

Travaux Pratiques - STATIQUE

Robot ERICC3

RAPPELS :

- **Un compte rendu sera rendu à la fin de chaque séance.**
- Chaque compte rendu donnera lieu à une note ainsi que la présentation.
- La présentation sera faite par **l'ensemble des membres du groupe de TP** **(chacun doit parler !!)**

- **A la fin de la séance :**
 - **RANGEZ VOTRE MATERIEL**
 - **ETEIGNEZ LE SYSTÈME**
 - **FERMEZ VOTRE SESSION** (ne pas éteindre l'ordinateur)

Les TPs en ilots (chef de projet, équipe modélisateurs, équipe expérimentateurs) permettent de :

- Développer l'autonomie et la prise d'initiative.
- Initier à l'ingénierie simultanée et au travail collaboratif.



Questions de **REFLEXIONS GLOBALES** pour **TOUTE L'EQUIPE**



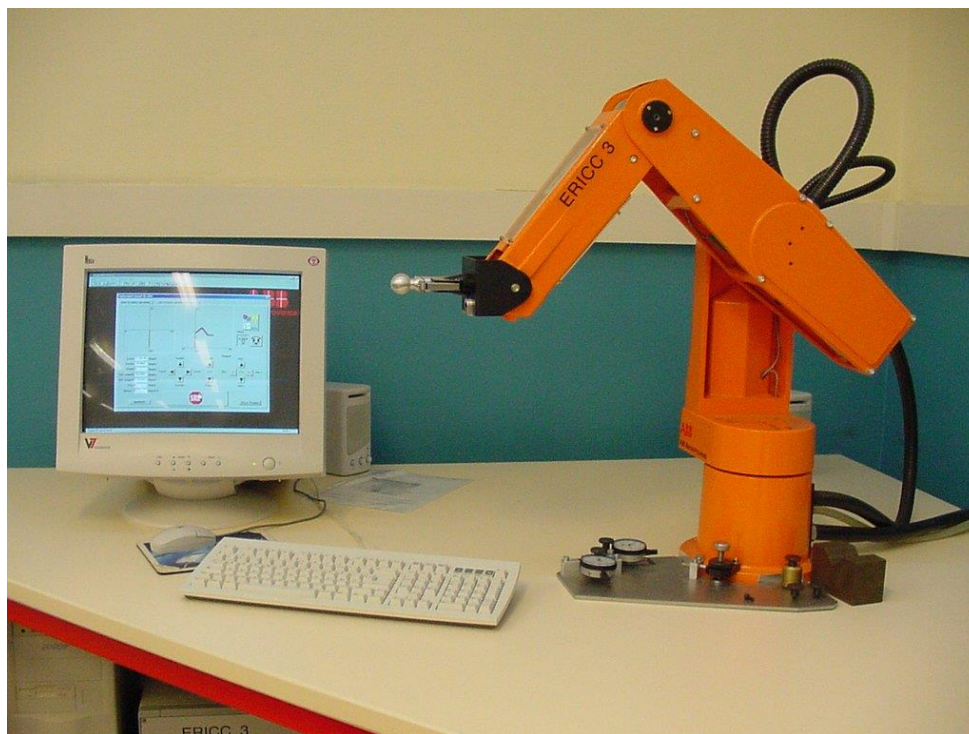
Questions pour **l'EQUIPE EXPERIMENTATEURS**



Questions pour **l'EQUIPE MODELISATEURS**

Le « **CHEF DE PROJET** » sera le principal interlocuteur avec l'enseignant durant la séance de TP lorsqu'il devra présenter l'avancée des travaux de l'équipe. Il sera également en charge de la préparation de la présentation finale et faire le lien entre les binômes pour structurer l'avancée du projet.

Travaux Pratiques - STATIQUE Robot ERICC3



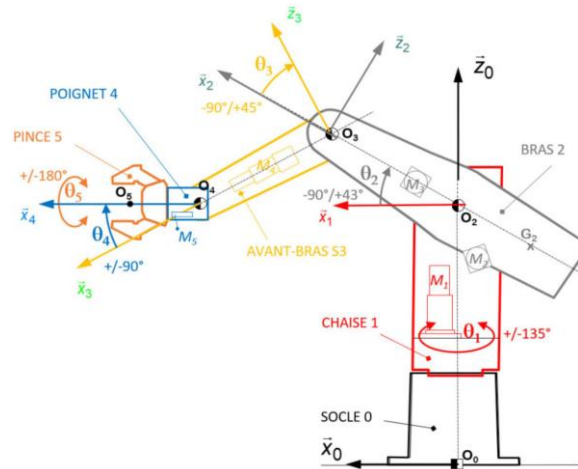
Objectifs du TP

Le but du TP est de mesurer les couples exercés par les moteurs électriques pour maintenir le robot en équilibre et les comparer à des valeurs calculées à partir d'une modélisation.

L'étude portera uniquement sur le moteur d'épaule.

Présentation du matériel étudié

La structure générale du robot est précisée sur le dessin de la figure ci-dessous.



Partie opérative (chaîne d'action)

La partie opérative du robot (système mécanique articulé) est composée de cinq parties principales indiquées sur la figure. Les liaisons entre ces différentes parties (ou segments) sont limitées dans leur amplitude de mouvement en fonction notamment de leur construction (en « chape » ou en « porte à faux »). L'entraînement est réalisé par une motorisation placée au niveau des articulations. Les articulations sont réalisées à l'aide de liaisons assimilables cinématiquement à des liaisons pivots.

Les moteurs sont dimensionnés de manière décroissante, le premier moteur (axe de lacet) devant entraîner l'ensemble en aval et le dernier uniquement la pince.

Partie commande

L'entrée des consignes de positionnement angulaire des différents moteurs s'effectue à partir d'un ordinateur comportant un logiciel de simulation pilotage, interfacé avec la commande des moteurs :

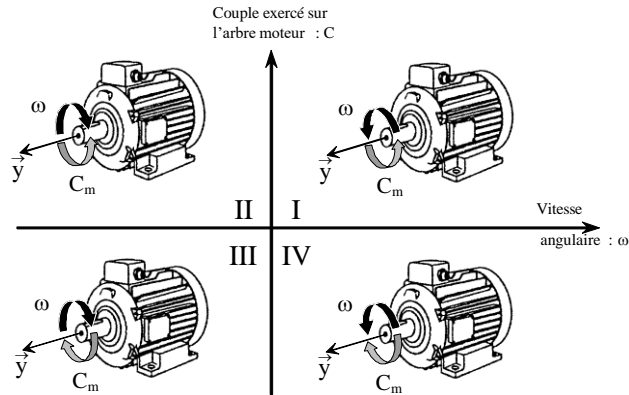
La carte d'interface analogique numérique entre l'ordinateur et l'électronique de commande des moteurs permet en « temps réel » :

- de transmettre les consignes calculées par l'ordinateur vers chacun des axes commandés,
- d'acquérir les différentes mesures de position, de vitesse et de couple pour les visualiser.

Analyse de la commande de l'axe épaule du robot

Comportement du moteur électrique

Le comportement en régime permanent d'un moteur électrique est caractérisé par son sens de rotation et le sens de la charge (couple) qui lui est appliqué. Il y a donc quatre zones (ou quadrants) de fonctionnement.



Remarque : Le couple moteur C_m est de sens opposé au sens de la charge qui lui est appliquée.

On exprime la puissance mécanique P_m développée par le moteur par : $P_m = C_m \cdot \omega$

Le fonctionnement de ce convertisseur d'énergie (conversion d'une énergie électrique en une énergie mécanique) est du type :

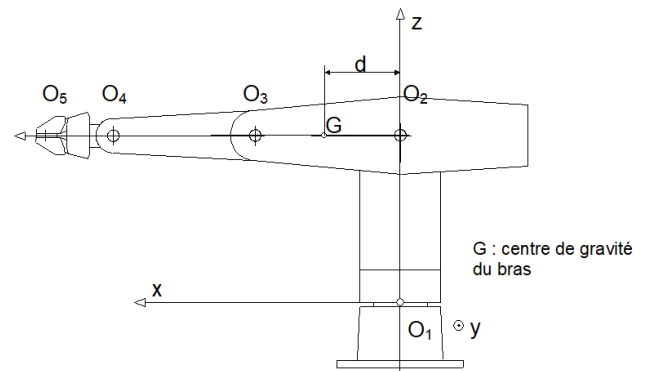
- **moteur** pour les quadrants I et III puisque la puissance $P_m > 0$,
- **frein** pour les quadrants II et IV puisque la puissance $P_m < 0$.

Nous étudierons la chaîne de transmission de puissance du bras lorsqu'il est en mouvement autour de la position horizontale (voir figure ci-contre). On suppose que le moteur d'entraînement du bras tourne dans le même sens que le bras.



Pour les deux sens de rotation du bras, indiquer :

- Le signe de la vitesse angulaire ω_m du moteur.
- Le signe de la projection sur la direction y du moment en O_2 de l'action de la pesanteur sur le bras.
- Le quadrant de fonctionnement du moteur d'entraînement.



Signe du courant induit

Le moteur d'entraînement est du type moteur à courant continu à aimants permanents commandé par l'induit. Pour ce type de moteur (voir « **DOSSIER RESSOURCES** »), le couple électromagnétique (ou couple moteur) C_m et l'intensité du courant i qui parcourt l'induit sont liés par la relation :

$$C_m(t) = K_t \cdot i(t)$$

Le « **DOSSIER RESSOURCES** » fournit l'équation mécanique du moteur. En prenant en compte le couple de frottements secs, on obtient :

$$C_m(t) - C_r(t) - C_{fsec}(t) - f\omega_m(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt}$$



Donner l'expression de cette équation en régime permanent, ce qui correspond à une tension aux bornes de l'induit constante, des perturbations constantes et donc une vitesse angulaire constante.



Comment obtient-on cette équation ?



Si l'on suppose qu'il n'y a pas de résistance aux frottements (secs et visqueux), quel doit être le signe de l'intensité en régime permanent ? Commenter.

Manipulations et mesures du courant induit

Mise en marche, initialisations

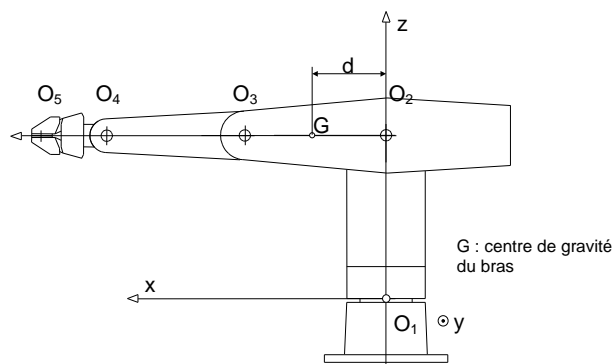
Le « **DOSSIER RESSOURCES** » fourni les procédures pour mettre en marche le système, faire la prise d'origine et déplacer les articulations du robot.



Initialiser le robot par une prise d'origine en suivant la procédure décrite dans le « **DOSSIER RESSOURCES** ».



Positionner le robot dans la configuration de la figure ci-dessous (tous les angles doivent être nuls sauf l'angle 'coude' qui vaut -90°), en utilisant les procédures décrites dans le « **DOSSIER RESSOURCES** ».



Nous allons mesurer l'intensité du moteur pour les deux sens de rotation et pour plusieurs charges placées dans la pince du robot, en se limitant à des mouvements autour de la position horizontale.

Préparation de la mesure en montée

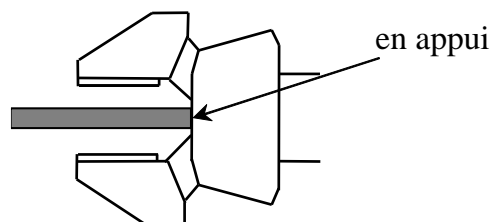
Nous allons effectuer 3 séries de mesures : à vide (sans masse dans la pince), en plaçant 500 g puis 1 kg dans la pince.



En utilisant les procédures du « **DOSSIER RESSOURCES** », Ouvrir la pince, placer la masse dans la pince, bien centrer la masse en appui sur le fond de la pince, puis fermer la pince.



NE PAS FORCER SUR LA PINCE + NE PAS LA FAIRE TOURNER, SINON VOUS CASSEREZ L'AXE.



Protocole de manipulation pour chaque série :

Prendre en main le pilotage du robot (voir la notice d'utilisation du logiciel dans le « **DOSSIER RESSOURCES** », notamment les procédures « Commande en coordonnées articulaires ») et réaliser quelques mouvements.



Placer le robot dans la configuration où l'angle d'épaule vaut + 25°.



Choisir un angle « épaule » de - 45°. Au cours du mouvement, relever la valeur moyenne du courant épaule.



Reporter les valeurs numériques du courant i et du couple moteur C_m dans un tableau de la forme suivante :

	Mesures en montée (+ 25° à - 45°)		Mesure en descente (- 45° à + 25°)	
	Intensité i (A)	Couple C_m (N.m)	Intensité i (A)	Couple C_m (N.m)
Sans masse				
500 g				
1 kg				



Recommencer la même procédure avec 500 g, puis 1 kg.



Lors d'un changement de masse embarquée, pensez à tenir la masse avant d'ouvrir les mors de la pince.

Nous allons effectuer de nouveau 3 séries de mesures (0, 500 g et 1 kg) pour la phase de descente.



Placer le robot dans la configuration suivante (tous les angles sont nuls sauf l'angle d'épaule qui est à -45°).



Choisir un angle « épaule » de $+25^\circ$. Au cours du mouvement, relever la valeur moyenne du courant épaule.



Reporter les valeurs numériques dans le tableau précédent.



Recommencer la même procédure avec 500 g puis 1 kg.



Lors d'un changement de masse embarquée, pensez à tenir la masse avant d'ouvrir les mors de la pince.

Des courbes sont proposées dans le « **DOSSIER TECHNIQUE** » pour une mesure de courant épaule avec une vitesse de $15 \text{ }^\circ/\text{s}$ et pour différentes valeurs de masse placées dans la pince. On remarque que les courbes sont assez bruitées. L'asservissement de position conduit à une variation du courant autour d'une valeur moyenne.



Relever, sur ces courbes, les valeurs moyennes de i pendant la phase de déplacement à vitesse constante pour des masses placées dans la pince de 0, 500 g et 1 kg et les comparer aux mesures faites précédemment.

Analyse des résultats obtenus



En ne prenant pas en compte les mesures correspondant au bras à vide, le signe du courant est-il compatible avec la réponse apportée à la partie **MODELISATION** ?



Conclure sur les valeurs du courant i lorsque la masse est constante et la vitesse varie. De même lorsque la vitesse est constante et la masse varie.

Mise en évidence du frottement sec

Par analogie avec l'étude précédente, on modifie l'expression $C_m(t) - C_r(t) - C_{fsec}(t) - f\omega_m(t)$ de la manière suivante : $C_m(t) - C_r(t) - \varepsilon|C_{fsec}(t)| - f\omega_m(t)$ avec $\varepsilon = \text{signe de } \omega_m(t)$.

Puis de la manière suivante : $C_m(t) - C_r(t) - \varepsilon|C_f(t)|$.



A l'aide des caractéristiques du moteur données dans le « **DOSSIER TECHNIQUE** » et des mesures précédentes (le « **DOSSIER TECHNIQUE** » donne les courbes des différentes mesures). Evaluer le couple résistant dû aux frottements : $|C_f(t)|$.

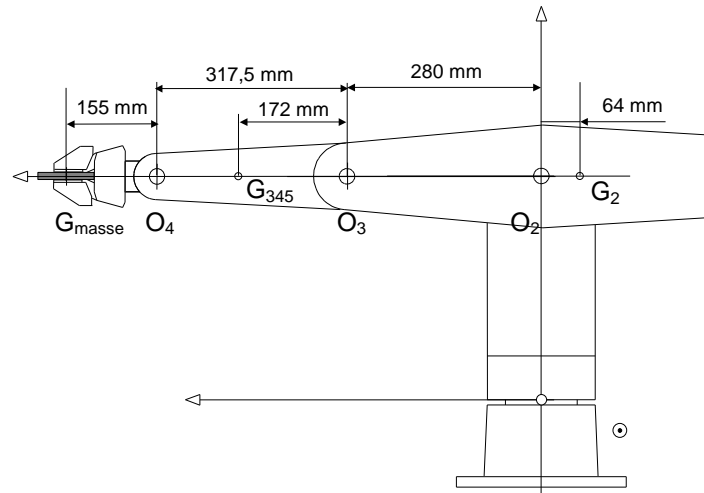


Commenter la valeur mesurée du courant dans le cas du bras sans masse dans la pince.

Vérification de la cohérence des résultats expérimentaux



À partir du modèle ci-dessous, déterminer la projection sur la direction y du moment en O_2 de l'action de la pesanteur en fonction de la masse tenue par la pince.



- G_2 : centre de gravité du bras de masse 15,5 kg
- G_{345} : centre de gravité de l'ensemble avant-bras et poignet pince, de masse 3,5 kg
- G_{masse} centre de gravité de la masse tenue dans la pince

La chaîne de transmission de puissance du bras est constituée d'un réducteur et d'un système poulies courroie (voir « **DOSSIER TECHNIQUE** »).

Nous pouvons considérer que le rendement du réducteur et du système poulies courroies est de 1, car nous avons déjà pris en compte globalement les frottements dans l'expression de C_f .



Déterminer C_f en fonction du moment de l'action de la pesanteur, calculée précédemment, du rapport de réduction du réducteur ... etc. Voir « **DOSSIER TECHNIQUE** ».



Exprimer le courant moteur i en fonction de la masse tenue dans la pince du robot.



Faire les applications numériques. Vérifier la cohérence des résultats avec les mesures.

Bilan énergétique



À partir des équations du moteur à courant continu (voir « **DOSSIER RESSOURCES** »), faire un bilan énergétique littéral du moteur.

Pour faire le bilan énergétique, une mesure supplémentaire est nécessaire, demander à l'équipe **EXPERIMENTATEURS** de faire cette mesure.



Calculer la puissance électrique, la puissance mécanique utile, ainsi que les pertes pour le chargement de 1 kg dans la pince, en montée et en descente.



Y a-t-il un risque pour la carte de commande du moteur ?

Remarque : La perte fer est négligeable si $K_e = K_t$.

Calcul des couples théoriques à partir d'un modèle

Dans le « **DOSSIER TECHNIQUE** », une modélisation du bras, de l'avant-bras et de la pince est proposée, ainsi que celle des différentes transmissions.



A partir de ces données, calculer les couples théoriques exercés par les 2 moteurs électriques dans les différentes configurations. Indiquer les expressions algébriques de ces couples dans les 3 configurations (0, 500 g et 1 kg) et pour les 3 postures. Remplir le tableau ci-dessous.

Posture	Masse = 0g	Masse = 500g	Masse = 1kg
1			
2			
3			

Détermination expérimentale des couples

Démarche mise en œuvre

Le robot est placé dans 3 postures différentes avec éventuellement la présence d'une masse à l'extrémité du bras. Pour chaque posture, on mesure les courants d'alimentation des moteurs électriques. Les couples exercés par les moteurs sont proportionnels aux courants et le coefficient de proportionnalité est connu (voir « **DOSSIER TECHNIQUE** »).

Procédure à suivre



A l'aide des procédures de fonctionnement du robot (voir la notice d'utilisation du logiciel dans le « **DOSSIER RESSOURCES** », notamment les procédures « Commande en coordonnées articulaires »), réaliser un mouvement du bras du robot pour 3 postures différentes (seul le mouvement du coude entre le bras et l'avant-bras sera étudié ici).

- 1^{ère} posture : Bras et avant-bras à l'horizontal.
- 2^{ème} posture : Bras à l'horizontal et avant-bras plié vers le bas de 45°.
- 3^{ème} posture : Bras à l'horizontal et avant-bras plié vers le bas de 90°.



Déterminer les valeurs des angles (θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 et θ_5) pour les trois postures différentes (voir la définition des angles dans le « **DOSSIER TECHNIQUE** ». Attention aux angles orientés et aux signes relatifs à la direction \vec{y}_1).



Pour chaque posture, relever la courbe du courant en fonction du temps et notamment la valeur moyenne du courant. Les valeurs seront reportées dans le tableau ci-dessous.

Posture	Masse = 0g	Masse = 500g	Masse = 1kg
1			
2			
3			



En utilisant les procédures détaillées dans le « **DOSSIER RESSOURCES** », activer la pince pour saisir une masse (500 g ou 1 kg) que vous aurez placé manuellement entre les mors.



Lors d'un changement de masse embarquée, pensez à tenir la masse avant d'ouvrir les mors de la pince.



Procéder à de nouvelles acquisitions avec une masse de 500 g puis 1 kg.

Rôle du contrepoids

Les procédures pour la mise en position d'origine du robot ainsi que le déplacement des parties du robot sont disponibles dans la notice du logiciel dans le « **DOSSIER RESSOURCES** ».



Mettre le robot en position de prise d'origine.



Faire varier l'angle d'épaule et déterminer pour quelle plage d'angle de l'épaule le courant épaule est proche de 0 A. Il s'agit de la position de référence.



L'ensemble {bras + avant-bras + poignet + pince} est en équilibre dans la position de référence et le courant moteur est nul. Justifier cette valeur nulle. Quelle hypothèse peut-on donc faire ?



Faire varier l'angle d'épaule à -75° et vérifier que le courant épaule n'est plus nul.



Justifier cette valeur. L'hypothèse faite précédemment est-elle toujours valable ?



Quel est le rôle du contrepoids vis-à-vis du moteur ?

Validation



L'objectif pour le groupe est de comparer les résultats obtenus expérimentalement et ceux obtenus théoriquement. Calculer et commenter les écarts éventuels.

