

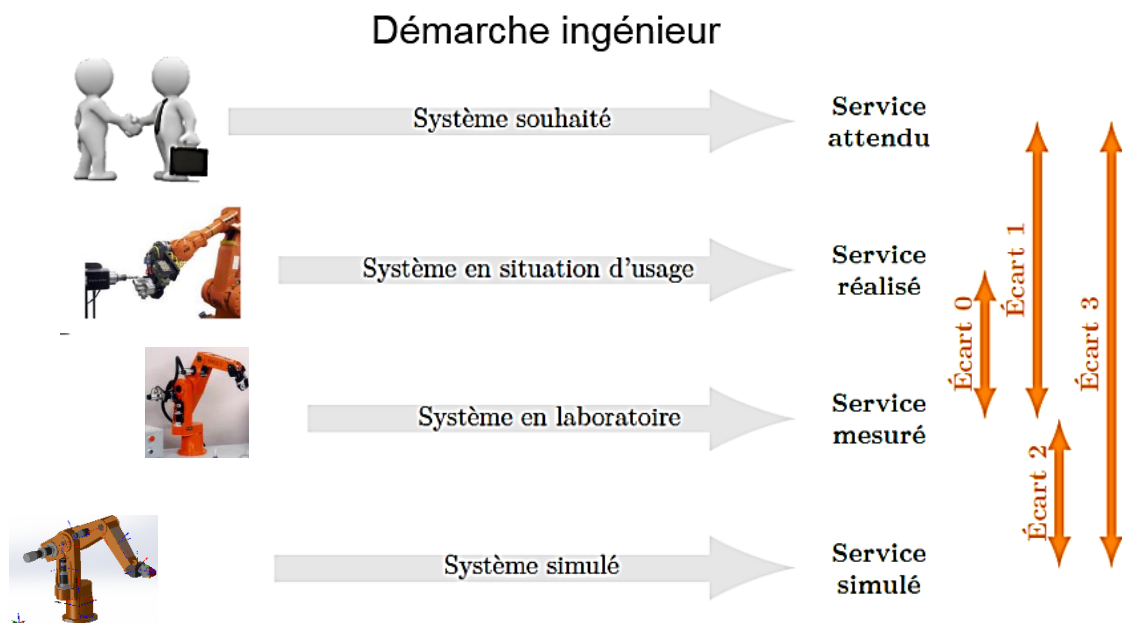
Robot anthropomorphe Ericc3 : performances statiques

Objectifs

Déterminer la charge maximale que le robot est capable de soulever dans la pince, compte tenu des capacités du moteur de l'épaule, et des pertes par frottement.

Déterminer le couple de frottement équivalent de l'ensemble mobile rapporté à l'arbre moteur.

Durée de la séance : 2 heures en permutation à mi-séance. La séance comporte donc deux « mi-temps ».



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

- Lire le sujet
- **Faire l'étude statique sur feuille, partie 2, q.3/4 (ne doit pas être abordé en séance de TP, contrôlé en début de séance de TP).**
- Revoir la notion de bras de levier d'une force par rapport à un point
- Revoir le calcul d'un moment par bras de levier et produit vectoriel
- Revoir le théorème du moment statique
- Revoir la relation couple-intensité pour un moteur électrique CC
- Revoir le calcul d'un rapport de réduction



Vous disposez

- Du sujet
- Fiche plastique couleur descriptive du robot déjà posée sur la table
- Modèle causal Scilab/Xcos



Vous devez rendre

- Rédaction soignée des réponses et de toute remarque personnelle sur votre cahier de travaux pratiques.



PARTIE 1 : EXPERIMENTATION

Mise en route du robot – Prises d'origine

Se rapporter à l'annexe 1 : mise en route du robot et prises d'origine.

- Mettre en route Ericc
- Effectuer les prises d'origine (les capteurs, qui sont des codeurs relatifs, nécessitent une prise d'origine)

Mise en position horizontale

Placer le robot dans sa position de départ, c'est-à-dire ensemble {bras, avant-bras, pince} alignés e, position horizontale comment sur la photo ci-dessous. Les paramètres sont :

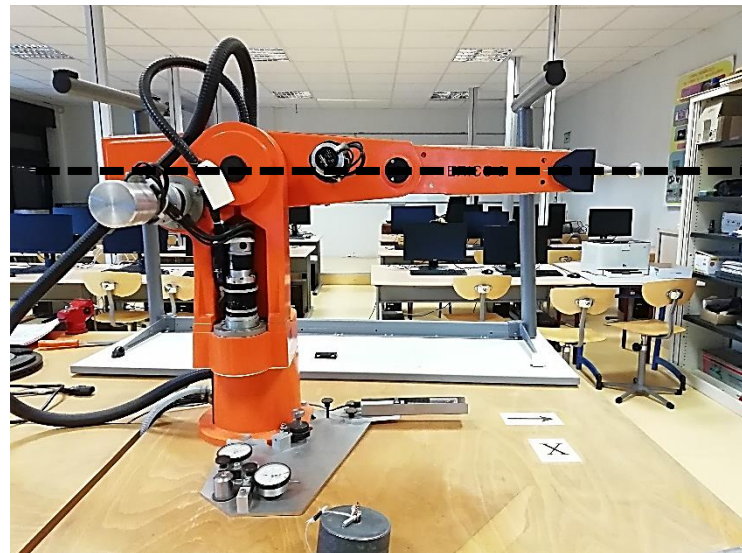
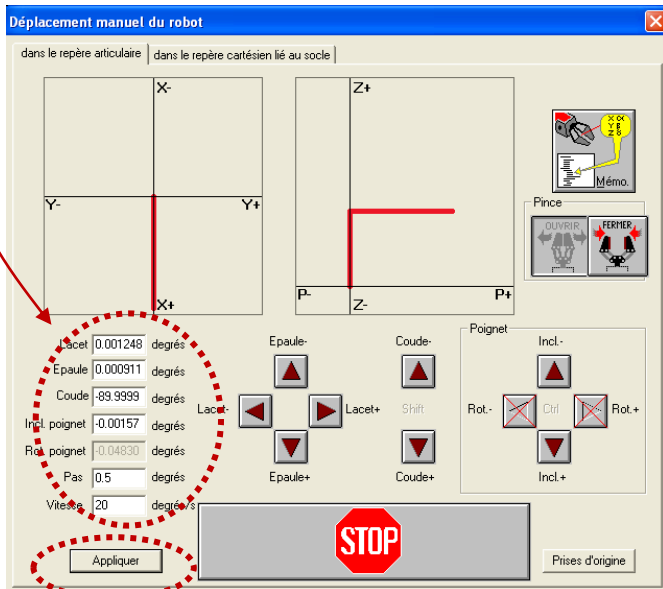
Lacet : $\theta_1 = 0^\circ$

Epaule : $\theta_2 = 0^\circ$

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

Poignet : $\theta_4 = 0^\circ$

... valider par « Appliquer ».

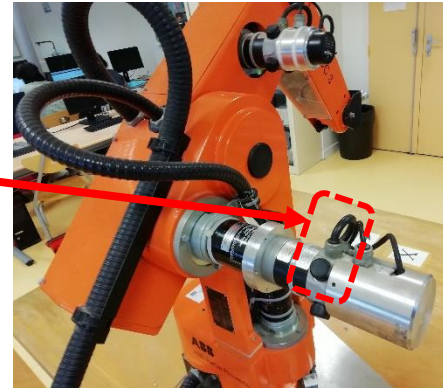


On évalue le couple que le moteur fournit par mesure indirecte de l'intensité absorbée. La loi linéaire, bien connue (!), est rappelée : $C_{mot} = K_T \times I_{mot}$. La constante de couple K_T du servomoteur Parvex à courant continu est donnée dans la documentation constructeur en annexe.

Mesure du couple C_{mot} : principe

Il n'est pas possible de mesurer en statique le couple moteur.

En effet le moteur est équipé d'un frein automatique à manque de courant, qui bloque l'axe moteur dès qu'on ne le commande pas. C'est ce qui se passe en ce moment quand vous lisez le présent sujet : le moteur n'est pas alimenté il n'exerce pas de couple ! Son rotor est juste bloqué par un frein : zone indiquée ci-contre.



On ne peut donc pas mesurer le couple par courant absorbée en statique car c'est le frein qui bloque et pas le moteur !

On va donc un peu « tricher » en imposant un mouvement de rotation à vitesse très lente à l'épaule autour de la position horizontale $\theta_2 = 0^\circ$: de 0° à $+5^\circ$. Le moteur est alors alimenté en courant, on déduira le couple moteur C_{mot} exercé.

Vous me direz « mais alors on n'est plus en statique, le PFS ne peut plus s'appliquer ». Et bien... si, nous sommes en statique car le mouvement est à vitesse angulaire constante et faible. On est en droit d'appliquer le théorème du moment à l'ensemble mobile.

En outre comme l'angle reste très proche de 0° , les bras de levier sont quasiment inchangés donc les conditions « horizontales » sont conservées.

Manipulation : imposer un mouvement d'épaule programmé

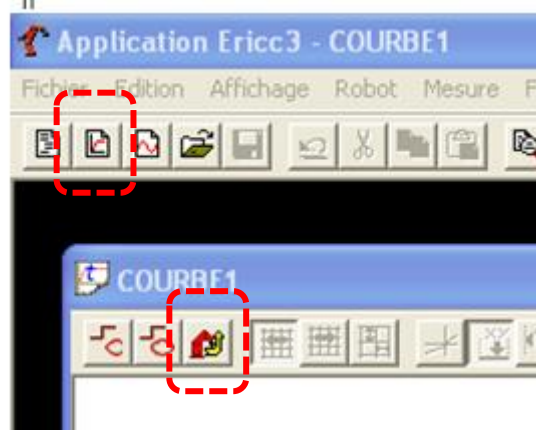
Le programme **STAT110.MPC** (programme n°110 pour la carte de commande Ericc) réalise un déplacement de l'ensemble (bras + avant-bras) de la façon suivante :

- Déplacement lent ($2^\circ/s$) du bras à partir de la position horizontale
- Amplitude de θ_2 de 0° à $+5^\circ$
- Retour en position initiale $\theta_2 = 0^\circ$

Pour utiliser ce code suivre le déroulement d'opérations simples ci-dessous.

Dans la barre d'icônes, sélectionner la 2^{ème} icône « **nouvelle mesure temporelle** » .

Dans la fenêtre suivante, cliquer sur la 3^{ème} icône  « **enregistrement d'un déplacement programmé** ».



Dans la boîte de dialogue qui apparaît, sélectionner l'affichage des grandeurs :

- Position mesurée de l'épaule
- Courant moteur de l'épaule

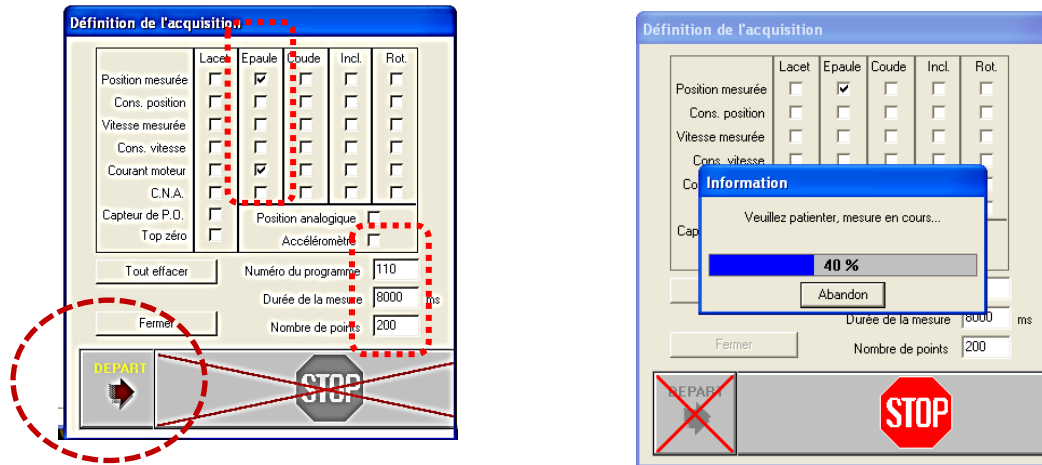
Entrer le n° du programme à utiliser : **110**

Donner la durée de mesure : **8000 ms**

Fixer le nombre de points : **200**

Lancer l'acquisition : **Départ / OK**.

Fermer alors la fenêtre ayant permis de définir l'acquisition.

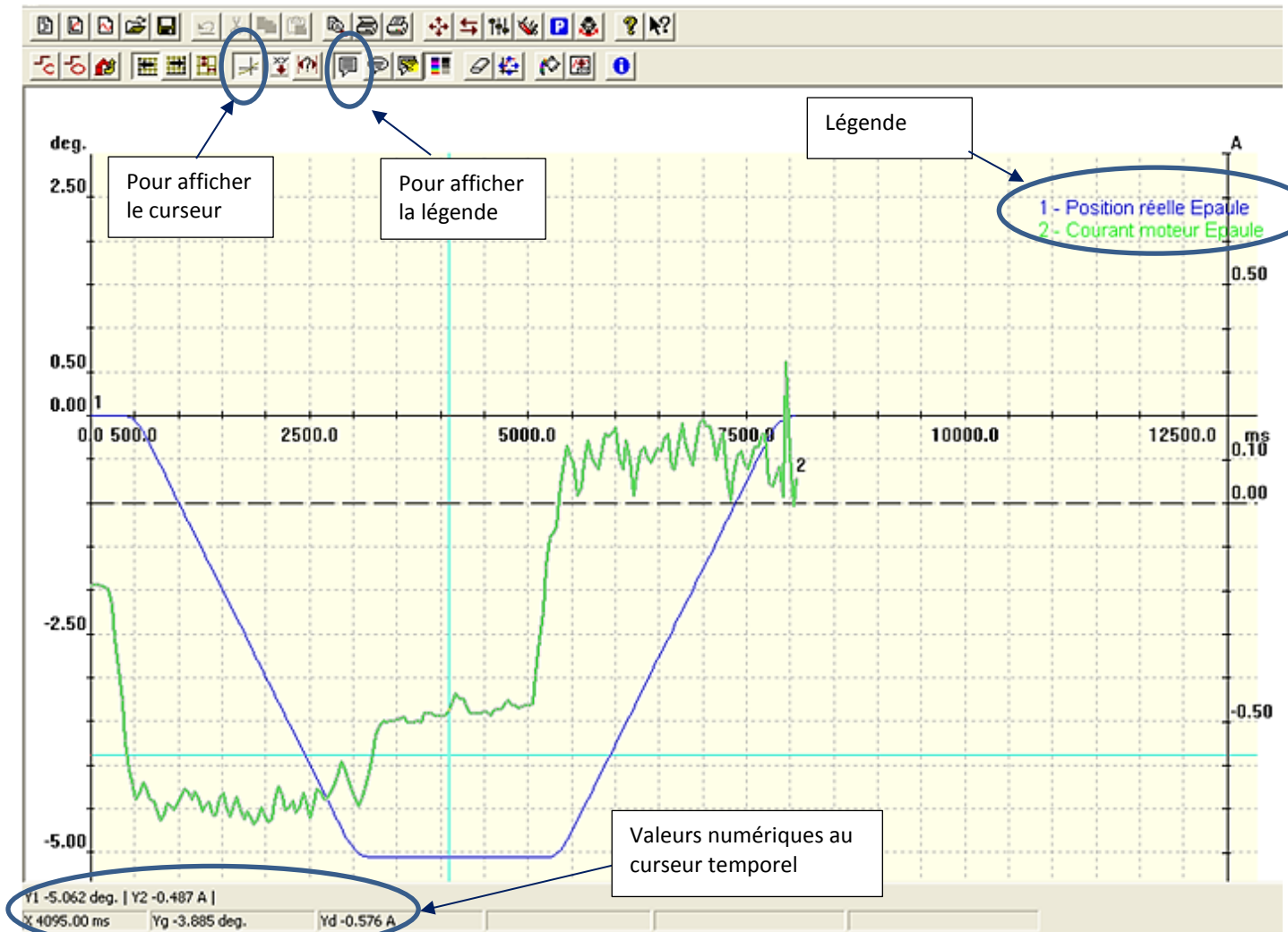


Apparition de la courbe : affichage (voir illustration légendée ci-après)

- Afficher la légende
- Afficher le curseur : celui-ci vous permet de visualiser la valeur numérique des grandeurs physiques mesurées (en bas de l'écran quand vous promenez le curseur le long des courbes)

Pour lisser une courbe : intensité par exemple

- clic sur la courbe d'intensité pour la mettre en gras. Puis, clic droit et cocher « filtre ». La courbe se lisse.
Remarque : si la courbe disparaît par manipulation malencontreuse, pas de panique. Faites la réapparaître en appuyant sur la touche « majuscule » et clic droit simultané.

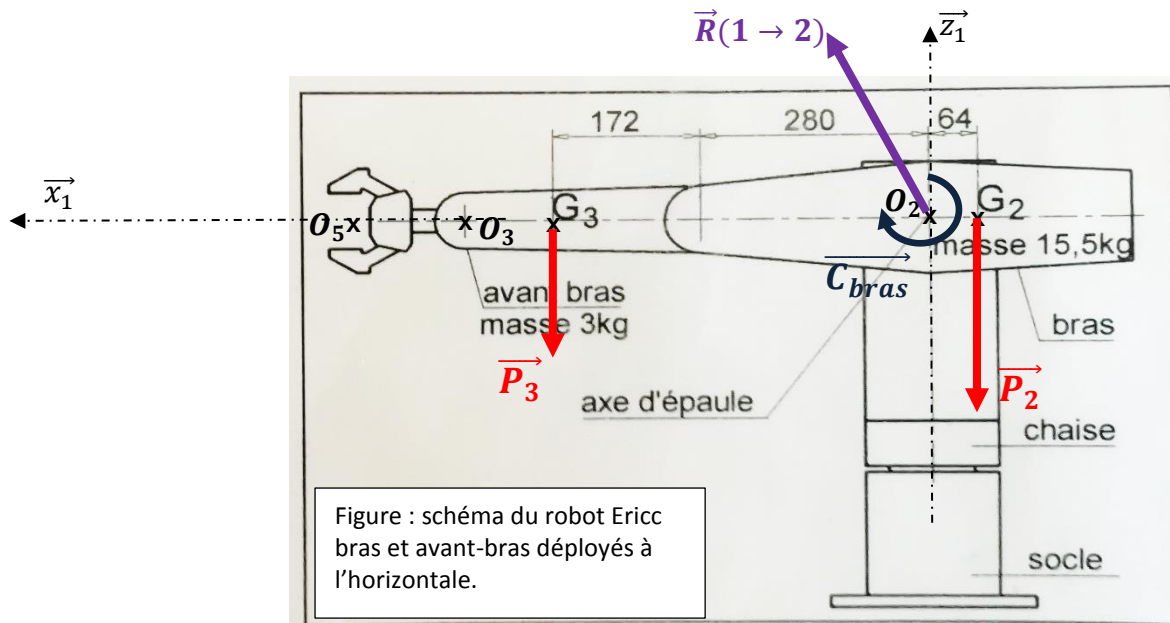


- Question :** conclure la manipulation en donnant la valeur numérique expérimentale de l'intensité moteur $I_{mot-exp}$ dans la phase de mouvement, où celui-ci s'oppose au poids et au frottement, donc dans la phase de **montée** du bras.

Déduire le couple moteur expérimental $C_{mot-exp}$.

On donne l'expression théorique du couple moteur issue du théorème du moment appliqué à l'ensemble {pince, bras, avant-bras}, selon l'axe $(O_2, \vec{y}_1)$, avec hypothèse des frottements négligés et bras déplié à l'horizontale :

$$C_{bras-th} = P_2 \times O_2 G_2 - P_3 \times O_2 G_3$$



2. **Question** : à partir des valeurs dimensionnelles et massiques données sur la figure ci-dessus, calculer dans un premier temps la valeur du couple théorique sur le bras $C_{bras-th}$.

Puis dans un deuxième temps, en tenant compte de la réduction (réducteur harmonique-drive et poulie courroie : $red = 0,003$) entre le moteur et le bras, déduire le couple moteur théorique nécessaire $C_{mot-th} = red \times C_{bras-th}$.

Déduire la différence entre les valeurs théoriques et expérimentales $|C_{mot-exp}| - |C_{mot-th}|$. D'où peut provenir cette différence ?

Ecart expérimentation-théorie et évaluation du couple de frottement

3. **Question** :

Déduire le couple de frottement probable de la chaîne de puissance mécanique rapporté à l'arbre moteur C_{frot} .

On va évaluer le couple de frottement en faisant une mesure dans la situation suivante : position de l'ensemble {bras, avant-bras, pince} aligné à la verticale (photo ci-contre).

4. **Question** : pourquoi dans cette position, le couple moteur mesuré lors d'un petit mouvement de l'ensemble (via la mesure de l'intensité) sera directement et uniquement le couple de frottement ?



Voici ci-dessous le code permettant d'animer l'ensemble {bras, avant-bras, pince} de 5° autour de l'axe vertical (-85° à -90°).

Le programme **STAT112.MPC** (programme n°112 pour la carte de commande Ericc) réalise un déplacement de l'ensemble (bras + avant-bras) de la façon suivante :

- Déplacement lent ($2^\circ/\text{s}$) du bras
- Amplitude de θ_2 de -85° à -90°
- Retour en position initiale $\theta_2 = -85^\circ$

5. **Question** : évaluer le couple de frottement par cette nouvelle méthode $C_{f\text{rmot}2}$. Confronter cette valeur à la valeur $C_{f\text{rmot}}$.

Prévision du couple moteur en situation pince chargée

Remettre le bras en position horizontale
Placer la masse cylindrique de 3 kg en bout de bras
Utiliser le code **STAT110** pour animer le bras à l'horizontale : mesurer le couple moteur et l'intensité.



6. **Question** : donner la valeur de l'intensité et du couple moteur mesuré pour soulever la masse de 3kg en bout de bras.
7. **Question** : calculer la valeur prévue théorique du couple moteur avec la masse de 3kg en tenant compte du couple de frottement déterminé précédemment.
8. **Question** : confronter les valeurs trouvées précédemment.

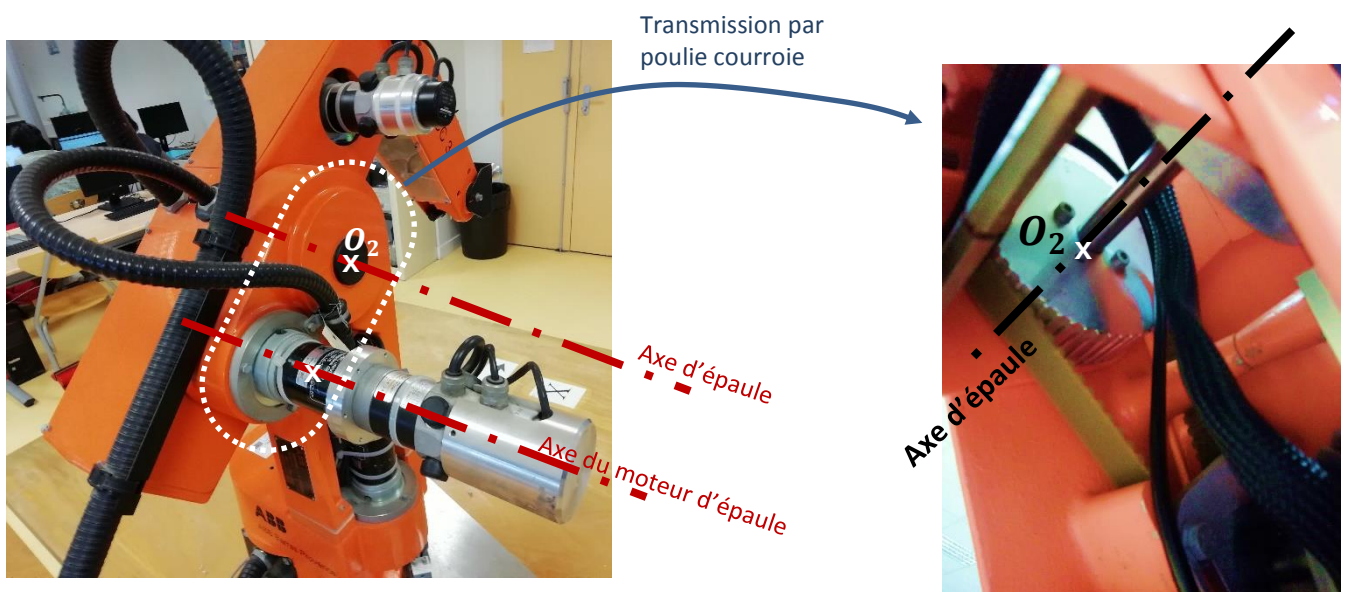
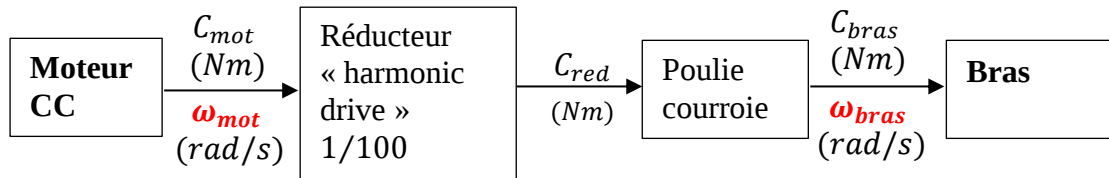
FIN DE LA PARTIE 1



PARTIE 2 : ETUDE THEORIQUE

Transmission de puissance moteur → bras : rapport des couples

Le moteur à courant continu n'entraîne pas directement le bras en O_2 . Il entraîne d'abord un réducteur à engrenage puis un système poulie courroie. A chaque étage de réduction le couple appliqué est donc modifié. Cela est représenté sur l'IBD ci-dessous.



On nomme **red** le rapport de réduction global entre le **bras** et le **rotor moteur** :

$$red = \frac{\omega_{bras}}{\omega_{mot}}$$

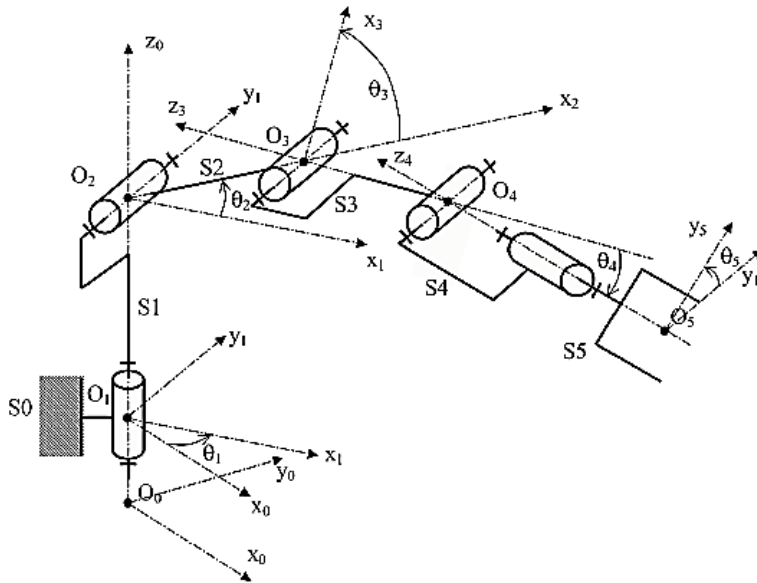
La poulie menante fixée à l'arbre de sortie du **réducteur** comporte 12 dents, la poulie menée fixée au bras comporte 40 dents.

1. **Question** : Calculer le rapport de réduction **red**.

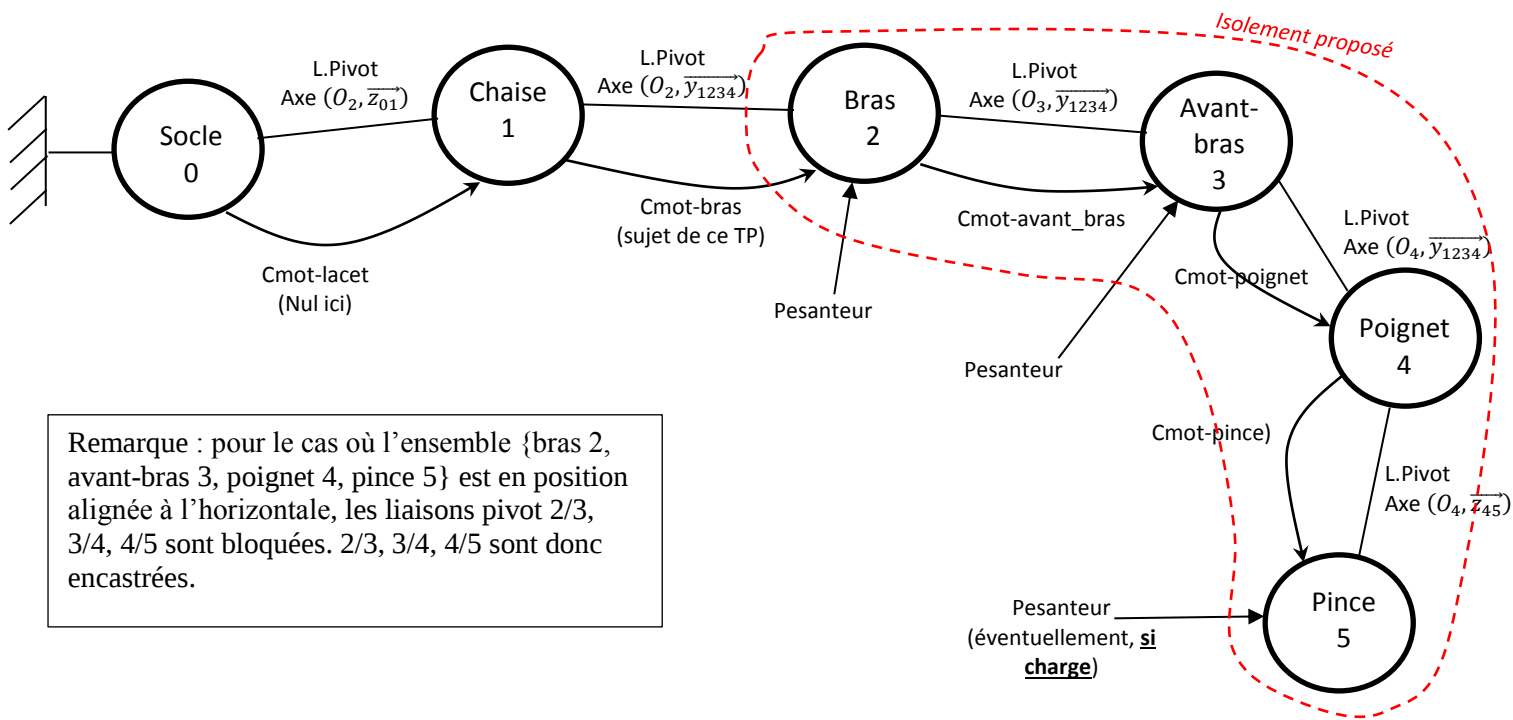
Si on considère le rendement de la réduction globale égale à 1, (frottements négligés), la puissance sur le rotor moteur, $P_{mot} = C_{mot} \cdot \omega_{mot}$, est égale à la puissance sur le bras, $P_{bras} = C_{bras} \cdot \omega_{bras}$.

2. **Question** : déduire de l'indication précédente la relation entre les couple moteur et bras, C_{mot} et C_{bras} .

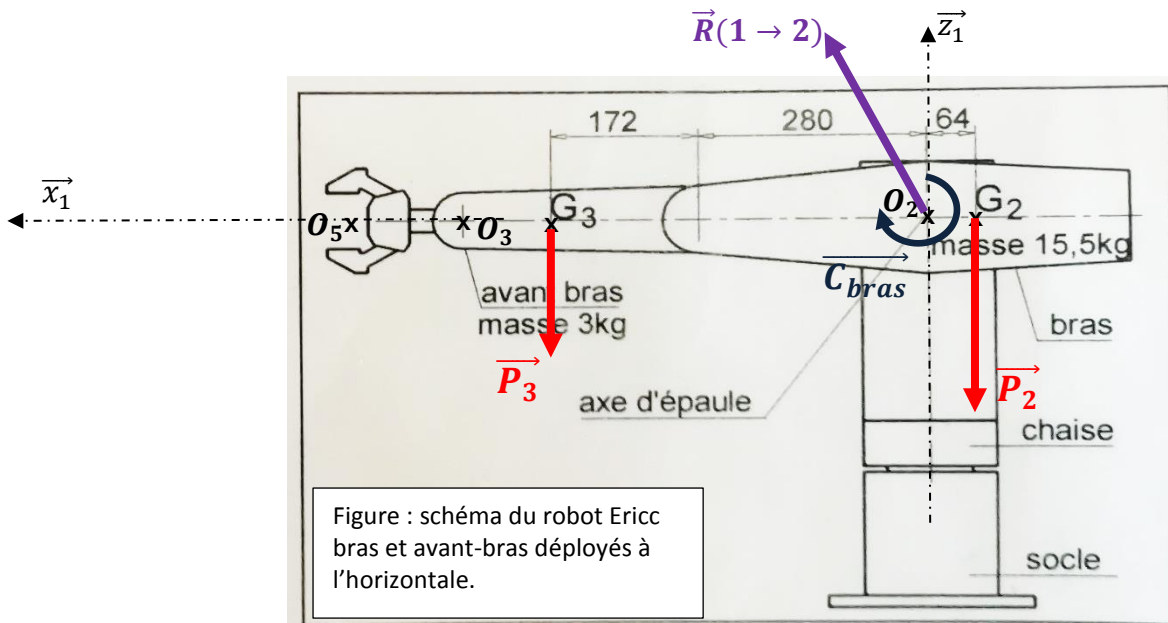
Couple nécessaire au niveau du bras en position horizontale



Graphe des liaisons complet : Actions Mécaniques transmises par liaisons et autre.



La figure ci-dessous montre le bilan des actions mécaniques de manière graphique :



Etude statique de l'ensemble isolé $E = \{\text{bras/avant-bras/pince}\}$

L'étude statique sera effectuée dans la position bras et avant-bras horizontaux comme représenté sur la figure ci-dessus. Notez bien les centres de gravité G_2 et G_3 du bras 2 et avant-bras 3.

Le bilan des actions mécaniques extérieures sur E est représenté sur la figure. Le poids de la pince est négligé :

- Poids de 3 en G_3
- Poids de 2 en G_2
- Couple exercé sur le bras par la poulie réceptrice selon $[O_2, \vec{y}_1]$ (provient de la courroie de transmission)
- Action de la chaise 1 sur 2 transmise par la liaison pivot parfaite d'axe $[O_2, \vec{y}_1]$

Il s'agit d'évaluer le couple C_{bras} à exercer sur le bras 2 au niveau de l'axe de la liaison pivot 2/1, $[O_2, \vec{y}_1]$ pour maintenir l'ensemble E à l'horizontale.

Le robot est non chargé donc sans prise d'objet dans la pince.

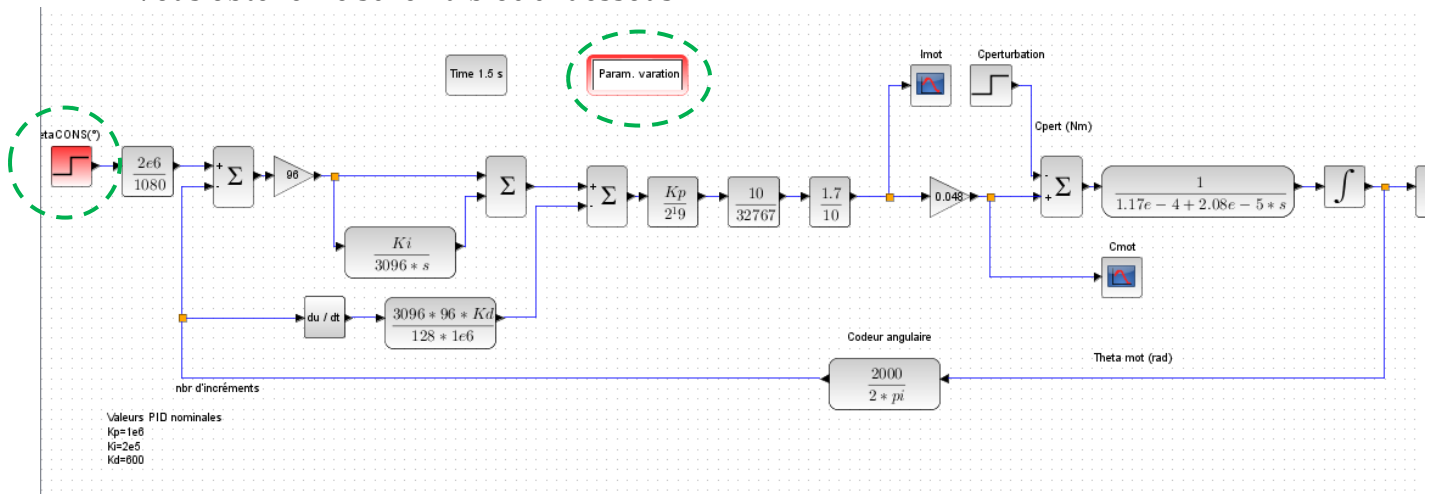
Hypothèse : le problème est plan de normale $\vec{y}_1$.

Aide : le problème de statique est simple.

3. **Question** : par application du théorème du moment au point O_2 selon l'axe $\vec{y}_1$, déterminer le couple C_{bras} en fonction des poids P_2 et P_3 . Vous écrierez l'expression littérale, puis ferez l'application numérique.
4. **Question** : dans l'optique du choix du moteur commandant la rotation du bras 2, pourquoi se place-t-on dans la situation particulière bras et avant-bras à l'horizontale ?

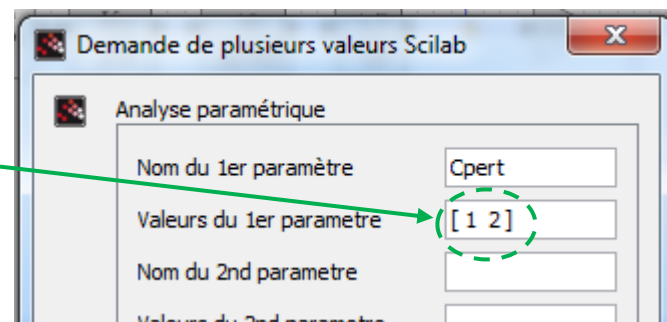
Influence du frottement sur l'asservissement en position du bras

Ouvrir le document Scilab/Xcos : « Modele_causal_Bras_Ericc ».
Vous obtenez le schéma bloc ci-dessous.



Modifier les deux blocs de couleur rouge :

- Bloc entrée consigne : $+5^\circ$
- Bloc « Paramètre Variation » : saisir les deux valeurs de couple résistant (à la place des valeurs « 1 » et « 2 » déjà présentes), couple moteur sans frottement et avec frottement (demander au professeur si vous ne les avez pas déterminées précédemment).



Lancer la simulation : observer l'influence des frottements.
Conclusion.

Retour sur le rapport des couples $\frac{C_{bras}}{C_{mot}}$

Dans le cas où le rendement, noté η , de la transmission entre moteur et bras (réducteur et poulie/courroie) n'est plus considéré unitaire déterminer la nouvelle expression du rapport $\frac{C_{bras}}{C_{mot}}$ faisant intervenir les grandeurs red et η .



FIN DU SUJET

ANNEXE 1 : 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.

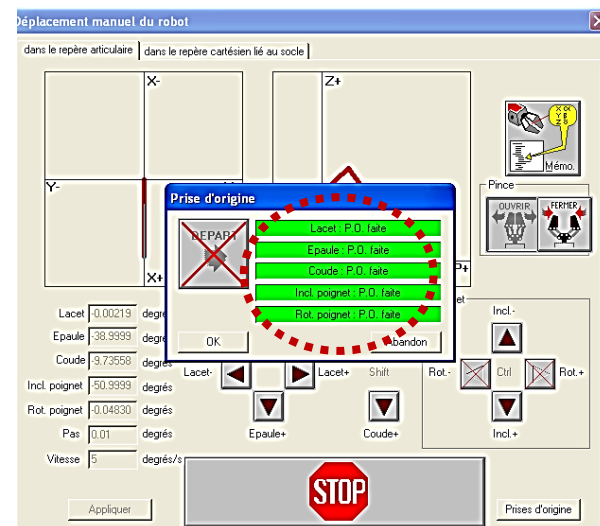
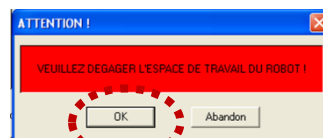
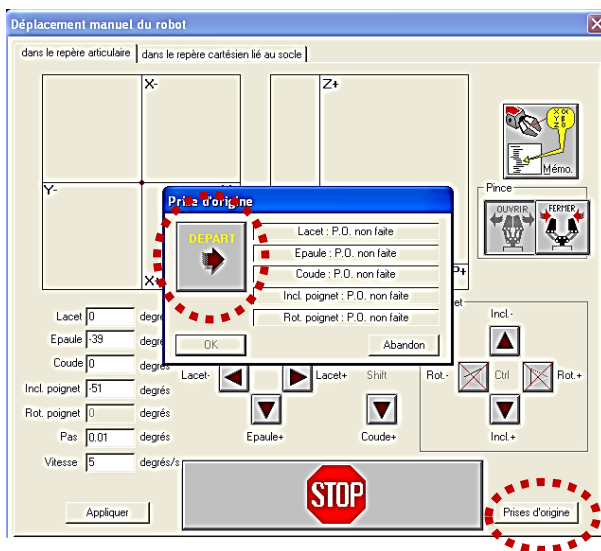
Déverrouiller l'arrêt d'urgence.

Appuyer sur le bouton marche vert en façade.



Ouvrir l'appliquatif « robot Ericc » : Icône 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 2 : DOCUMENT CONSTRUCTEUR MOTEUR D'EPAULE



SERVOMOTEURS A COURANT CONTINU
RS210L

PARVEX

8 avenue du Lac
BP249
F-21007 DIJON Cedex

<i>Couple en rotation lente</i>	0.11	<i>N.m</i>	<i>M₀</i>
<i>Courant permanent rotation lente</i>	2.5	<i>A</i>	<i>I₀</i>
<i>Tension d'alimentation de définition</i>	24	<i>V</i>	<i>U</i>
<i>Vitesse de définition</i>	3000	<i>tr/mn</i>	<i>N</i>
<i>Tension maximale</i>	40	<i>V</i>	<i>U_{max}</i>
<i>Vitesse maximale</i>	7800	<i>tr/mn</i>	<i>N_{max}</i>
<i>Courant impulsionnel</i>	7	<i>A</i>	<i>I_{max}</i>
<i>Fem par 1000 tr/mn (25°C)</i>	5	<i>V</i>	<i>K_e</i>
<i>Coefficient de couple électromagnétique</i>	0.048	<i>N.m/A</i>	<i>K_t</i>
<i>Couple de frottement sec</i>	1.05	<i>N.cm</i>	<i>T_f</i>
<i>Coefficient de viscosité par 1000tr/mn</i>	0.08	<i>N.cm</i>	<i>K_d</i>
<i>Résistance du bobinage (25°C)</i>	2.33	<i>Ω</i>	<i>R_b</i>
<i>Inductance du bobinage</i>	1.1	<i>mH</i>	<i>L</i>
<i>Inertie rotor</i>	0.000013	<i>kg.m²</i>	<i>J</i>
<i>Constante de temps thermique</i>	5	<i>min</i>	<i>T_{th}</i>
<i>Masse moteur</i>	0.53	<i>kg</i>	<i>M</i>