TP SYSTEMES ASSERVIS: ROBOT 5 AXES *ERICC 3*

La durée est de *deux heures* et les activités feront l'objet d'un *compte-rendu*.

Le Groupe de **l'îlot de TP** sera constitué de:

- Un *Chef de Projet*, responsable du bon déroulement du TP et unique rédacteur du compte rendu de TP rendu impérativement en fin de séance;
- Un *Analyseur Expérimentateur* prenant en charge l'aspect **mesure** et **expérimentation** sur le système réel;
- Un *Analyseur Résolveur* travaillant sur la **modélisation** du système réel et la **résolution** du modèle par des outils analytiques ou numériques.

<u>NB</u>: Il est important que chaque personne constituant l'îlot échange de poste entre chaque séance de TP. La fonction de chacun est à indiquer sur le compte rendu, S.V.P. Si l'îlot n'est constitué que de deux personnes, le *Chef de Projet* devra aussi prendre en charge la fonction d'*Analyseur Résolveur*.

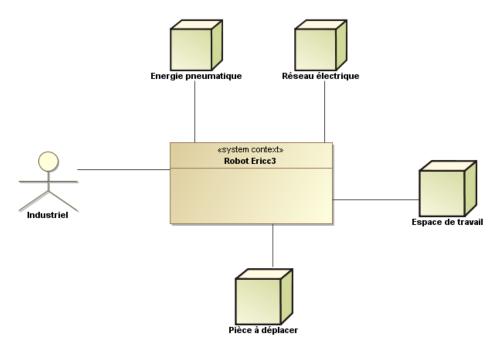


Programme - Compétences				
Programme - Compétences				
A31	ANALYSER Architectures fonctionnelle et structurelle : diagrammes de définition de blocs, chaîne directe, système asservi, commande.			
A51	ANALYSER	Grandeurs utilisées: unités du système international, homogénéité des grandeurs		
B24	MODELISER	Systèmes linéaires continus et invariants: Calcul symbolique, fonction de transfert		
B25	MODELISER	Signaux canoniques d'entrée: échelon, rampe.		
B26	MODELISER	Schéma-bloc: fonction de transfert en chaîne directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée		
B27	MODELISER	Linéarisation des systèmes non linéaires		
B28	MODELISER	Modèles de comportement		
C23	RESOUDRE	Rapidité des SLCI: temps de réponse à 5%		
D37	EXPERIMENTER	Identification temporelle d'un modèle de comportement		

OBJECTIFS DU TP:

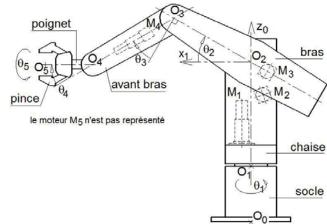
- Manipuler et appréhender le fonctionnement d'un système automatisé d'asservissement en position.
- Modéliser le système sous forme de schéma bloc.
- Identifier le système à un système du second ordre et déterminer ses caractéristiques dans divers cas.
- **Simuler** le système sous *Matlab Simulink* et déterminer les **écarts** entre résultats expérimentaux et simulation numérique.

1. PRESENTATION DU SYSTEME : ROBOT 5 AXES ERICC 3



Les applications utilisant des robots industriels sont très nombreuses (quelques dizaines de milliers de robots installés en France). On appelle généralement robot un système mécanique articulé programmable capable de prendre en compte son environnement. L'effecteur monté à l'extrémité du robot est spécifique de l'application. Le robot ERICC 3 (voir figure ci-dessous) présent dans le laboratoire est lui muni d'une pince à mors parallèles standard.



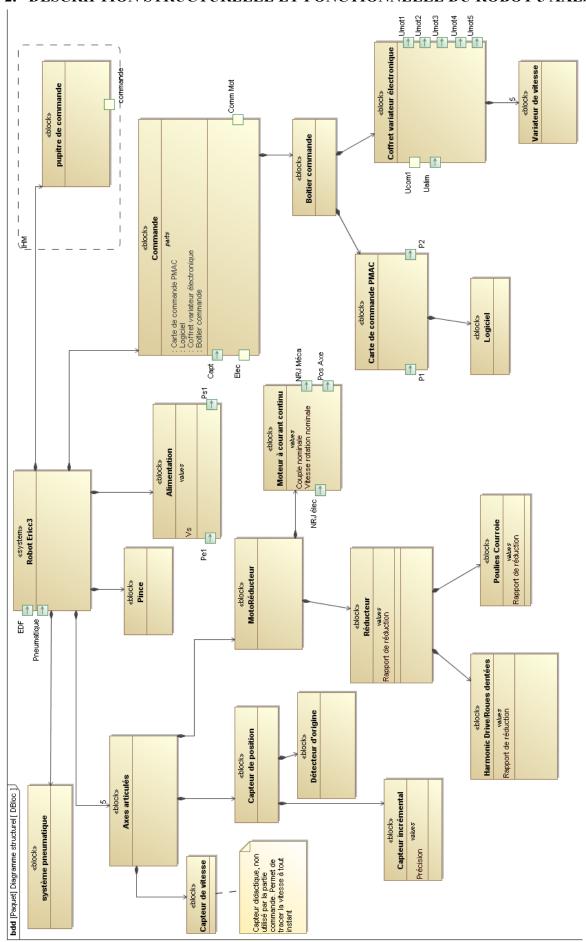


Le robot est un constituant alliant naturellement la mécanique et l'automatique. Sa structure mécanique se divise en deux parties : le **porteur** associé aux trois premiers degrés de liberté (positionnement d'un point de la pince) et une **main ou préhenseur** à deux ou trois degrés de liberté (orientation angulaire de la pince) .

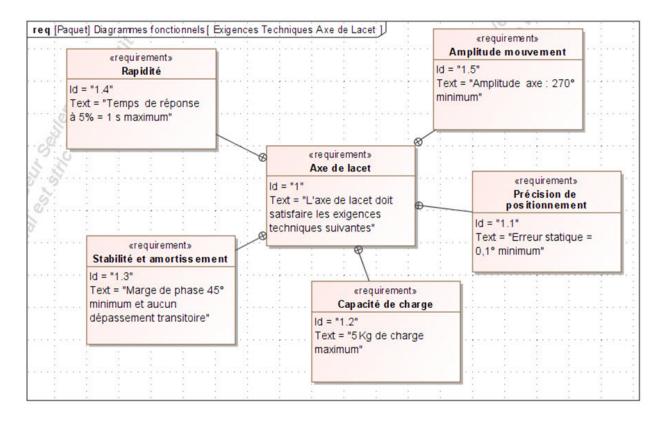
Ce robot comprend les éléments de structure mécanique suivants :

Le socle La chaise
Le bras L'avant-bras
Le poignet La pince

2. DESCRIPTION STRUCTURELLE ET FONCTIONNELLE DU ROBOT 5 AXES



T.P. SYSTEMES ASSERVIS: Robot ERICC 3



Le système automatisé robot est constitué :

- D'un **ordinateur** avec logiciel de commande, dont la fonction principale est de contrôler le robot tant au niveau de ses déplacement qu'au niveau de son dialogue avec les périphériques ;
- D'une **carte de commande** d'axes qui assure l'ensemble des asservissements. Le Contrôle des axes est géré de manière autonome par le processus local indépendamment du calculateur ;
- D'un coffret de puissance comportant notamment :
 - o Les amplificateurs de puissance;
 - o Les alimentations à partir du 220 V;
 - O Les contacteurs de commande de freins ;
 - L'électrovanne de commande de la pince pneumatique.

L'ensemble de ces éléments de structure permet de réaliser cinq chaînes fonctionnelles de type axe numérique constituées :

- D'un calculateur délivrant les consignes générales d'organisation des déplacements ;
- > D'un processeur de commande d'axes délivrant les consignes du modèle des lois de déplacements choisies
- D'un **correcteur** (comportant la fonction d'amplification) délivrant une consigne corrigée en fonction de l'état du système.
- D'un préactionneur (variateur) qui commande l'alimentation en énergie de l'actionneur;
- D'un actionneur (moteur électrique à courant continu) fournissant un couple pour une vitesse données ;
- D'un **système dynamique** (réducteur, guidages, inertie, charge) répondant aux sollicitations extérieures avec rapidité, précision, stabilité;
- D'un **capteur** (codeur incrémental) monté sur l'arbre moteur délivrant la mesure de vitesse et de position de cet arbre moteur par rapport à son stator (partie fixe).

Q.1: Sur le Document Réponse DR1 (cf. fin du sujet), compléter le schéma bloc fonctionnel modélisant le système Ericc 3.

3. PRISE D'ORIGINE ET PILOTAGE

Mettre l'ordinateur **puis** le coffret sous tension (**NB** : ordre important à respecter !). A partir de Windows, lancer le logiciel de pilotage du robot en cliquant sur l'icône *ERICC 3*.

Remarque: Pour toutes les opérations de pilotage du robot, on se reportera au Dossier Ressource.

3.1. Prise d'origine

Après la mise sous tension et le lancement de l'exécutable de pilotage, il est nécessaire d'effectuer une prise d'origine de tous les axes du robot.

- Pour cela, dans le menu déroulant *Robot*, valider l'option *Déplacement manuel*. Une boîte de dialogue vous informe que la prise d'origine n'a pas été effectuée ;
- La fenêtre de pilotage manuel du robot apparaît alors, avec dans son coin inférieur droit une option prise d'origine que vous devez activer.
- A la fin de la prise d'origine, vous entendez le moteur de mise en rotation du poignet s'activer sans effet... C'est normal (un élève indélicat ayant cassé le réducteur irréversible...), il vous faut mettre le poignet en position d'origine en le tournant à la main.

3.2. Pilotage manuel

Nous allons modifier manuellement la posture de départ afin de se placer dans des configurations particulières.

F Effectuer quelques déplacements dans le repère articulaire et dans le repère cartésien.

4. MESURES TEMPORELLES EN BOUCLE FERMEE

Le logiciel du robot ERICC 3 dispose de fonctionnalités permettant l'analyse de réponse temporelles à un échelon de consigne (de position) pour l'axe de lacet, et ce en *boucle ouverte* et en *boucle fermée*.

On se reportera à la notice d'utilisation incluse dans le Dossier Ressource ;

4.1. Etude de l'influence de l'inertie sur les performances du système

Afin d'apprécier l'influence de l'inertie due à la configuration des pièces en mouvement de rotation autour de l'axe de lacet, les essais seront effectués suivant deux configurations suivantes :

Configuration 1: Le bras, l'avant bras et le poignet seront en position verticale.

Configuration 2: Le bras, l'avant bras et le poignet seront en position horizontale.

Pour régler les paramètres du correcteur PID, cliquer sur l'onglet « *Robot* » puis « *Paramètrage Correcteur* ». Pour chaque configuration présentée ci-dessus, le réglage du correcteur sera le suivant :

- $Kp = 10^6$
- Ki = 20000
- $\bullet \quad Kd = 600$

Prendre un échelon d'amplitude 30° et de durée 10^{3} ms

 \mathbb{Q} .2: Effectuer un essai avec consigne échelon de 30°, en **boucle fermée** pour chaque configuration et obtenir la courbe $\theta = f(t)$;

Analyse des courbes :

Sélectionner la courbe et cliquer droit pour afficher sur celle-ci :

- La consigne;
- La bande d'erreur ;

L'option paramètre vous précise les valeurs de :

- Consigne;
- Valeur maxi;
- Durée de stabilisation

 → Temps de réponse ;
- Overshoot

 Dépassement en pourcentage.

On rappelle les formules suivantes concernant les systèmes du 2ème ordre :

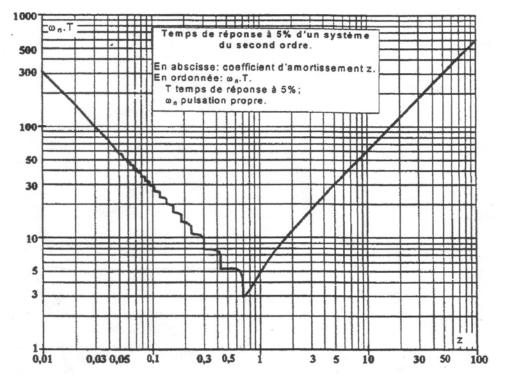
- K le gain statique du système par la valeur finale : $\theta_{sa^{\circ}}(+\infty) = K \cdot \theta_{ca^{\circ}}(+\infty)$
- z le facteur d'amortissement du système par la formule des dépassements relatifs :

$$D_{1\%} = \left| \frac{D_1}{\theta_{sa^{\circ}}(+\infty)} \right| = e^{\frac{-z \cdot 1 \cdot \pi}{\sqrt{1 - z^2}}} \quad \Leftrightarrow \quad z = \sqrt{\frac{\left(\ln D_{1\%}\right)^2}{\pi^2 + \left(\ln D_{1\%}\right)^2}} \quad (\text{voir cours})$$

• ω_0 la pulsation propre non amortie du système par la formule de la pseudo-période

$$T_a = \frac{2\pi}{\omega_a} = \frac{2\pi}{\omega_0 \cdot \sqrt{1-z^2}} \quad \Leftrightarrow \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_a \cdot \sqrt{1-z^2}}$$

- \mathbb{Z} Q.3 : A partir du D_1 % (premier dépassement en pourcentage de la valeur finale), calculer le coefficient z.
- \mathscr{P} Q.4 : Avec la valeur du temps de réponse et l'abaque donnée ci-dessous, en déduire la pulsation propre ω_n .



Q.5: Conclure quant à l'influence de l'inertie mécanique sur les performances de l'axe de lacet.

4.2. Etude de l'influence du gain d'amplification du correcteur

Nous allons maintenant rester dans la position « bras horizontal » (**configuration 2**), et faire varier le gain d'amplification Kp du correcteur entre 10^3 et 10^6 . On prendra des valeurs nulles pour les autres gains du correcteur (Ki = 0; Kd = 0). On imposera à nouveau en entrée une consigne échelon de 30° .

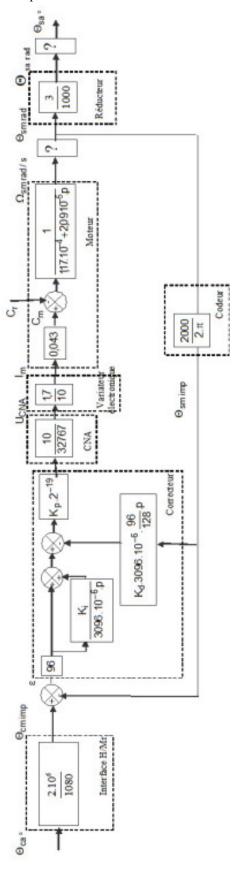
Q.6: Réaliser des mesures pour Kp valant 1.10^3 ; 5.10^3 ; 1.10^4 ; 5.10^4 ; 1.10^5 et 1.10^6 . Remplir le tableau de mesures du Document Réponse **DR2** (cf. fin du sujet). Tracer sous *EXCEL* l'évolution du temps de réponse du système en fonction de Kp.

Q.7: Conclure quant à l'influence du gain de correction (ampli) Kp sur les performances de l'axe de lacet.

5. SIMULATION SOUS MATLAB SIMULINK

Nous allons maintenant modéliser le Système ERICC 3 sous le logiciel *Matlab Simulink* afin de comparer le modèle théorique avec les résultats expérimentaux trouvés précédemment.

➤ Le modèle schéma-blocs incomplet du robot Ericc 3 est donné ci-dessous :



Caractéristiques des constituants de la chaîne fonctionnelle « axe lacet » :

	Utraduit 0 (t) on 0 (t)
	Il traduit θ _{cs} (t) en θ _{cmimp} (t)
Interface Homme/Machine	avec: θ _{ca} (t): consigne de position de l'axe lacet en degré
nomme/wacrime	θ _{om imp} (t): image de la consigne de position de l'arbre du moteur en nombre
	d'impulsions Correcteur Proportionnel Intégral Dérivé (PID)
	avec: K _p : coefficient proportionnel
Commentered	
Correcteur	K _i : coefficient intégral
	K _d : coefficient dérivé
CNA : as a superior aux	T _e : temps d'échantillonnage (qui vaut ici 3096 μs) Il convertit les impulsions en tension: la plage de ±32767 impulsions est donc
CNA: convertisseur numérique analogique	convertie en une plage de ±10 V
16 bits	avec: UCNA(t): tension en sortie du CNA en V
union there is	Pour une plage de ±10 V, il commande le moteur en courant sur une plage de ±1,7 A
Variateur électronique	(limitation du courant moteur réglée à 1,7 A) avec: i _m (t): courant moteur en A
	Piloté par une commande en courant, son fonctionnement est règi par les deux
	équations ci-dessous :
	$c_{m}(t) = K_{m} \cdot i_{m}(t)$
	$c_{m}(t) - c_{r}(t) - f.\omega_{sm rad/s}(t) = J.\frac{d\omega_{sm rad/s}(t)}{dt}$
	avec: C _m (t): couple moteur en N.m
Moteur	C _r (t): couple résistant perturbateur en N.m
	i _m (t) : courant moteur en A
	ω _{sm rad/s} (t): vitesse de rotation de l'arbre du moteur en rad/s
	K _m : constante de couple du moteur de lacet (0,043 N.m/A)
	J: inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur (2,09.10 ⁻⁶ kg.m ²)
	f: coefficient de frottement visqueux (1,17.10 ⁻⁴ N.m.s)
	Il réduit la vites se du moteur : $\frac{\theta_{sm} \circ (t)}{\theta_{sa} \circ (t)} = \frac{\theta_{sm rad}(t)}{\theta_{sa rad}(t)} = \frac{\omega_{sm rad/s}(t)}{\omega_{sa rad/s}(t)} = \frac{1000}{3}$
	avec: θ _{sm} ∘(t): position de l'arbre du moteur en degré
_	θ _{sa •} (t) : position de l'axe lacet en degré
Réducteur	θ _{sm rad} (t): position de l'arbre du moteur en rad
	θ _{sa rad} (t) : position de l'axe lacet en rad
	ω _{sm rad} (s (t) : vitesse de rotation de l'arbre du moteur en rad/s
	ω _{sa rad/s} (t): vitesse de rotation de l'axe lacet en rad/s
	Il traduit $\theta_{sm rad}(t)$ en $\theta_{sm imp}(t)$ en fournissant 2000 impulsions par tour de l'arbre
Codeur	du moteur auquel il est accouplé
Nest Section (1)	avec: θ _{sm rad} (t): position de l'arbre du moteur en rad
	$\theta_{sm\ imp}(t)$: position de l'arbre du moteur en nombre d'impulsions

 $[\]mathcal{Q}$.8: Dans le schéma bloc fourni, donner la fonction de transfert du bloc situé entre Ω_{sm} et θ_{sm} . Comment s'appelle ce bloc?

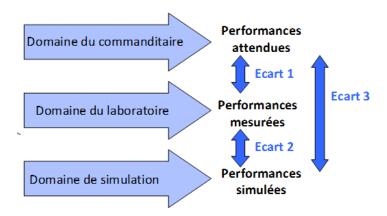
Nous allons à nouveau tester le système modélisé dans la position « bras horizontal » (**configuration 2**), et faire varier le gain d'amplification Kp du correcteur entre 10^3 et 10^6 .

 $[\]mathcal{Q}$.9: Dans le schéma bloc fourni, donner la fonction de transfert du bloc situé entre Ω_{sarad} et θ_{sa} , bloc qui permet de convertir les radians en degrés pour l'angle de sortie θ_{sa} .

Vous disposez sur le Dossier Transfert d'un fichier *Matlab Simulink* (nommé « *SLCI1_TP_Ericc3_Modele_Matlab_Eleve_LMM* ») modélisant le *robot Ericc3* dans la configuration énoncée précédemment.

Q.10: Compléter le modèle *Matlab Simulink* fourni avec les réponses fournies aux deux questions précédentes.

Q.11: Lancer des calculs pour Kp valant 1.10^3 ; 5.10^3 ; 1.10^4 ; 5.10^4 ; 1.10^5 et 1.10^6 . Remplir le tableau de résultats du Document Réponse **DR3** (cf. fin du sujet). Tracer sous *EXCEL* l'évolution du temps de réponse du système en fonction de Kp.

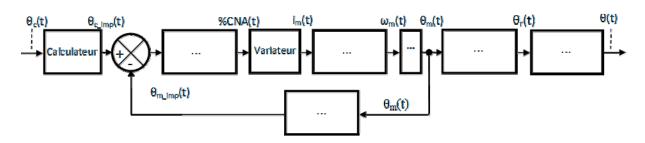


Q.12: Comparer les résultats expérimentaux et les résultats numériques obtenus. Conclure quant à la validité et la précision du modèle employé.

DOCUMENTS REPONSES ROBOT 5 AXES *ERICC 3*

DR1 : Modèle Schéma Blocs

NOMS:		
Classe :		



DR2 : Résultats expérimentaux

Correcteur	Correcteur Stabilité		Rapidité	Précision
Кр	Nombre de dépassements	Valeur du 1 ^{er} dépassement D _{1%}	Temps de réponse T _{r5%}	Erreur statique ε _s
1.10³				
5.103				
1.104				
5.104				
1.105				
1.106				

DR3 : Résultats du modèle numérique Matlab

Correcteur	Stabilité		Rapidité	Précision
Кр	Nombre de dépassements	Valeur du 1 ^{er} dépassement D _{1%}	Temps de réponse T _{r5%}	Erreur statique ε _s
1.10^{3}				
5.103				
1.104				
5.104				
1.105				
1.106				