

## TP 12 : Réponse indicielle d'un système linéaire Partie expérimentale

### Capacités exigibles :

- Exploiter la réponse indicielle d'un système linéaire pour identifier ses paramètres caractéristiques (amplification statique, temps de réponse à 5%, bande passante, ordre).

### Capacités expérimentales :

- Utilisation de LATISPRO pour tracer une courbe expérimentale, la modéliser et l'exploiter
- Utilisation de PYTHON pour simuler un système électrique analogue

*Dans cet énoncé, dès qu'une référence est faite à une partie du chapitre 06, vous devrez lire la partie du chapitre concernée afin de poursuivre le T.P. Toute question orale portant sur une information rédigée dans le chapitre 06 et indiquant clairement que vous ne l'avez pas lu, entraîne un point en moins.*

### A faire à la maison :

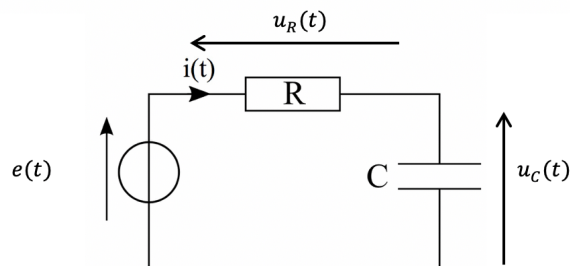


**Visualiser la vidéo suivante :**  
« Chapitre 06 – Établir et exploiter des équations différentielles  
pour des systèmes électriques »

On rédigera sur une copie double, les réponses aux questions du paragraphe I suivant.

#### I. Étude théorique d'un système électrique : à faire à la maison

On souhaite connaître les caractéristiques du système électrique suivant :



Le signal de sortie est la tension aux bornes du condensateur.

1. A l'aide du *paragraphe VII.A du chapitre 06 et de la vidéo*, démontrer que l'équation différentielle liant  $u_C$  et  $e(t)$  est :

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{RC} = \frac{e(t)}{RC}$$

2. A l'aide des *paragraphes VII.C et VIII.B du chapitre 06*, choisir la forme canonique (faisant intervenir la grandeur  $\tau$ ) correspondant à l'équation différentielle de la question 1, et l'écrire sur votre copie.
3. Quel est l'ordre et la nature de filtrage du système étudié ici ?
4. Par identification, en déduire l'expression littérale de  $\tau$  en fonction de  $R$  et  $C$  et la valeur de l'amplification statique  $H_0$ .

**APPEL 0 à faire dès le début de la séance : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

## II. Suivi de la température du système thermodynamique, au cours du temps :

### A. Présentation du système :

Le système étudié est l'ensemble dissipateur thermique à ailettes + résistance chauffante + ventilateur, monté sur un support PVC. La résistance chauffante joue le rôle du processeur d'un ordinateur. Le dissipateur thermique à ailettes permet un transfert thermique plus important entre le système et l'extérieur (air). Le ventilateur permet un renouvellement de l'air, afin d'éviter une éventuelle surchauffe.

On souhaite relever l'évolution au cours du temps, de la variation de la température  $\theta$  du système (en degré Celsius) quand on fournit à la résistance chauffante une puissance électrique constante. Cette puissance électrique reçue par la résistance chauffante, est notée  $P_e$ .

Pour mesurer la température  $\theta$  du système, une sonde de platine, de type Pt100, est soudée à la surface du radiateur à ailettes.

### B. Protocole expérimental :

*On veillera à une lecture détaillée et intégrale de ce protocole. Si toutefois des incertitudes concernant ce protocole persistent après sa lecture, ne pas hésiter à demander au professeur des conseils.*

#### Étudiant 1 (sur l'ordinateur) :

On souhaite acquérir grâce à LATISPRO, la tension aux bornes de la sonde de platine au cours du temps sur la voie EA0. Sur la voie EA1, on mesure la tension sortant de la partie droite de l'alimentation stabilisée. Pour cela, ouvrir LATISPRO, sélectionner les deux voies EA0 et EA1. Mettre 105 points pour une durée totale de 35 min.

#### Étudiant 2 (réalisation du câblage du système) :

Mettre la boîte à décade de résistances sur  $R_1 = 100 \Omega$  (donnée constructeur).

5. A l'aide du multimètre et de la fiche méthode expérimentale 03, mesurer et noter la valeur de la résistance  $R_1$ . On veillera à la précision des mesures.

Réaliser le câblage du système, à l'aide de l'annexe 01 : on veillera particulièrement à préparer des câbles électriques pour alimenter la résistance chauffante, **sans les raccorder à l'alimentation continue**. Lorsque l'expérience débutera (et donc lorsque vous déclencherez l'acquisition), il faudra régler **en moins de 20 s** cette alimentation sur une tension de 20 V et une intensité de 2,0 A (partie centrale de l'alimentation stabilisée).

Durant l'ensemble de la manipulation, il ne faudra ni déplacer le système ni changer l'environnement autour du système.

**Juste avant de se lancer l'acquisition sur LATISPRO (et de brancher ensuite l'alimentation de la résistance chauffante en moins de 20s), appeler le professeur afin qu'il vérifie votre montage et vos réglages sur LATISPRO.**

### **APPEL 1 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

Lancer l'acquisition sur LATISPRO puis régler rapidement (en moins de 20 s !) la partie centrale de l'alimentation stabilisée sur 20 V et 2,0 A.

6. Noter sur sa copie, les valeurs de la tension  $U$  et de l'intensité  $I$  délivrée par la partie centrale de l'alimentation stabilisée (celle alimentant la résistance chauffante) : il faut que ces valeurs restent constantes durant la durée de l'expérience.

Au bout de 35 minutes, l'expérience et l'acquisition s'arrêtent : éteindre l'alimentation stabilisée. Ne pas toucher au support PVC, pour éviter toute brûlure. **En attendant la fin de l'expérience, faire la partie théorique du TP. Une fois l'acquisition terminée (c'est-à-dire dans 35 minutes), poursuivre la partie expérimentale ci-dessous.**

### III. Exploitation de la réponse indicielle expérimentale du système :

#### A. Obtention de la variation de la température en fonction du temps :

On appelle la variation de température  $\Delta\theta$  du système au cours du temps :

$$\Delta\theta = \theta - \theta_{ext}$$

$\theta$  : température du système à l'instant  $t$  (en °C)

$\theta_{ext}$  : température du système à l'instant initial (en °C), correspondant à la température de la salle.

Une fois l'acquisition terminée, sur LATISPRO, enregistrer votre travail puis aller dans « Traitements » puis « Feuille de Calculs ». Saisir sur le champ libre, les formules suivantes, à l'aide de votre mesure de la question 5 :

$$\begin{aligned} R &= \text{votre valeur mesurée de } R_1 * EA0 / (EA1 - EA0) \\ \text{Theta} &= (R/100 - 1) * 1/0.0039083 \\ D\text{theta} &= \text{Theta} - \text{Theta}[1] \end{aligned}$$

Puis dans « Calcul », cliquer sur « Exécuter ». Retirer de votre représentation temporelle l'ensemble des courbes présentes, puis faire glisser  $D\text{theta}$  sur le graphe.

Double-cliquer sur le nom de l'axe des ordonnées  $D\text{theta}$  afin d'adapter l'échelle du graphe.

Effectuer un clic droit sur le nom de l'axe des ordonnées  $D\text{theta}$ , puis Propriétés et choisir comme style « croix » en noir.

### **APPEL 2 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

#### B. Caractérisation du système :

Grâce à sa réponse indicielle, on souhaite caractériser ce système, et connaître ses grandeurs caractéristiques.

#### Nature du filtrage :

7. Le signal de sortie contient-il des basses fréquences (comme le signal d'entrée) ? Justifier votre réponse.  
Le système étudié laisse-t-il passer les basses fréquences ?
8. Le signal de sortie contient-il des hautes fréquences (comme le signal d'entrée) ? Justifier votre réponse.  
Le système étudié laisse-t-il passer les hautes fréquences ?
9. En déduire quelle nature de filtrage est réalisée par ce système.

#### Modélisation de $\Delta\theta(t)$ :

Dans LATISPRO, aller dans « Traitements » puis « Modélisation ». Glisser la variable  $D\text{theta}$  dans la case « Courbe à modéliser ». Dans « Modèles », choisir « Modèle Utilisateur ». Puis dans le champ « Formule », saisir la formule suivante :

$$a * (1 - \text{Exp}(-( \text{Temps} - b) / \text{tau})) \quad \boxed{\text{formule 1}}$$

On cherche le trio de valeurs  $(a, b, \tau)$  qui ajuste au mieux la réponse indicielle  $\Delta\theta(t)$  obtenue expérimentalement. Calculer le modèle : si la modélisation n'arrive pas à converger, saisir dans la case « tau » la valeur 300 et dans la case « a », la valeur 100.

10. Relever les valeurs (en précisant **les unités**) de  $a, b$  et  $\tau$  données par la modélisation, sachant que  $a$  correspond à la valeur de  $s_\infty$  et  $b$ , est l'instant origine de l'expérience.

### **APPEL 3 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

Imprimer au format paysage le graphe obtenu.

11. De quel ordre est le système ? Justifier votre réponse, à l'aide entre autres de l'outil « Tangente » de LATISPRO. On notera sur sa copie, la valeur du coefficient directeur de la tangente tracée.

Bande passante du système thermodynamique :

12. A l'aide de la valeur de  $\tau$  obtenue par la modélisation, déterminer la valeur de la fréquence de coupure  $f_c$  du système, en Hz.
13. En déduire la bande passante du système et la largeur de cette bande passante, en Hz.

Coefficient de convection forcée :

Une étude théorique du système nous conduit à l'expression suivante pour  $\Delta\theta$ :

$$\Delta\theta = \theta - \theta_{ext} = \frac{P_{fournie}}{h \times S} \times \left(1 - e^{-\frac{t-b}{\tau}}\right) \quad \boxed{\text{formule 2}}$$

14. Par identification entre les formules 1 et 2 de  $\Delta\theta$ , donner la formule littérale liant  $h, S, P_e$  et  $a$ .
15. En déduire la valeur de  $h$ , en précisant son unité, sachant que la surface  $S$  du radiateur à ailettes est de  $1,30 \times 10^{-2} m^2$ .

Pour la convection forcée entre l'air et un solide, les tables indiquent que  $h$  est compris entre  $10 W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$  et  $50 W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$ .

16. Comparer votre valeur de  $h$  à cet encadrement (sans calculer d'écart relatif) et conclure.

**APPEL 4 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

Capacité thermique massique du dissipateur :

17. Sachant que la masse du dissipateur à ailettes est  $m = 180g$ , déterminer, à l'aide de la valeur expérimentale de  $\tau$ , la valeur de la capacité thermique massique notée  $c$ , en précisant son unité. On donne la formule suivante :

$$\tau = \frac{mc}{hS}$$

La capacité thermique massique de l'aluminium (matériau constituant le dissipateur) est :

$$c = 897 J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$$

18. Comparer votre valeur expérimentale de  $c$  à l'aide d'un écart relatif et conclure.
19. Compléter enfin, la partie « système thermodynamique » de l'annexe 02, à l'aide de vos valeurs expérimentales.

**APPEL 5 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

C. Lien entre la durée de réponse à 5% et la constante de temps du système :

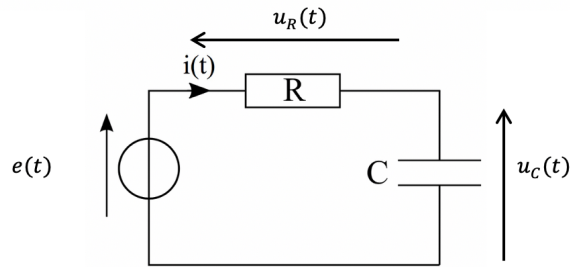
20. Sur LATISPRO, à l'aide l'outil « Réticule » lié à la modélisation, déterminer graphiquement  $\Delta t_{5\%}$  (en seconde) du système étudié. On rédigera les calculs nécessaires sur sa copie.
21. Déterminer la valeur de  $3 \times \tau$  à l'aide de la valeur de  $\tau$ .
22. La comparer à la valeur de  $\Delta t_{5\%}$  obtenue et conclure.

**APPEL 6 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

#### IV. Analogie entre un système électrique et le système thermodynamique précédent :

##### A. Retour sur le système électrique de l'appel 0 :

On souhaite simuler un système électrique **analogue** au système thermodynamique étudié précédemment. On étudie le système suivant :



Le signal de sortie est la tension aux bornes du condensateur. La valeur de la capacité  $C$  du condensateur est égale à la valeur de la capacité thermique du système thermodynamique.

23. Grâce à votre travail préparatoire et par identification, déterminer la valeur numérique de la résistance électrique  $R$  permettant d'avoir la même constante de temps  $\tau$  pour le système électrique que pour le système thermodynamique.

Sous certaines conditions, la solution de l'équation différentielle du système électrique  $\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{RC} = \frac{e(t)}{RC}$  a pour expression littérale :

$$s(t) = H_0 \times E \left( 1 - e^{-\frac{t-b}{\tau}} \right)$$

Nous allons utiliser PYZO afin de simuler la réponse indicielle du système électrique. Dans PYZO, sous Python (version 3.6.7), ouvrir le fichier `TP12_systemeRC_simulation.py`.

**Compléter l'ensemble des lignes « vides » afin que la réponse indicielle du système électrique soit identique à la réponse indicielle expérimentale du système thermodynamique précédent.**

La fonction exponentielle se rédige `np.exp()` en Python. Lancer l'exécution du code.

#### **APPEL 7 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

Mettre le graphe en plein écran, puis enregistrer-le au format PDF sur votre espace disque. Ouvrir le PDF et imprimer-le au format paysage.

24. A l'aide du curseur sur Python et de tracés sur votre impression, déterminer graphiquement :

- la valeur de la constante de temps  $\tau$ ,
- la valeur de  $s_\infty$ ,
- la nature du filtrage du système électrique étudié,
- l'ordre de ce système,
- la fréquence de coupure du système,
- la durée de réponse à 5 %.

25. Conclure en complétant le tableau de l'annexe 02.

#### **APPEL 8 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**

Une fois l'appel 8 effectué, vous devez terminer la partie théorique de ce TP.