



LYCÉE LA MARTINIÈRE MONPLAISIR  
LYON

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR

CLASSE PRÉPARATOIRE P.S.I.

ANNÉE 2017 - 2018

---

C1 : MODÉLISATION DES SYSTÈMES PLURITECHNIQUES COMPLEXES

## TP 2 - Modélisation multiphysique des systèmes complexes(C1-2)

---

### Compétences

- **Analyser :**
  - définir les frontières de l'analyse : flux échangés.
  - appréhender les analyses fonctionnelles et structurelles.
  - caractériser les écarts
  - apprécier la pertinence et la validité des résultats.
- **Modéliser :**
  - Identifier et caractériser les grandeurs physiques :
    - > Grandeurs d'entrée et de sortie d'un système isolé,
    - > nature et évolution des grandeurs.
  - Proposer un modèle de connaissance et de comportement :
    - > choisir un modèle adapté à l'objectif.
    - > construire un modèle multiphysique simple.
    - > associer un modèle à une source d'énergie, un composant de la chaîne d'information ou d'énergie.
    - > Systèmes Linéaires Continus et Invariants.
    - > Schéma-bloc
  - Valider un modèle : grandeur influente un modèle.
- **Résoudre :** Procéder à la mise en oeuvre d'une démarche de résolution numérique
- **Expérimenter :**
  - Proposer et justifier un protocole expérimental : modèle du comportement du système, prévoir l'allure et l'ordre de grandeur des mesures.
- **Concevoir :** Architecture fonctionnelle et structurelle

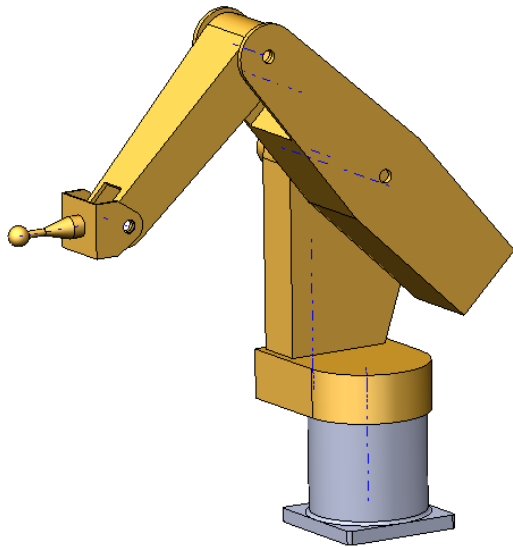
### 1 Présentation du système réel

#### a) Le robot Ericc3

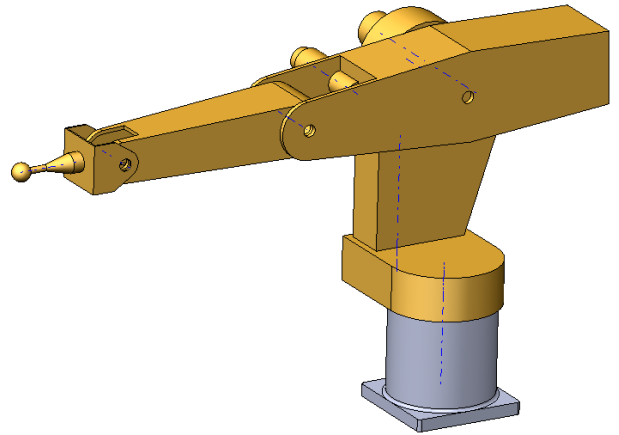
Le Robot Ericc3 est un robot qui présente un caractère anthropomorphique. Il est constitué de 5 axes asservis en position.

On s'intéresse ici uniquement à l'asservissement autour de l'axe de lacet.

On considérera deux configurations

**Configuration 1 : bras replié**

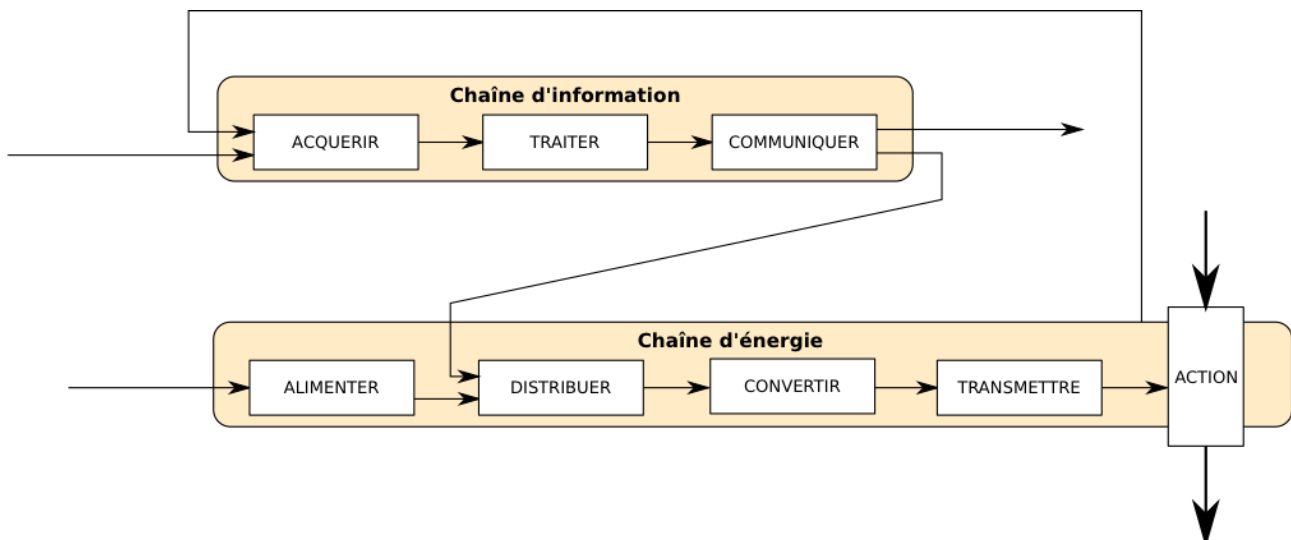
$Epaule = -39^\circ$ ;  $Lacet = 0^\circ$ ;  $Coude = 00^\circ$ ,  
 $Poignet = -51^\circ$

**Configuration 2 : bras déplié**

$Epaule = 0^\circ$ ;  $Lacet = 0^\circ$ ;  $Coude = -90^\circ$ ,  $Poignet = 0^\circ$

### b) Analyse structurelle du robot

**Q 1 : Compléter la chaîne fonctionnelle décrivant la chaîne cinématique "axe de lacet".**



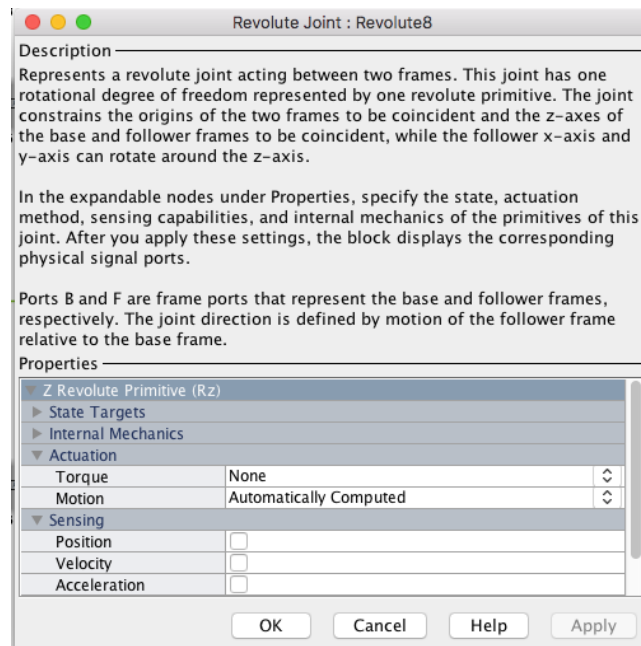
## 2 Analyse du modèle Simmechanics

**Q 2 :**

1. Copier le dossier "modele\_simscape" sur votre espace perso.
2. Placer le chemin d'accès de ce dossier dans la barre d'adresse Matlab.
3. Dans Matlab ouvrir le fichier "ericc3\_DataFile.m" et l'exécuter. On note dans le workspace la création d'un objet appelé smiData qui contient l'ensemble des variables mécaniques nécessaires au calcul.
4. Lancer Simulink et ouvrir le fichier ericc3\_simmechanics.slx.
5. Exécuter le programme et observer le résultat de la simulation.

On observe que le robot s'anime selon toutes ses mobilités. Il va falloir maintenant imposer des commandes asservies aux niveaux des axes et pour cela modéliser les moteurs.

On peut alors bloquer des rotations en modifiant les blocs intitulés "Revolute". En double-cliquant dans chacun des blocs "Revolute", le menu ci-dessous apparaît.



- l'onglet "Actuation" permet de préciser les grandeurs imposées<sup>1</sup>,
- l'onglet "Sensing" permet de préciser les grandeurs mesurées.

**Q 3 : Modifier alors le fichier ericc3\_simmechanics.slx pour obtenir le bras dans sa configuration 2 tout en laissant la possibilité de commander la liaison entre la chaise et le bâti.**

### 3 Construction du modèle du moteur à courant continu

Le moteur à courant continu du robot est caractérisé par les paramètres suivants :

- $K_t$  : la constante de couple;
- $K_e$  : la constante de force contre électromotrice (fcem);
- $R$  : la résistance de l'induit;
- $L$  : l'inductance de l'induit;
- $J_m$  : Inertie de l'arbre moteur;

On note :

- $u_m(t)$  : la tension appliquée aux bornes de l'induit;
- $e(t)$  : tension de force contre-électromotrice;
- $i_m(t)$  : le courant absorbé par l'induit;
- $\omega_m(t)$  : la vitesse angulaire de l'arbre;
- $C_m(t)$  : le couple moteur;

Les équations temporelles décrivant le fonctionnement d'un moteur à courant continu seul sont données ci-dessous :

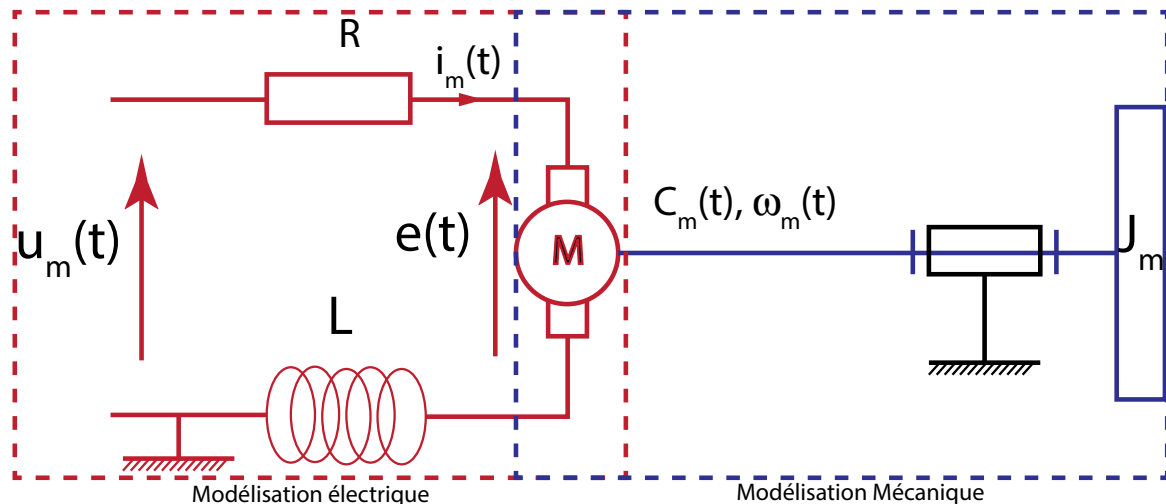
1. Torque signifie couple en Anglais

$$C_m(t) - f_v \cdot \omega_m(t) = J_m \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} \quad (1)$$

$$u_m(t) = e(t) + L \frac{di_m(t)}{dt} + R \cdot i(t) \quad (2)$$

$$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t) \quad (3)$$

$$C_m(t) = K_c \cdot i_m(t). \quad (4)$$



Les données numériques nécessaires à la réalisation du modèle sont déclarées dans le fichier : "data\_modele\_ericc.m".

#### a) Construction du modèle électrique

- On modélisera ici le comportement donné par l'équation 2 en utilisant ici les blocs situés dans la bibliothèque : "Simscape→Foundation Library→Electrical" :
  - La tension  $U_m(t)$  sera imposé par un bloc **"Controlled Voltage Source"** (catégorie : "Electrical Sources").
  - L'intensité pourra être mesurée par un bloc **"Current sensor"** (catégorie : "Electrical Sensors").
  - Les autres composants se trouveront dans la catégorie "Electrical Elements".
- Pour imposer la tension  $u_m(t)$  (échelon) et pour visualiser l'intensité  $i_m(t)$  (scope), il faut utiliser des blocs qui permettent de passer de grandeurs causales à **acausales** ("Simulink - PS converter") et inversement ("PS-Simulink Converter") situés dans la catégorie "Simscape→Utilities".

**Q 4 : Dans Simulink, réaliser le schéma électrique de la motorisation du robot sans la conversion électromécanique.**

#### b) Construction du modèle mécanique

- On modélisera ici le comportement donné par l'équation 1 en utilisant ici les blocs situés dans la bibliothèque : "Simscape→Foundation Library→Mechanical" :
  - On modélisera une inertie en rotation par rapport à une référence de mouvement de rotation à l'aide de blocs situés dans "Rotational Elements".
  - Pour visualiser la rotation du moteur il faut utiliser un bloc "Ideal Rotational Motion Sensor" (catégorie "Mechanical sensor") couplé à un bloc qui permet de passer de grandeurs acausales à **causales** ("PS- Simulink Converter") situés dans la catégorie "Simscape→Utilities" qu'on raccordera au port noté "W".

**Q 5 : Dans Simulink, réaliser le schéma mécanique de la motorisation du robot sans la conversion électromécanique.**

#### c) Construction complète de la modélisation électromécanique du moteur (acausal)

- On modélisera ici le comportement donné par les équations 3 et 4.

- Le convertisseur électromécanique d'un moteur à courant continu se modélise à l'aide du bloc "Rotational Electromechanical Converter" situé dans la catégorie "Simscape→Power Systems→Simscape Components& Machines→ Rotational Electromechanical Converter.

**Q 6 : Raccorder les deux schémas électrique et mécanique définis précédemment à l'aide du bloc de conversion électromécanique. Il faudra utiliser un bloc "Solver Configuration" présent dans Simscape→Utilities à connecter au flux électrique.**

**Q 7 : Réaliser la simulation consistant à imposer un échelon de tension au moteur (5V) et à visualiser la réponse en vitesse de rotation du moteur.**

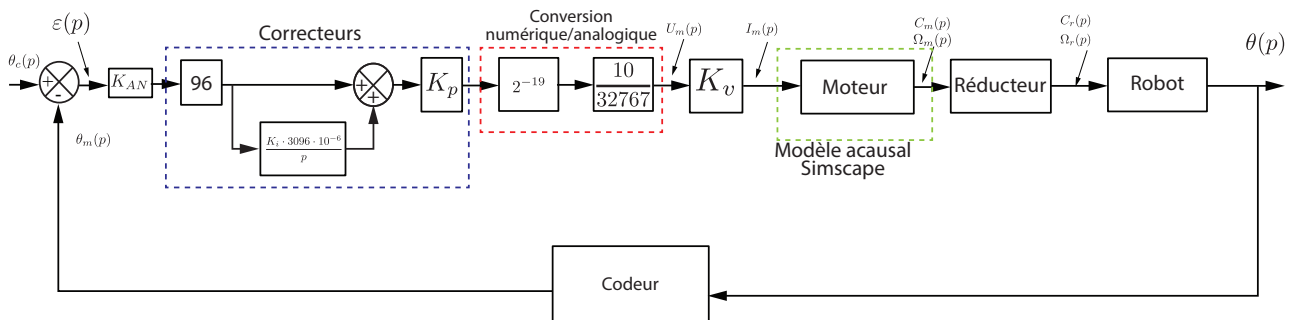
d) Comparaison avec un modèle causal (sous forme de schéma bloc).

**Q 8 : A l'aide des équations 1, 2, 3 et 4, construire le schéma bloc décrivant la modélisation causale du moteur. (On prendra en entrée  $u_m(t)$  et en sortie  $\omega_m(t)$ )**

**Q 9 : Réaliser la simulation sur 0,1s et comparer les résultats donnés pour la vitesse de rotation du moteur ainsi que le courant.**

#### 4 Construction du modèle du robot Ericc3

On donne le schéma bloc global du système :



- L'angle de consigne de lacet se note :  $\theta_c(p)$ .
- La vitesse de rotation à la sortie du moteur se note  $\theta_m(p)$ .
- La vitesse de rotation à la sortie du réducteur se note  $\theta_r(p)$ .
- Le système comporte un correcteur PID (Proportionnel Intégral Dérivé). Ici n'est représenté que le correcteur Proportionnel (de gain  $K_p$ ) et Intégrale (de gain  $K_i$ ). Dans l'étude on n'étudiera que l'influence de  $K_p$ . Ainsi on prendra  $K_i = 0$ .
- Après une conversion numérique analogique, on modélise le moteur avec un **variateur** (de constante  $K_v$ ) qui permet d'imposer au moteur un courant  $I_m(p)$ .
- On note  $C_m(p)$  le couple délivré par le moteur.
- Le frottement visqueux est modélisé par le coefficient  $f_v$ .
- Le **système de réduction** de vitesse de fonction de transfert  $K_r$  est composé
  - d'un réducteur poulie-courroie;
  - d'un réducteur Harmonic Drive de rapport de réduction 1/100



**Q 10 : Déterminer le rapport de réduction  $K_r$  du système.**

La chaîne retour est composée d'un **capteur de position** qui mesure directement l'angle à la sortie du moteur. C'est un codeur incrémental et on prendra comme gain 1.

**Q 11 : Compléter le schéma bloc "modele\_ericc\_complet\_eleve.slx" pour modéliser le système asservi en boucle fermée.**

**Q 12 : Lancer la simulation et analyser les résultats.**

**Q 13 : Conclure quant aux avantages et inconvénients des deux méthodes de modélisation employées.**

## 5 Analyse temporelle des performances du robot

### a) Comparaison des performances simulées entre les modèles causal et acausal

L'étude portera sur les **configurations 1 et 2** (bras en partie replié et déplié).

**Q 14 : Modifier le programme pour tenir compte des configurations 1 et 2.**

**Q 15 : Exécuter la simulation sur une durée de 2.5s et observer le résultat en double cliquant sur le Scope.**

### b) Comparaison des performances simulées et expérimentales

le schéma bloc "modele\_ericc\_complet\_eleve.slx" comporte une partie permettant de tracer le résultat expérimental.

$K_p$	Configuration	Nom du fichier de donnée
$10^6$	1	conf1_1e6.csv
$10^6$	2	conf2_1e6.csv
$10^5$	1	conf1_1e5.csv
$10^5$	2	conf2_1e5.csv

**Q 16 : Mettre en place des simulations pour comparer les essais expérimentaux et numériques.**