



## MODÉLISATION D'UN SYSTÈME

ROBOT ERICC

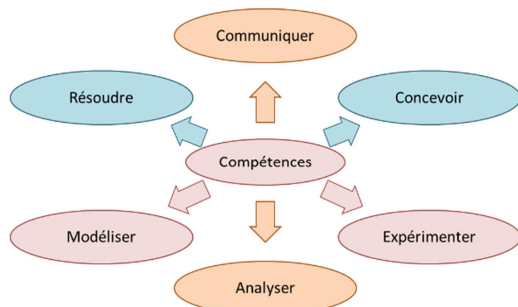
### 1 PRÉSENTATION

#### 1.1 Objectifs

Les objectifs de ces deux séances de TP sont :

- ☐ De réaliser le modèle du robot Ericc ;
- ☐ Comparer les simulations causales, acausales et le comportement réel.

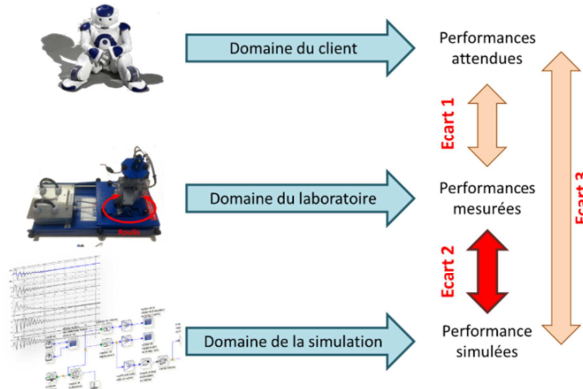
#### 1.2 Contexte pédagogique



Modéliser :

- Mod 2 : Proposer un modèle de connaissance et de comportement
- Mod 3 : Valider un modèle.

#### 1.3 Évaluation des écarts



L'objectif de ce TP est de simuler le comportement d'un système par le biais d'un logiciel de modélisation multiphysique.

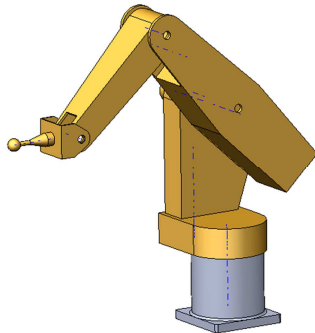
## 2 PRÉSENTATION DU SYSTÈME RÉEL

### 2.1 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.

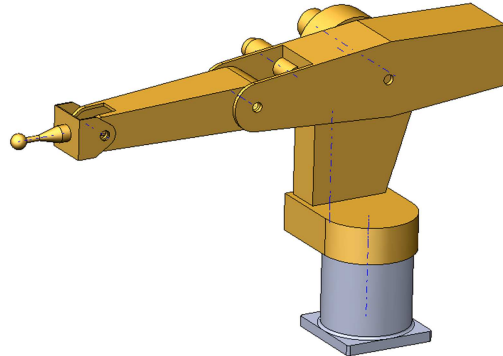
On considérera deux configurations :

Configuration 1 : bras replié



$Lacet = 0^\circ$  ;  $Epaule = 39^\circ$  ;  
 $Coude = -90^\circ$ ,  $Poignet = 130^\circ$

Configuration 2 : bras déplié



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

### 2.2 Analyse structurelle du robot

#### Activité 0 :

- ☐ Réaliser la chaine fonctionnelle décrivant la chaine cinématique « axe de lacet ».

## 3 ANALYSE DU MODÈLE SIMMECHANICS

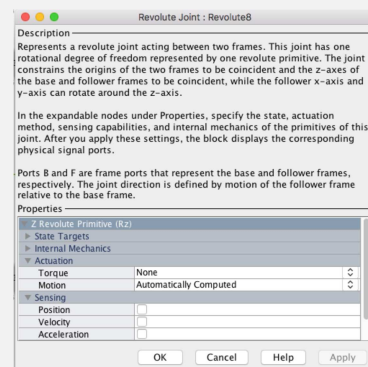
#### Activité 1 : ouvrir un modèle

- ☐ Copier le dossier « ModeleEricC » sur votre espace personnel.
- ☐ Ouvrir Matlab.
- ☐ Placer le chemin d'accès de ce dossier dans la barre d'adresse Matlab.
- ☐ Dans Matlab ouvrir le fichier « ericc3\_DataFile.m » et « data\_modele\_ericc.m » puis les exécuter. *On note dans le workspace la création d'un objet appelé smiData qui contient l'ensemble des variables mécaniques nécessaires au calcul.*
- ☐ Lancer Simulink et ouvrir le fichier Ericc3\_SimMeca.slx.
- ☐ Exécuter le programme, observer le résultat de la simulation et expliquer ce comportement.

#### Activité 2 : modifier un modèle

On peut bloquer des rotations en modifiant les blocs intitulés  
« Revolute » (liaisons pivot).

- ☐ « Actuation » permet de préciser les grandeurs imposées (*torque signifie couple en Anglais*).
- ☐ « Sensing » permet de préciser les grandeurs mesurées.



- ☐ Modifier alors le fichier Ericc3\_SimMeca.slx pour obtenir le bras dans sa configuration 2 tout en laissant la possibilité de commander la liaison entre la **chaise et le bâti**. (Angles en radian).
- ☐ Sauvegarder votre travail.

## 4 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 ( $f_{cem}$ ) ;
- ❑  $R$  : 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.

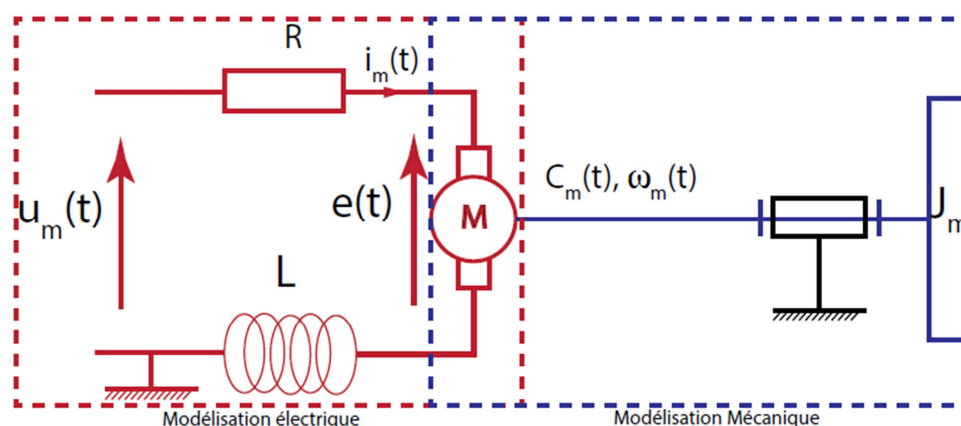
Les équations temporelles décrivant le fonctionnement d'un moteur à courant continu seul sont données ci-dessous :

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

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

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

$$C_m(t) = K_c \cdot i_m(t)$$



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

### 4.1 Construction du modèle électrique

Créer un nouveau fichier Simulink (Blank model).

#### Activité 3 : construire le modèle électrique

- ❑ On modélisera ici le comportement donné par l'équation issue de la loi des mailles en utilisant ici les blocs situés dans la bibliothèque : Simscape ► Foundation Library ► Electrical :
  - la tension  $u_m(t)$  sera imposée 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  $i_m(t)$ , 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 ».

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

### 4.2 Construction du modèle mécanique

#### Activité 4 : construire le modèle mécanique

- ❑ On modélisera ici le comportement donné par l'équation mécanique issue du PFD 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 ».

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

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

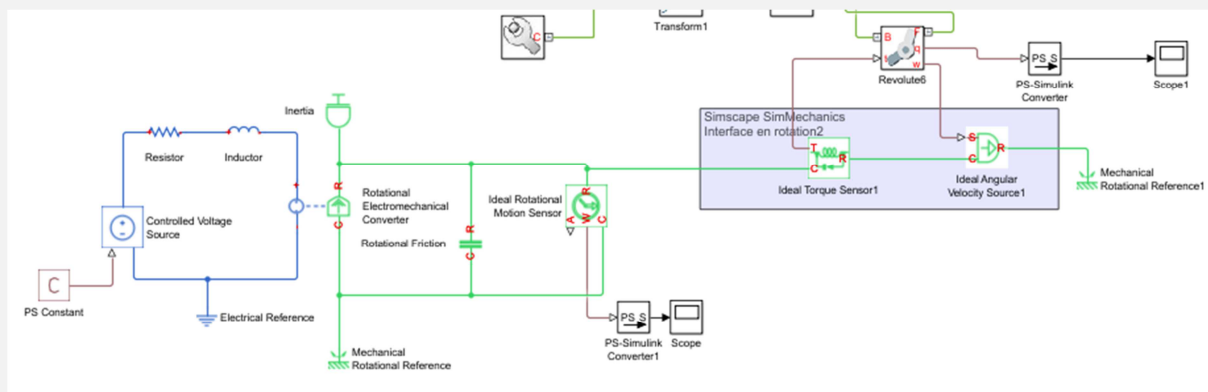
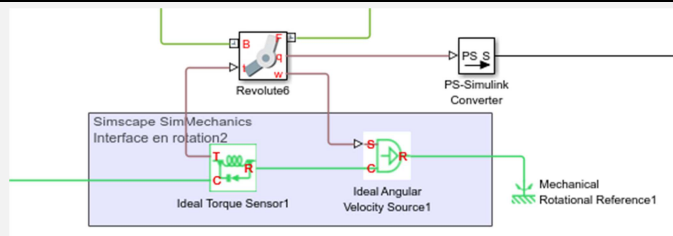
#### Activité 5 : réaliser le lien électro-mécanique

- ☐ On modélisera ici le comportement donné par les équations électromécaniques.
  - 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.
- ☐ 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 (par exemple) au flux électrique.
- ☐ Réaliser la simulation consistant à imposer un échelon de tension au moteur (5V) et à visualiser la réponse en vitesse de rotation du moteur.
- ☐ Sauvegarder votre modèle.

### 4.4 Couplage du moteur et du modèle SimMechanics

#### Activité 6 : couplage

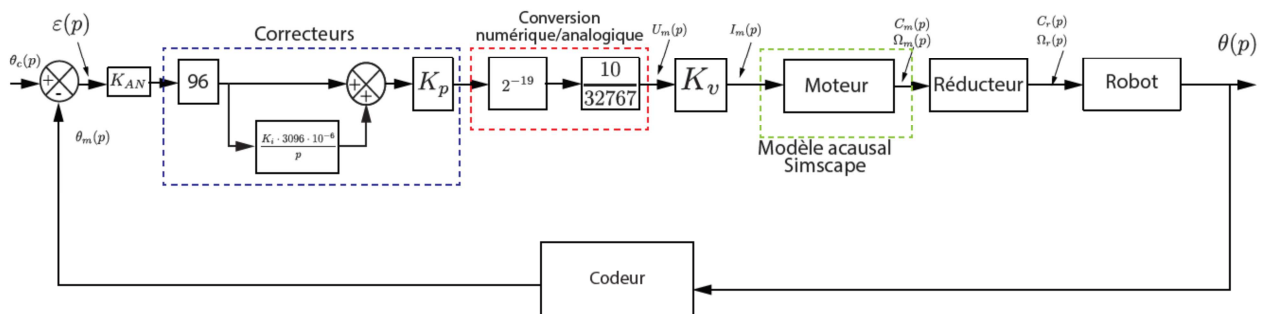
- ☐ Revenir au modèle mécanique. On cherche à piloter l'axe de lacet tout en mesurant son évolution. Pour cela, réaliser les modifications ci-contre su votre modèle.
- ☐ Copier-coller le modèle de moteur dans le modèle mécanique et relier la sortie du moteur au capteur de couple. Vous devez obtenir le schéma ci-dessous.



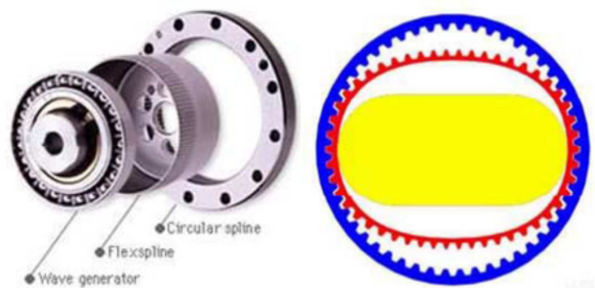
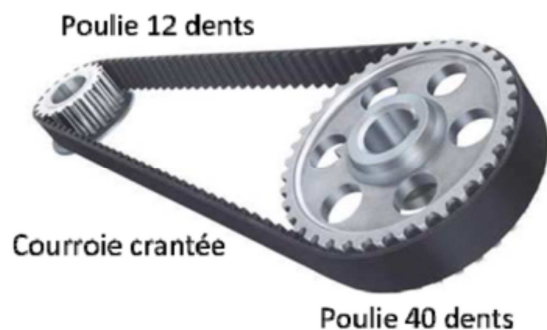
- ☐ Tester le fonctionnement du modèle.

## 5 CONSTRUCTION DU MODÈLE DU ROBOT ÉRICC3

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.



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.

### Activité 7 : comparaison causale-acausale

- ☐ Déterminer le rapport de réduction  $K_r$  du système.
- ☐ Compléter le schéma bloc `modele_ericc_complet_eleve.slx` pour modéliser le système asservi en boucle fermée.
- ☐ Lancer la simulation et analyser les résultats.
- ☐ Conclure quant aux avantages et inconvénients des deux méthodes de modélisation employées.

## 6 ANALYSE TEMPORELLE DES PERFORMANCES DU ROBOT

### 6.1 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).

#### Activité 8

- ☐ Modifier le programme pour tenir compte des configurations 1 et 2.
- ☐ Exécuter la simulation sur une durée de 2.5s et observer le résultat en double cliquant sur le Scope.

### 6.2 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 données
$10^6$	1	conf1_1e6.csv
$10^6$	2	conf2_1e6.csv
$10^5$	1	conf1_1e5.csv
$10^5$	2	conf2_1e5.csv

#### Activité 9

- ☐ Mettre en place des simulations pour comparer les essais expérimentaux et numériques.
- ☐ Pour changer les fichiers, modifier le script data\_modele\_ericc.m et l'exécuter.