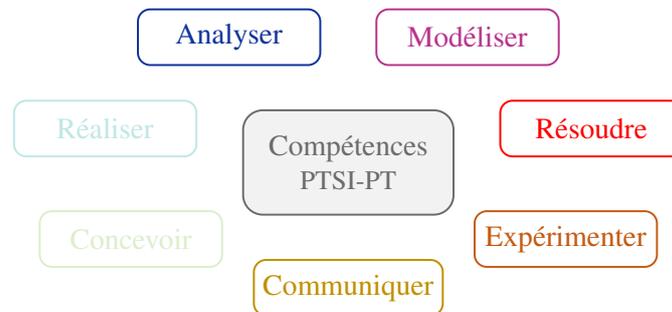


# SLCI

## Identification des paramètres d'une MCC



### Double Commande Moteur



**CPCGE Loritz**  
Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

## PRÉSENTATION DU SYSTÈME

### 1 SYSTÈME RÉEL

Le robot « Geeros pcDuino » est un robot gyropode d'exploration.

Il intègre une liaison Wi-Fi vous permettant de le piloter à distance à partir d'un ordinateur, d'un smartphone ou d'une tablette.

Il embarque une Webcam capable de faire de la transmission vidéo en temps-réel des images prises par le robot.



FIGURE 1

### 2 SYSTÈME DIDACTISÉ

La motorisation du robot Geeros a été extraite pour être implantée sur une platine.



FIGURE 2

Ce système, basé sur une carte Raspberry Pi associée à une carte micro-contrôleur Teensy 3.6 montée sur un shield de commande moteur, permet de réaliser différentes expériences de commande de deux machines à courant continu avec codeur incrémental associé, identiques, l'un fonctionnant en moteur et l'autre en générateur de couple.

### 3 PROBLÉMATIQUE

Etre capable de maintenir en équilibre le robot lors de ses mouvements.

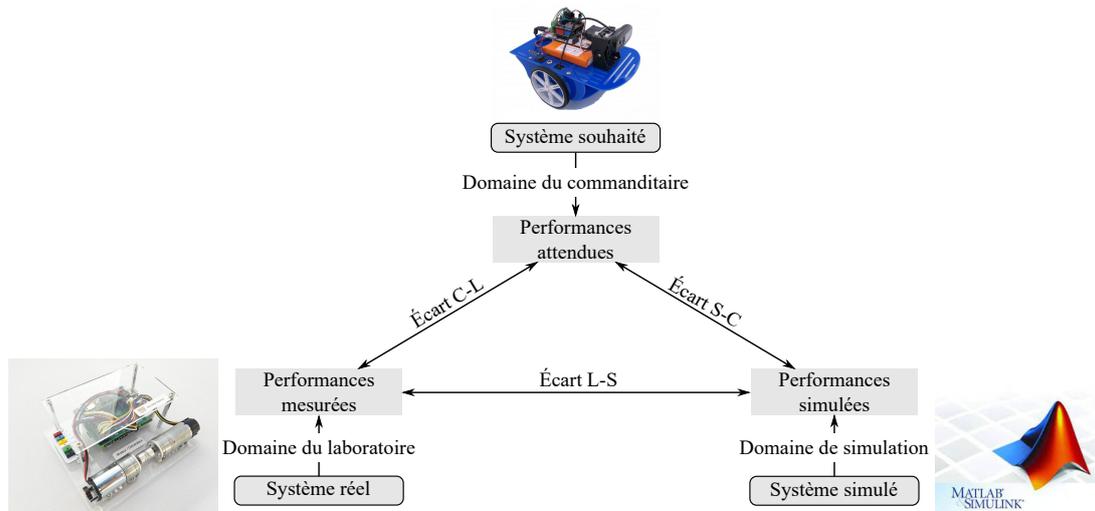
L'asservissement de la verticalité du robot Geeros exige d'avoir une motorisation réactive.

### 4 ZONE D'ÉTUDE

Vous vous intéresserez plus particulièrement à déterminer :

- identifier les paramètres caractéristiques du moteur d'entraînement du robot.
- modéliser l'asservissement de la vitesse de rotation du moteur
- modéliser un correcteur numérique (proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase)

## 5 DÉMARCHE DE L'INGÉNIEUR



## 6 MATÉRIEL UTILISÉ

- Platine double moteur
- Matlab
- Python avec Matplotlib et Numpy
- Dossier technique

## 7 COMPÉTENCES VISÉES

### A Analyser

- A1 Identifier le besoin et définir les exigences du système
- A2 Définir les frontières de l'analyse
- A3 Conduire l'analyse

### B Modéliser

- B1 Justifier ou choisir les grandeurs nécessaires à la modélisation
- B2 Proposer un modèle
- B3 Valider un modèle

### C Résoudre

### D Expérimenter

- D1 Découvrir le fonctionnement d'un système complexe
- D2 Justifier et/ou proposer un protocole expérimental
- D3 Mettre en œuvre un protocole expérimental et vérifier sa validé

### E Concevoir

- E1 Imaginer des architectures et des solutions technologiques
- E2 Choisir une solution technique
- E3 Dimensionner une solution technique

### F Réaliser

### G Communiquer

- G1 Élaborer, rechercher et traiter des informations
- G2 Mettre en œuvre une communication

## BRANCHEMENTS

Réaliser les branchements suivants dans l'ordre indiqué :



FIGURE 3 – Adaptateur réseau et câble USB coté ordinateur

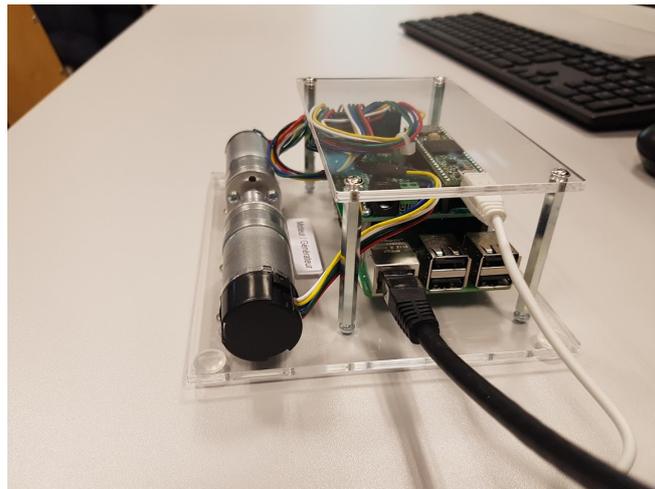


FIGURE 4 – Câble réseau et câble USB coté carte

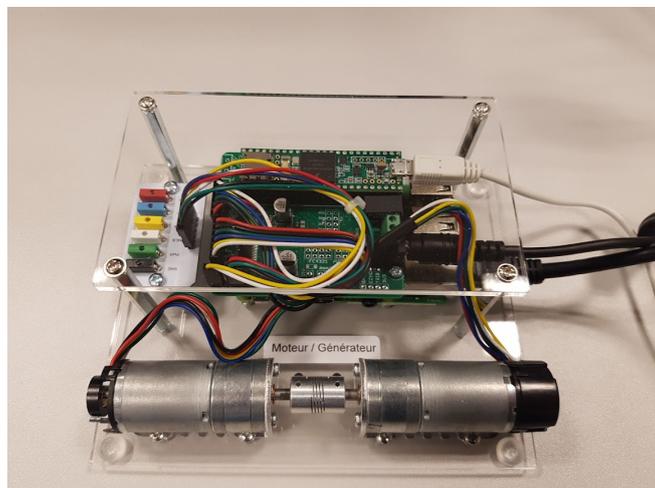


FIGURE 5 – Alimentation coté carte

## TRAVAIL À EFFECTUER

### 1 MODÉLISATION D'UNE MCC

Le moteur disponible sur la plateforme est un moteur Pololu :



FIGURE 6 – moteur Pololu

Comme vous pouvez le constater sur le [site du constructeur](#) de ce motoréducteur, les informations les plus intéressantes que nous puissions trouver sur les caractéristiques se trouvent dans ce [document technique](#).

Nous pouvons en extraire les courbes suivantes :

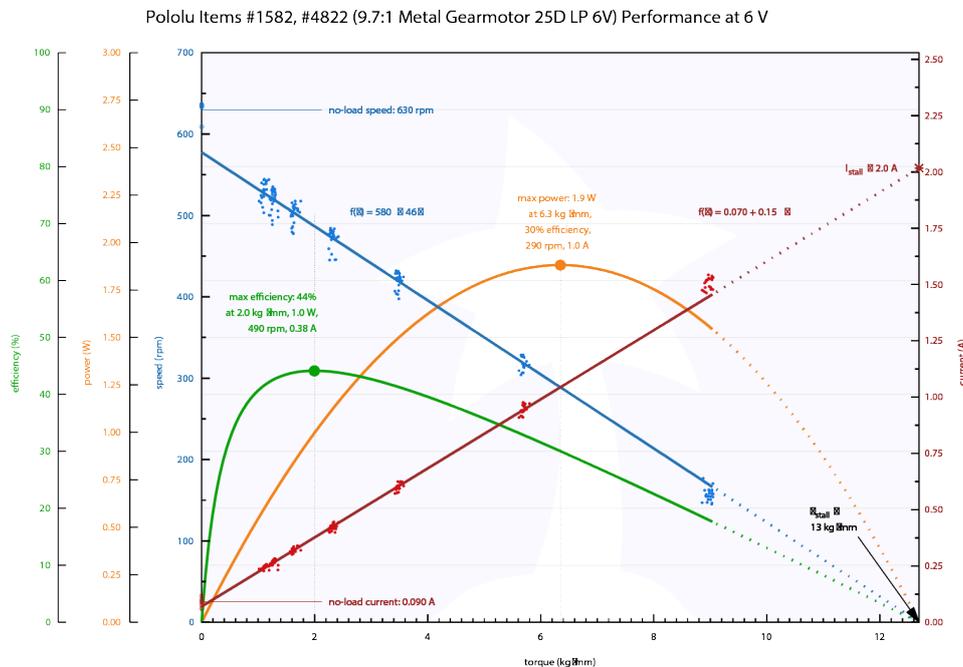


FIGURE 7 – caractéristiques du moteur Pololu

Les caractéristiques du moteur se sont pas directement fournies et elles sont indispensables à la modélisation.

Afin de modéliser l'asservissement en vitesse du motoréducteur, on souhaite réaliser le schéma bloc de ce motoréducteur composé du moteur et d'un réducteur.

#### Constantes caractéristiques :

- $K_e$  : Constante de force contre électromotrice
- $K_c$  : Constante de couple avec (comme dans la plupart des moteurs à courant continu modernes)
- $R$  : Résistance de l'induit
- $C_r$  : Couple de frottement sec ramené au rotor du moteur
- $f_v$  : Coefficient de frottement visqueux ramené au rotor du moteur
- $k = -9.68$  : Rapport de réduction du réducteur avec  $k = \frac{\omega_m(t)}{\omega_{mr}(t)}$
- $L$  : Inductance de l'induit négligée (comme dans la plupart des moteurs à courant continu modernes)
- $J_{eq}$  : Moment d'inertie équivalent ramené au rotor du moteur

**Variables :**

- $u(t)$  : Tension d'alimentation aux bornes du moteur
- $e(t)$  : Tension contre électromotrice développée dans l'induit
- $i(t)$  : Intensité du courant dans le moteur
- $\omega_m(t)$  : Vitesse de rotation du moteur (rotor du moteur par rapport au stator)
- $\omega_{mr}(t)$  : Vitesse de rotation du motoréducteur (arbre de sortie du réducteur par rapport au stator)
- $\omega_c(t)$  : Vitesse de rotation de consigne du motoréducteur
- $C_m(t)$  : Couple généré par le moteur
- $C_{mr}(t)$  : Couple généré par le motoréducteur

**Question 1 :** Donner les 4 équations caractéristiques du moteur à courant continu :

- l'équation électrique (loi des mailles)
- les deux équations de couplage électro-mécanique
- l'équation de mouvement du comportement mécanique dans sa forme généralisée issue du PFD ou du TEC

**Question 2 :** Réaliser le schéma bloc (modèle causal) du motoréducteur à courant continu.

**Question 3 :** Réaliser le schéma bloc (modèle causal) du motoréducteur à courant continu sous *MatLab*. Les constantes caractéristiques doivent être paramétrables afin que vous puissiez par la suite les modifier avec les valeurs que vous trouverez durant l'activité de travaux pratiques.

**Question 4 :** Donner dans le domaine de Laplace l'expression de la vitesse de rotation  $\Omega_{mr}(p)$  en fonction de la tension d'alimentation  $U(p)$  et du couple résistant  $C_r(p)$ .

## 2 LOGICIEL DE PILOTAGE MYVIZ

Le logiciel MyViz permet de piloter la platine mais aussi de récupérer les données issues de l'expérimentation.

Après avoir réaliser les branchements de la platine, vous pouvez lancer le logiciel MyViz avec le fichier « MyViz.exe » se situant dans le répertoire « C : \DoubleCommandeMoteur\MyViz\_0.15.3 ».

La première chose à faire est de vérifier que le port série soit bien configuré :

- Cliquer sur le menu « Paramètres »
- Cliquer sur le sous menu « Port série par défaut »
- Sélectionner « COMx - Microsoft » (x pouvant être un nombre différent d'un ordinateur à l'autre)

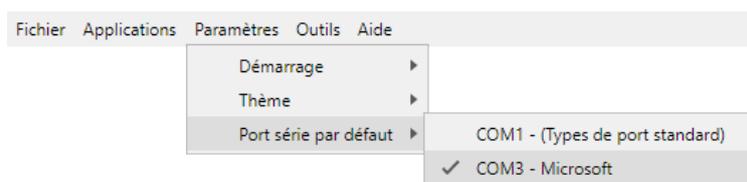


FIGURE 8

Cette opération n'est possible que si la platine est alimentée.

Il faut ensuite accéder à l'environnement de travail :

- Cliquer sur le menu « Applications »
- Cliquer sur le sous menu « Systèmes didactiques »
- Cliquer sur le sous sous menu « Double commande de moteur à courant continu »
- Sélectionner « Tableaux de bords »

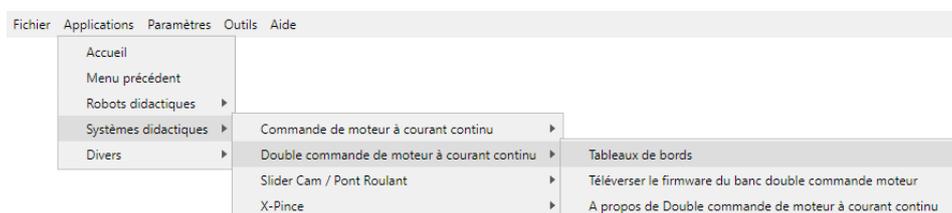


FIGURE 9

Pour l'identification, nous utiliserons la commande en tension par le port série bien plus rapide que par le port réseau. Pour cela,

- Cliquer sur « Ouvrir » de « Commande en tension série (acquisition rapide) »

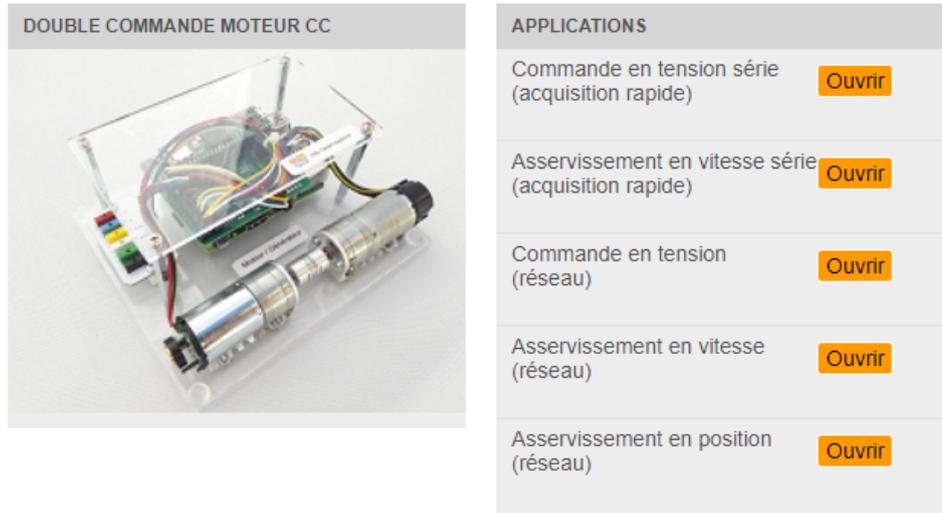


FIGURE 10

Noter que par la suite, il est possible de passer directement d'une application à une autre en utilisant la zone « Applications » intégrée dans chaque tableau de bord.

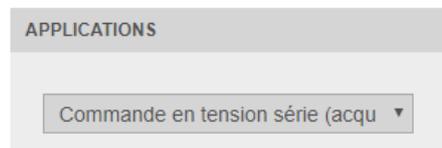


FIGURE 11

La première chose à faire est de réaliser la connexion en cliquant sur « OFF » de « Connexion au port série » de « Contrôle de l'application ».

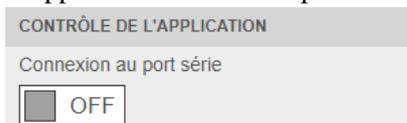


FIGURE 12



FIGURE 13

Le logiciel étant d'utilisation intuitive, nous ne détaillerons pas toutes ses possibilités.

**⚠ Attention**

Tout au long de ce TP, il vous est demandé de rédiger une fiche résumé sur A4 recto-verso donnant les différentes étapes de la méthode d'identification des caractéristiques de la MCC.



### 3 IDENTIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES DU MOTORÉDUCTEUR

#### 3.1 RÉSISTANCE $R$ ET INDUCTANCE $L$

Cette identification se fait le rotor bloqué en tenant à la main la roue aimantée du codeur incrémental du codeur. **Prenez garde à ne pas toucher le capteur effet hall.**

**Question 5 :** Identifier les constituants de la chaîne d'information réalisant la fonction acquérir.

La procédure est la suivante :

- Si cela n'est pas déjà fait, commuter sur « ON » le bouton de connexion au port série
- Choisir une durée d'acquisition de 0.01 s
- Choisir un signal de type « Rectangle » avec une amplitude de 3.75 V (c'est la moitié de la tension d'alimentation du système) et un délai avant le démarrage de 2 ms
- Tenir fixe la roue du codeur sans s'appuyer sur le capteur à effet hall
- Commuter le bouton du générateur de signal sur « ON »
- Répéter l'opération jusqu'à l'obtention d'une mesure de courant la plus propre possible

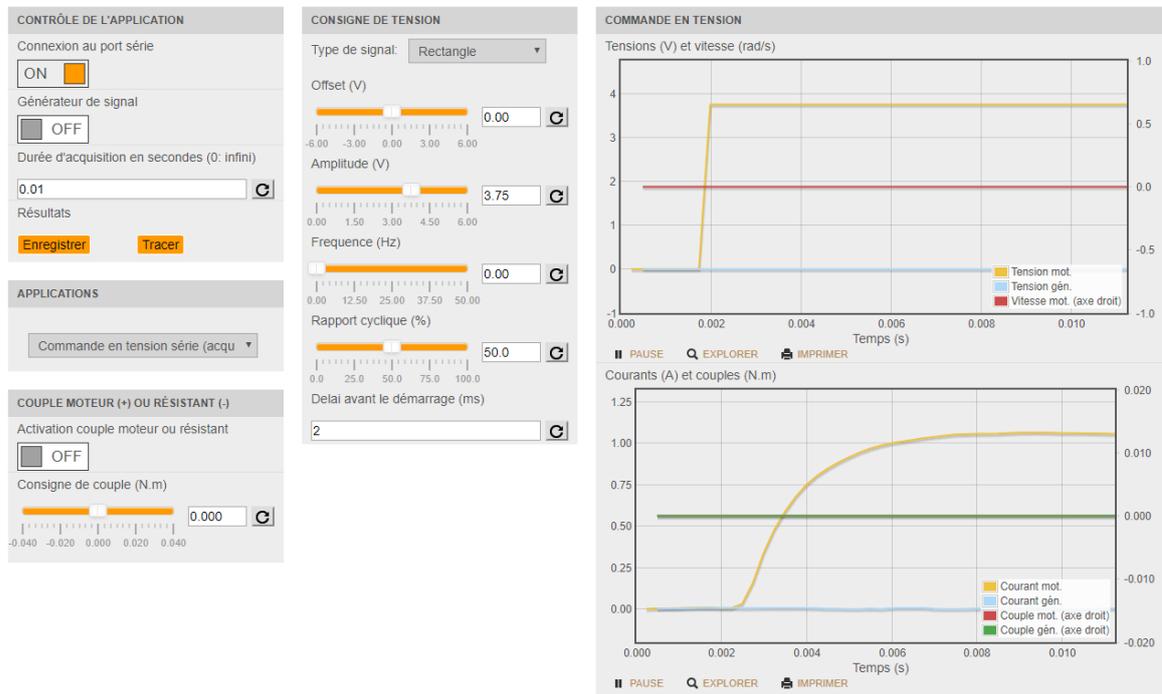


FIGURE 14

- Enregistrer les données en cliquant sur le bouton « Enregistrer » dans « Contrôle de l'application ». Le programme « IdentificationRLKeKcCrFvJeq.ipynb » permet de lire les données du fichier enregistré. Tous les fichiers sont modifiables par vos soins. Vous exploiterez les listes de points des mesures en complétant les zones # *Etudiant* par des fonctions python judicieusement choisies. Il est également possible de rajouter du code à la fin des fichiers selon vos besoins

**Question 6 :** A partir de cette expérience, identifier la résistance  $R$  et l'inductance  $L$  du moteur.

Le programme « IdentificationRLKeKcCrFvJeq.ipynb » permet d'afficher le résultat de l'expérience et celui du modèle.

**Question 7 :** Valider vos résultats.

On peut remarquer que la résistance que vous avez mesurée est en fait la résistance équivalente du hacheur ( $0.565 \Omega$ ) en série avec celle du moteur  $R$ .

**Question 8 :** En déduire la valeur de la résistance interne du moteur.(cette valeur ne sera pas utilisée dans la suite de l'étude)

La valeur numérique de l'inductance  $L$  étant maintenant connue, nous la négligerons car elle n'intervient pas dans le comportement dominant constaté lors de l'expérience.

### 3.2 CONSTANTE DE FORCE CONTRE ÉLECTROMOTRICE $K_E$ ET CONSTANTE DE COUPLE $K_C$

Cette identification se fait le rotor libre, sur une période de temps plus longue.

Il est inutile de désaccoupler le moteur de la génératrice. En effet, la génératrice est pilotée de manière à être « invisible ».

La procédure est la suivante :

- Si cela n'est pas déjà fait, commuter sur « ON » le bouton de connexion au port série Choisir une durée d'acquisition de 0.9 s
- Choisir un signal de type « Rectangle » avec une amplitude de 6 V et un délai avant le démarrage de 50 ms
- Commuter le bouton du générateur de signal sur « ON »

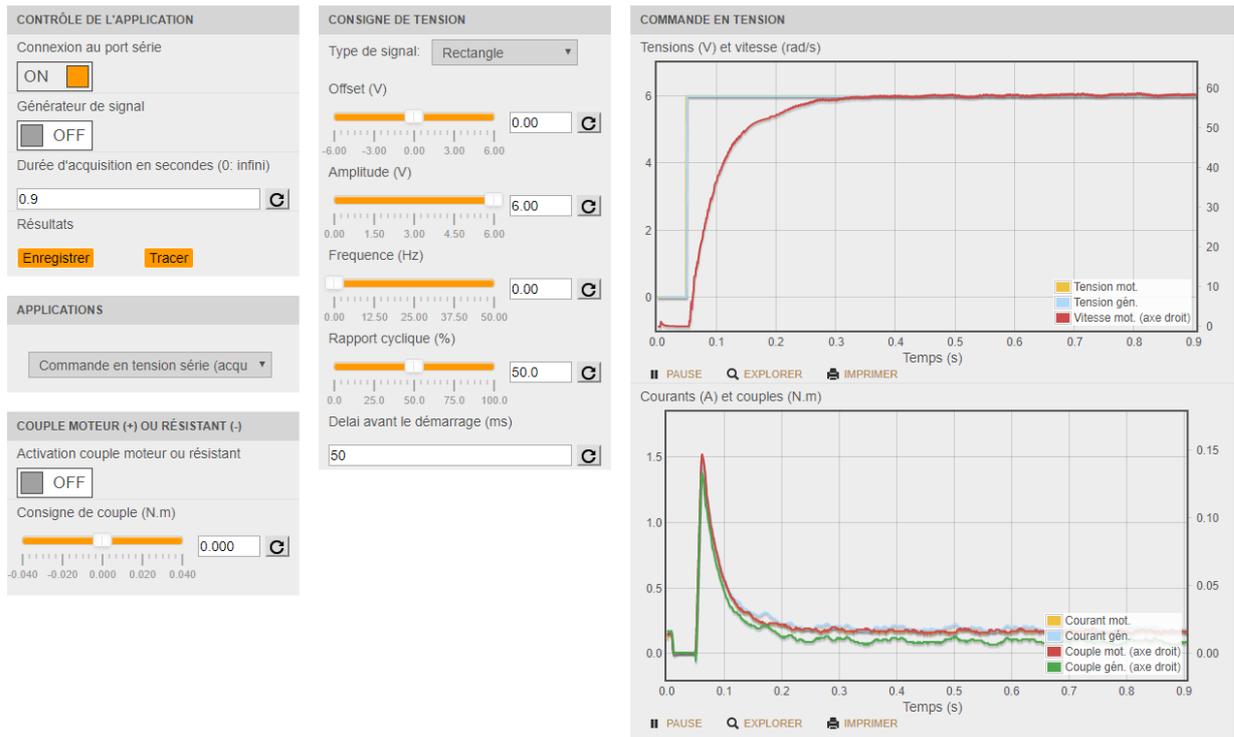


FIGURE 15

- Enregistrer les données en cliquant sur le bouton « Enregistrer » dans « Contrôle de l'application »  
Le programme `« IdentificationRLKeKcCrFvJeq.ipynb »` permet de lire les données du fichier enregistré.  
Tous les fichiers seront modifiables par vos soins.

**Question 9 :** A partir de cette expérience, identifier la constante de force contre électromotrice  $K_E$ .

**Question 10 :** En déduire la constante de couple  $K_C$ .



### 3.3 FROTTEMENT SEC $C_r$ ET FROTTEMENT VISQUEUX $f_v$

Cette identification nécessite la réalisation de plusieurs essais (identique à l'expérience précédente) avec plusieurs tensions d'alimentation différentes (1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 5 V et 6 V).

**Question 11 :** Tracer expérimentalement le courant  $i(t)$  en fonction de la vitesse de rotation  $\omega_m(t)$  du moteur.

« IdentificationRLKeKcCrFvJeq.ipynb » permet d'afficher le courant en fonction de la vitesse de rotation du moteur durant le régime permanent.

#### Frottement visqueux

**Question 12 :** Identifier le coefficient de frottement visqueux  $f_v$ .

#### Couple de frottement sec

L'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées représente le courant de seuil  $i_0$ .

**Question 13 :** A partir des expériences précédentes, déterminer le courant de seuil  $i_0$ .

Procédure expérimentale :

- Si cela n'est pas déjà fait, commuter sur « ON » le bouton de connexion au port série Choisir une durée d'acquisition de 0 s
- Choisir un signal de type « Rectangle » avec une amplitude de 0 V et un délai avant le démarrage de 0 ms
- Commuter le bouton du générateur de signal sur « ON »
- Augmenter petit à petit la tension de commande jusqu'à ce que le rotor se mette en mouvement

**Question 14 :** Déterminer expérimentalement le courant de seuil  $i_0$  en réalisant l'expérience décrite ci-dessus.

Procédure expérimentale :

- Si cela n'est pas déjà fait, commuter sur « ON » le bouton de connexion au port série Choisir une durée d'acquisition de 0 s
- Choisir un signal de type « Rectangle » avec une amplitude de 1 V et un délai avant le démarrage de 0 ms
- Commuter le bouton du générateur de signal sur « ON »
- Diminuer petit à petit la tension de commande jusqu'à ce que le rotor s'immobilise

**Question 15 :** Déterminer expérimentalement le courant de seuil  $i_0$  en réalisant l'expérience décrite ci-dessus.

**Question 16 :** Comparer ces 3 courants de seuil  $i_0$  entre elles.

Identifier le couple de frottement sec  $C_r$ .

### 3.4 MOMENT D'INERTIE ÉQUIVALENT $J_{eq}$

Nous allons enfin déterminer l'inertie du motoréducteur, ramenée sur l'arbre moteur.

Les hypothèses suivantes seront posées :

- Le moteur fonctionne rotor libre.
- La tension d'alimentation du moteur est constante.
- Les frottements secs sont constants et l'inductance interne est négligée.

**Question 17 :** En posant les hypothèses ci-dessus, que devient la fonction de transfert donnée en question 4 ? Quel est alors l'ordre de cette fonction de transfert ?

L'identification du moment d'inertie équivalente peut se faire en reprenant l'expérience faite à 6 V.

**Question 18 :** Identifier le moment d'inertie équivalente à partir de l'expérience.

#### 4 VALIDATION DU MODÈLE PAR MÉTHODE TEMPOREL

Nous vous proposons un modèle causal fonctionnel réalisé sous MATLAB . La différence avec celui que vous avez construit, est qu'il est possible d'importer les résultats expérimentaux.

- Récupérer les résultats expérimentaux pour une commande de 6 V.
- Utiliser le fichier « ConversionCsvXlsPourMatlab.ipynb » pour convertir les résultats en données compatibles avec le modèle causal MATLAB .
- Ouvrir le modèle causal et saisir vos constantes caractéristiques.

**Question 19 :** Valider votre modèle.  
Commenter les écarts constatés.

#### 5 VALIDATION DU MODÈLE PAR MÉTHODE FRÉQUENTIELLE

**Question 20 :** Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée du motoréducteur  $\frac{\Omega_{mr}(p)}{U(p)}$ .

Le programme « bode.ipynb » permet d'afficher une diagramme de Bode d'une fonction de transfert du premier ordre.

**Question 21 :** Tracer le diagramme de Bode de la la fonction de transfert en boucle fermée du motoréducteur en modifiant le gain statique et la constante de temps dans le programme.

Procédure expérimentale :

- Si cela n'est pas déjà fait, commuter sur « ON » le bouton de connexion au port série
- Choisir une durée d'acquisition de 0 s (infini)
- Choisir un signal de type « Sinus » avec une amplitude de 3 V, une fréquence de 1 Hz et un délai avant le démarrage de 0 ms
- Commuter le bouton du générateur de signal sur « ON »
- Commuter le bouton du générateur de signal sur « OFF » une fois que les courbes commencent à défiler (le temps de réponse ne doit plus apparaître sur la courbe)

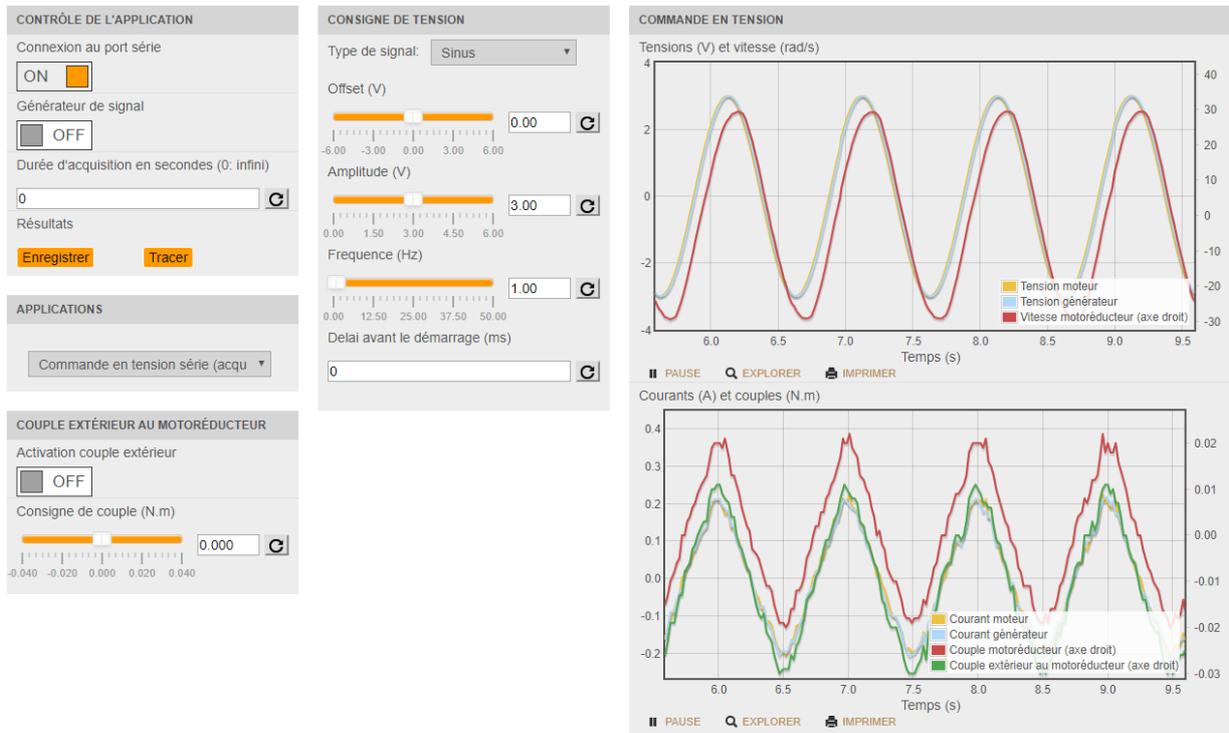


FIGURE 16



Le programme  « `gainPhase.ipynb` » permet d'afficher les relevés expérimentaux (voir graphique précédent) mais également de trouver une sinusoïde passant au mieux des mesures pour la consigne et la réponse.

**Question 22 :** Compléter, dans la partie « Identification », le module et le déphasage entre les deux signaux à partir des informations de la fréquence, de l'amplitude, de phase et de l'offset du signal d'entrée et du signal de sortie.

Le programme  « `bode.ipynb` » permet également d'afficher des relevés expérimentaux.

**Question 23 :** Compléter, avec les relevés expérimentaux, les variables :

- `wm` : la pulsation
- `magm` : le gain
- `phasem` : le déphasage

**Question 24 :** Valider votre modèle en répétant l'expérience pour plusieurs fréquences  
Commenter les écarts constatés