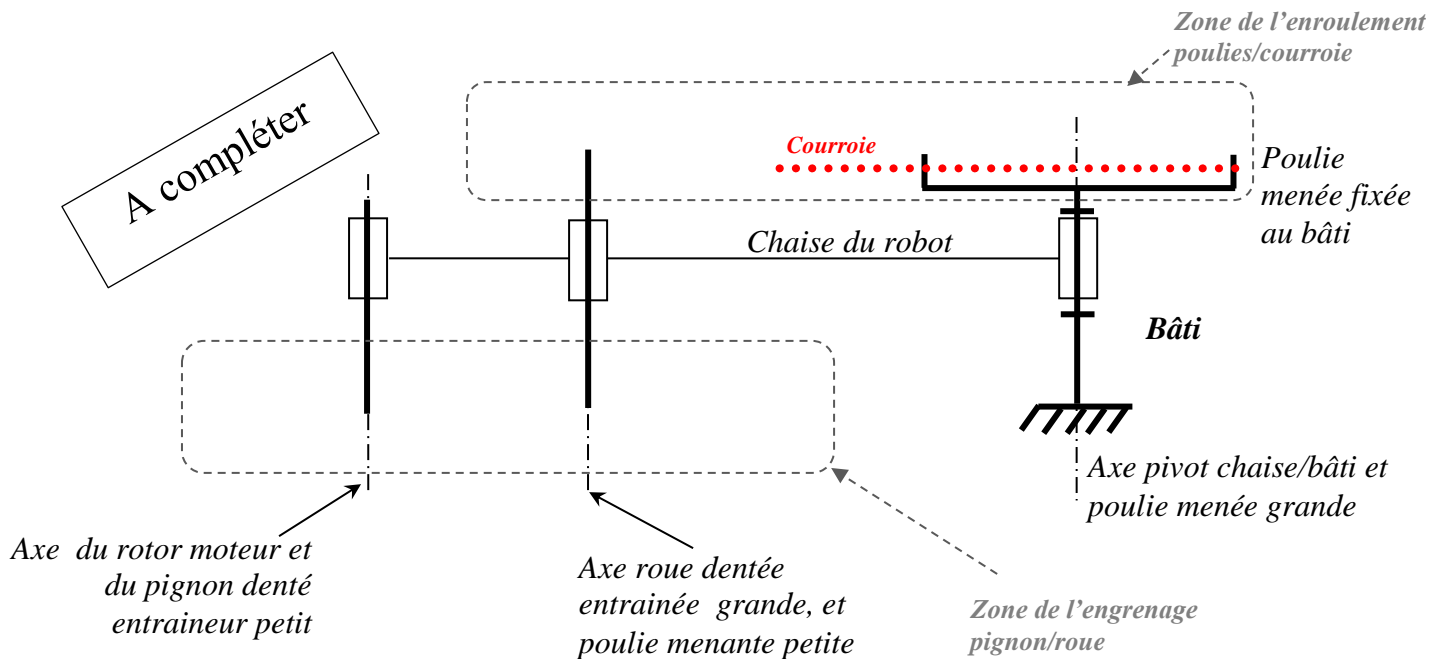
Vous remarquerez sur la photo ci-dessous que le moteur + réducteur de l'axe de lacet du robot est solidaire de la chaise et se déplace avec elle : on parle de « motorisation embarquée ».

La poulie menée finale est fixée au bâti.

*Motoréducteur  
embarqué fixé à la  
chaise*



Recopier/terminer le schéma cinématique ci-après. Le réducteur Harmonic-Drive (technologie complexe s'apparentant à un train épicycloïdal) sera représenté par un simple réducteur à engrenage pignon/roue dentée à axes parallèles classique.



### Mesure de la position de la chaise : codeur angulaire

Ericc étant asservi en position sur chaque axe, et notamment l'axe de lacet, il est nécessaire de connaître l'angle parcouru par la chaise lors de sa rotation autour de l'axe vertical.

Pour cela le moteur est équipé d'un codeur incrémental mesurant l'angle du rotor moteur. Reportez-vous à l'annexe 2 et :

- Calculez la résolution du codeur en *degré* et en *radian*.
- Déterminez sa fonction de transfert en *inc/rad*.

### Gain d'adaptation de consigne

Rappel : la condition nécessaire de bon fonctionnement d'un asservissement est qu'une erreur nulle doit entraîner un écart nul.

Référez-vous au schéma bloc donné dans la partie simulation (il va falloir zoomer !) : calculer le gain  $K_{adapt}$  en fonction de... ce qu'il faut !

### Conversion analogique numérique

Le traitement de l'information au niveau de l'asservissement (consigne, retour codeur, soustracteur, correcteur, commande moteur) est numérique. A l'issue de la correction le signal est converti en tension analogique grâce à un convertisseur numérique→analogique. Sur le schéma bloc de l'asservissement, cette conversion est modélisée par un bloc de gain proportionnel.

- Reportez-vous à l'annexe 4 et déterminer ce gain.
- D'où provient la valeur entière particulière « 32 767 » ?

## PARTIE 2 : EXPERIMENTATION

### Mise en route du robot - Prises d'origine

Se rapporter à l'annexe 0 : mise en route du robot et prises d'origine.

- Mettre en route Ericc
- Effectuer les prises d'origine

### Mise en position horizontale

Placer le robot dans sa position de départ, c'est-à-dire ensemble {bras, avant-bras, pince} horizontal. Les paramètres sont :

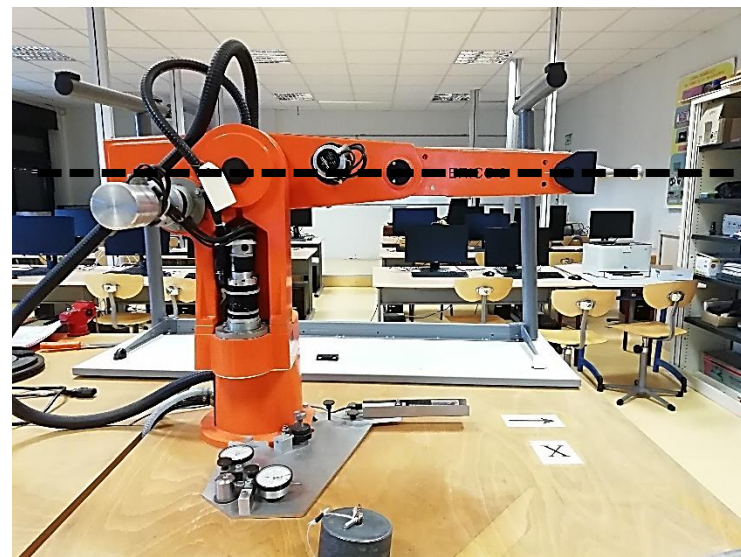
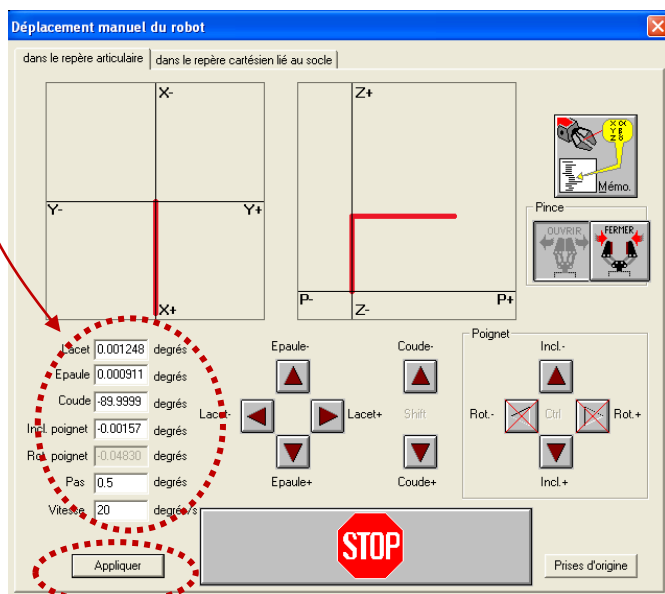
Lacet :  $\theta_1 = 0^\circ$

Epaule :  $\theta_2 = 0^\circ$

Coude :  $\theta_3 = -90^\circ$

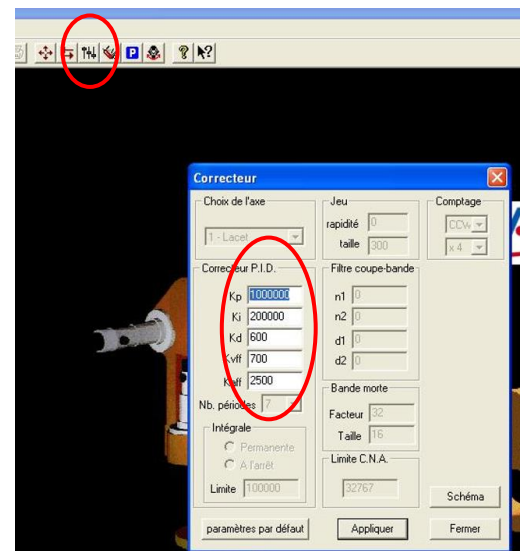
Poignet :  $\theta_4 = 0^\circ$

... valider par « Appliquer ».



### Réglage du correcteur PID

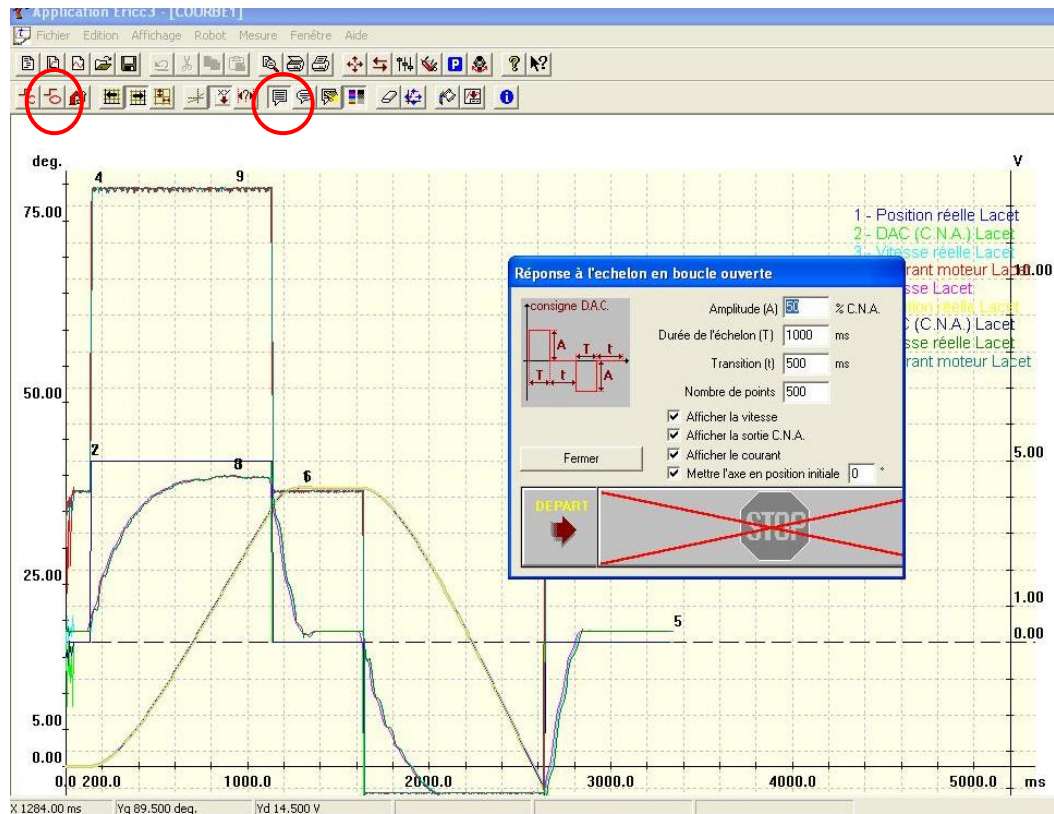
- Cliquer sur le bouton de réglage du correcteur
- Régler  $K_p=10^5$ ,  $K_i=0$ ,  $K_d=0$





## Essai lacet en boucle fermée

- Paramètres en Boucle Fermée : consigne pivotement lacet  $45^\circ$
- Lancez l'essai. Attention ça peut partir fort !
- Afficher la légende des courbes en couleur



- Etudier les exigences du cahier des charges (sauf celles concernant la réponse fréquentielles bien entendu !)

## Nouveau réglage correcteur

Même étude pour  $K_p=10^4$

## Conclusion

Si vous avez déjà permuté (partie simulation faite), faites une conclusion qui compare les résultats simulés et expérimentaux.



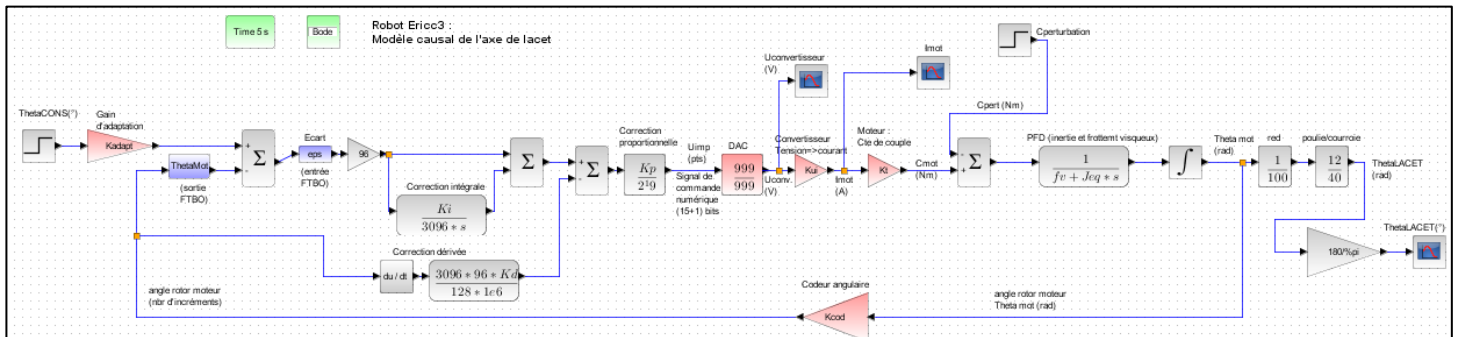
**FIN DE LA PARTIE 2 : permutation**

## PARTIE 3 : SIMULATION

Ouvrez le logiciel *Scilab 5.32b* à partir du bureau du PC (dossier « logiciel mathématique »), et non par une recherche windows (sinon vous ouvrirez une mauvaise version sans vous en rendre compte).

Ouvrez le schéma bloc « *modele\_Ericc\_Lacet\_scilab-eleve* », dans le module *Xcos* de *Scilab*.

Vous obtenez un schéma bloc qui ressemble à ceci :



Pour saisir les valeurs définies de manière formelle : *clic droit sur le fond d'écran/modifier le contexte*, etc.

Si les variables sont définies de manière numérique : les modifier directement dans le bloc.

### Finalisation du schéma bloc simulé

Saisissez la valeur des gains des blocs rouges : adaptateur de consigne, codeur incrémental et DAC... calculés chez vous.

Saisissez les deux gains restant : conversion u-i et constante de couple moteur (voir annexes 4 et 3).

### Réglage du correcteur PID

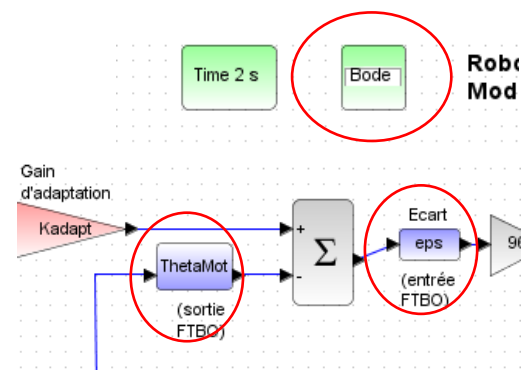
Saisissez les valeurs de correction :  $K_p=10^5$ ,  $K_i=0$ ,  $K_d=0$

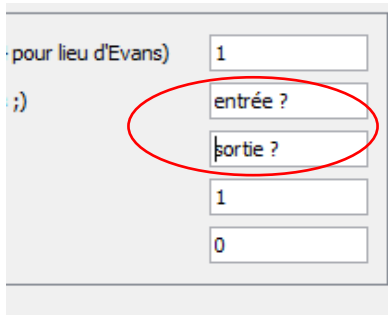
### Préparation de l'analyse fréquentielle

Cliquer sur « Bode ».

Comme nous allons étudier la réponse fréquentielle de la boucle ouverte, il faut renseigner l'entrée et la sortie de la boucle ouverte.

Rappel : «  $FTBO = \frac{\text{ThetaMot}}{\text{eps}}$  »





### Simulation n°1 : correction proportionnelle initiale

Lancer la simulation pour une consigne faible ( $1^\circ$ , pour ne pas saturer la commande moteur).

Evaluer :  $D_{R1}$ ,  $T_{R5}$

Evaluer : Les marges de phase et de gain

Etudier une par une les exigences du cahier des charges.

Avec une correction uniquement proportionnelle (pas d'intégration, pas de dérivation), la FTBO est manifestement d'ordre 2 et de classe 1 : quelles sont les indications de lecture sur le diagramme de Bode qui montrent la valeur de la classe et de l'ordre.

### Simulation n°2 : optimisation de la correction proportionnelle

Modifier le gain proportionnel  $K_p$  pour que le cahier des charges soit vérifié.

Si le cahier des charges ne peut pas être vérifié dans son ensemble, dans son ensemble, noter la valeur de  $K_p$  optimale qui permet d'approcher au mieux le cahier des charges.

### Simulation n°3 : effet de la correction intégrale

Régler la correction proportionnelle  $K_p=1000$ .

Faire plusieurs simulations avec des corrections intégrales différentes : 0,  $10^3$ ,  $3 \cdot 10^3$ ,  $10^4$ .

### Conclusion

Si vous avez déjà permuté (partie expérimentation faite) : faites une conclusion qui compare les résultats simulés et expérimentaux.



**FIN DE LA PARTIE 3 : permutation**



## ANNEXE 0 : MISE EN ROUTE DU ROBOT ET PRISES D'ORIGINE

Mettre sous tension : le PC et l'interface de pilotage d'Ericc (2 boutons à l'arrière des consoles). Voir les photos.

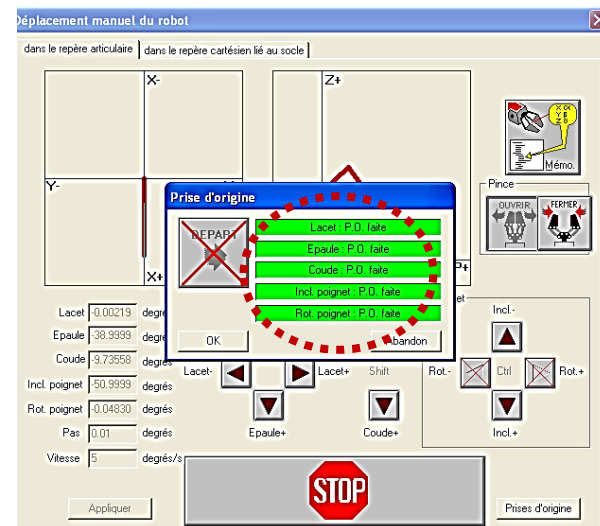
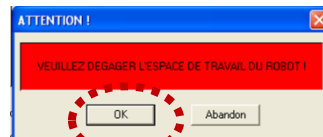
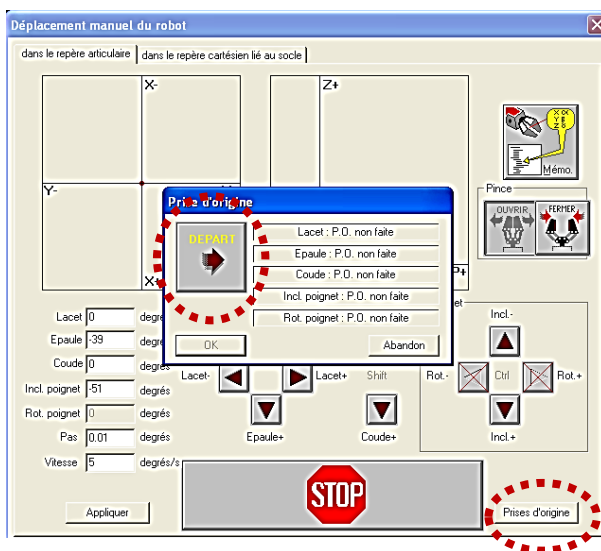
Déverrouiller l'arrêt d'urgence.

Appuyer sur le bouton vert « marche » en façade : vous devez entendre un « clac », trahissant la mise sous tension de l'interface de pilotage.



Ouvrir l'appliquatif « robot Ericc » : Icône sur le bureau du PC.

Effectuer la prise d'origine des codeurs angulaires incrémentaux : Robot/déplacement manuel/OK/**Prise d'origine**/Départ/OK. Le robot effectue les déplacements de prise d'origine.



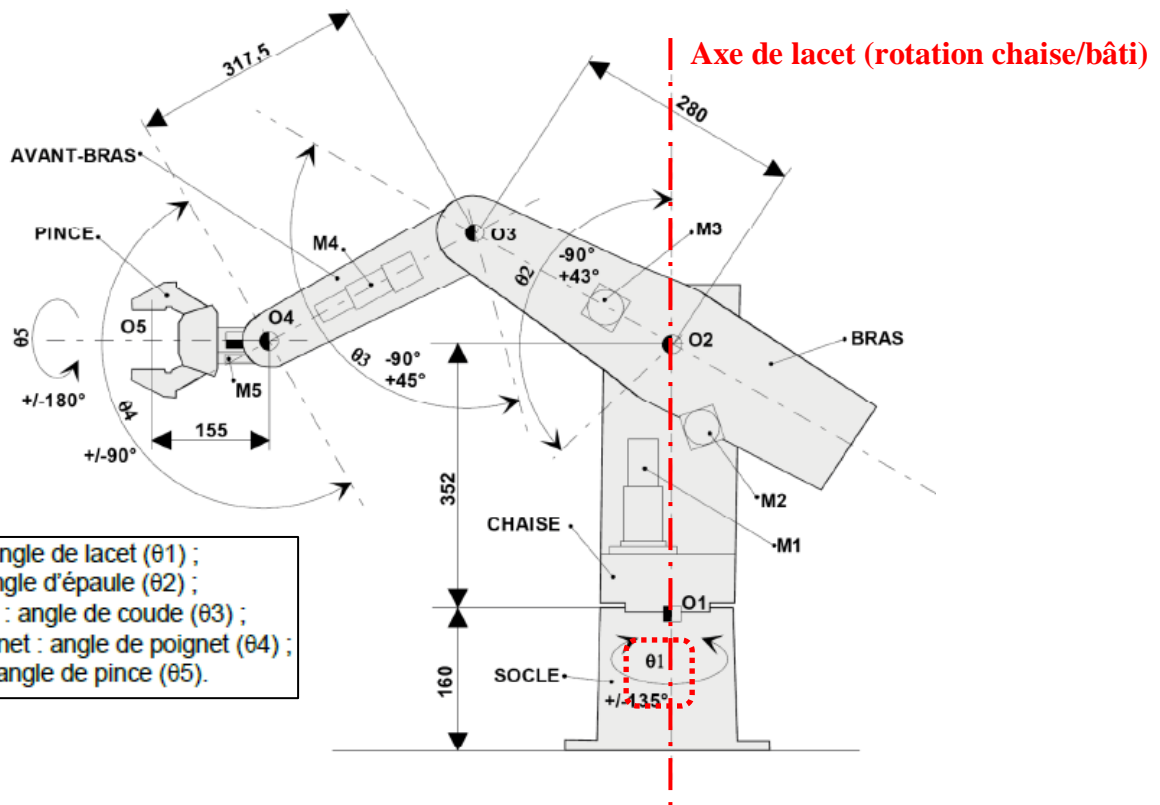
## ANNEXE 1

## Rapport de réduction du réducteur harmonique-drive et de la poulie/courroie

7.1 Caractéristiques et performances des axes

Axe	réducteur	courroie crantée	Nb pulses codeur	comptage	coefficient
$\theta_1$	1/100	12/40	500	x 4	1851.851852
$\theta_2$	1/100	12/40	500	x 4	1851.851852
$\theta_3$	1/100	15/52	500	x 4	1925.925926
$\theta_4$	1/60	18/60	500	x 1	277.777778
$\theta_5$	1/262	18/36	16	x 4	93.155556

Coefficient = nombre d'impulsions codeur correspondant à 1 degré sur l'axe final.



## ANNEXE 2

### Codeur incrémental équipant chaque rotor moteur

#### 7.4 Le codeur incrémental

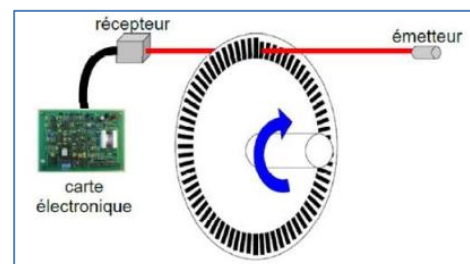
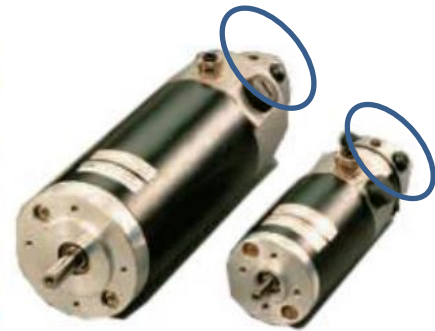
Le codeur incrémental type K9 se présente sous la forme d'un kit de très faible encombrement, ne nécessitant aucun réglage au montage.

Il se compose d'un socle métallique, d'un circuit électronique à haute intégration et d'un disque gravé avec grande précision.

En standard, le nombre de traits est de 500, fournissant une résolution de 2000 points par tours avec la multiplication électronique par 4 (250 traits disponibles en options).

Les signaux sont complétés avec émetteurs de ligne permettant la transmission, par câble approprié, jusqu'à 50m.

Solidaire de l'arbre moteur, le codeur K9 est très compact. En conséquence, les charges axiales sur l'arbre sont à proscrire.



## ANNEXE 3

### Caractéristiques constructeur du moteur de lacet.

SERVOMOTEURS A COURANT CONTINU

**RS120G**

**PARVEX**

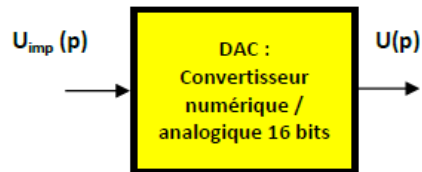
8 avenue du Lac  
BP249  
F-21007 DIJON Cedex

Couple en rotation lente	0.092	N.m	$M_0$
Courant permanent rotation lente	2.3	A	$I_0$
Tension d'alimentation de définition	21	V	U
Vitesse de définition	3000	tr/mn	N
Tension maximale	33	V	$U_{max}$
Vitesse maximale	7300	tr/mn	$N_{max}$
Courant impulsionnel	7	A	$I_{max}$
Fem par 1000 tr/mn (25°C)	4.4	V	$K_e$
Coefficient de couple électromagnétique	0.042	N.m/A	$K_t$
Couple de frottement sec	0.6	N.cm	$T_f$
Coefficient de viscosité par 1000tr/mn	0.024	N.cm	$K_d$
Résistance du bobinage (25°C)	2.3	$\Omega$	$R_b$
Inductance du bobinage	1.1	mH	L
Inertie rotor	0.0000041	kg.m <sup>2</sup>	J
Constante de temps thermique	5.2	min	$T_{th}$
Masse moteur	0.39	kg	M

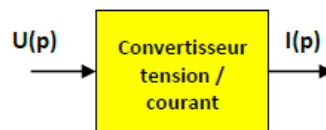
Toutes les données sont en valeurs typiques pour des conditions d'utilisation standard

**ANNEXE 4**

- **Gain du convertisseur numérique-analogique**
- **Gain du convertisseur tension-courant**

**5.3.3 Le DAC**

On peut proposer le gain du DAC, convertisseur numérique analogique 16 bits (1 bit de signe + 15 bits de données) puisque que  $\pm 32\,767$  incréments en entrée correspondent à une tension de sortie de  $\pm 10\text{ V}$ .

**5.3.4 Le convertisseur tension / courant**

Le courant qui alimente le moteur est issu d'une conversion tension – courant de facteur  $K_{UI} = 0,17\text{ A.V}^{-1}$ .