

MP33 - RÉGIMES TRANSITOIRES

15 mars 2016

Karen Monneret & Marianne Berland

"Oublie les conséquences de l'échec. L'échec est un passage transitoire qui te prépare pour ton prochain succès."

DENIS WAITLEY,

Commentaires du jury

2013 à 2015 : Il existe des régimes transitoires dans plusieurs domaines de la physique et pas uniquement en électricité ; de même, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre. Par ailleurs, bien que le régime transitoire des systèmes linéaires, évoluant en régime de réponse indicielle, puisse parfois se ramener à l'étude d'un circuit RC, la simple mesure du temps de réponse d'un tel circuit ne caractérise pas l'ensemble des propriétés des régimes transitoires. Enfin, varier les échelles de temps dans la présentation serait appréciable.

2012, 2011 : Les régimes transitoires ne se réduisent pas à la relaxation des systèmes linéaires en électricité. Par ailleurs, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre.

2009, 2010 : Il existe des régimes transitoires dans plusieurs domaines de la physique et pas uniquement en électricité. Bien que le régime transitoire des systèmes linéaires, évoluant en régime de réponse indicielle, puisse parfois se ramener à l'étude d'un circuit RC, la simple mesure du temps de réponse d'un tel circuit ne caractérise pas l'ensemble des propriétés des régimes transitoires. D'autre part, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre.

2008 : Ce nouveau montage a été peu choisi cette année. Notons pourtant que les régimes transitoires interviennent dans de nombreux domaines de la physique et pas seulement en électricité !

Bibliographie

- *Dictionnaire de physique*, **Taillet** → Introduction
- *Expérience d'électronique*, **Duffait** → Circuit RLC et RC
- *Electronique expérimentale*, **Krob** → Circuit RLC et RC aussi. Prenez celui avec vous accrochez le plus.
- *Dictionnaire de physique : Thermodynamique*, **Quaranta** → Diffusion du glycérol dans l'eau ; chercher à "transport".
- *Exercices et problèmes de thermodynamique*, **Calecki, Diu** → exercice concernant la diffusion du glycérol dans l'eau (théorie).
- *Capés de sciences physiques*, **Duffait** → Chute de la bille avec frottements et pendule pesant amorti.
- *Dictionnaire de Physique : Mécanique*, **Quaranta** → Amortissement de l'eau.
- *Handbook*

Table des matières

1	Le circuit RC - pas fait	2
2	Le circuit RLC	3
3	Régime transitoire diffusif.	4
4	Chute verticale avec frottements - Pas fait	5
5	Diffusion dans une barre de cuivre.	5

Introduction

Régime transitoire : évolution temporaire d'un système dont la durée est limitée dans le temps et qui est intermédiaire entre deux régimes permanents distincts.

exemple : application ponctuelle d'une excitation à partir d'une situation de repos, ou bien variation des caractéristiques de l'excitation que le système subit.

Régime permanent : état d'un système qui ne change pas au cours du temps. (peut être précédé d'une régime transitoire).

Que nous apporte comme information le régime transitoire ?

→ Nous allons l'étudier dans différents domaines :

- l'électronique ;
- la thermodynamique ;

1 Le circuit RC - pas fait

Système du premier ordre : $\frac{dv_s}{dt} + \frac{1}{RC}v_s = v_e$ avec v_e la tension d'entrée et v_s la tension mesurée aux bornes du condensateur (cf. Figure 1).

Solution de l'équation :

- charge : $v_s = v_e(1 - e^{-t/\tau})$
- décharge : $v_s = v_e e^{-t/\tau}$

Le temps caractéristique du régime transitoire est : $\tau = RC$.

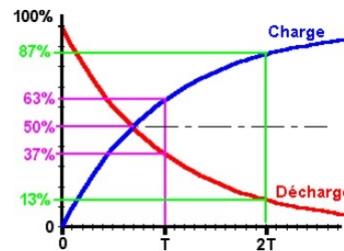
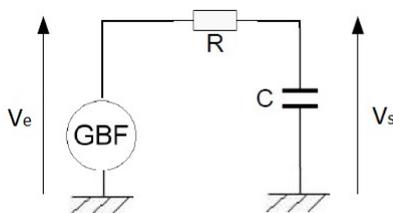


FIGURE 1 – Circuit RC.

Régression linéaire : En faisant varier R , on mesure τ afin de retrouver la valeur de la capacité C .

Application : détecteur d'enveloppe

Une des applications du RC. Je ne l'ai pas étudié, je ne sais pas ce que ça vaut. C'est une simple idée.

2 Le circuit RLC

Étude d'un circuit du second ordre. L'intérêt ? La plupart des phénomènes physiques sont régis par ce type d'équation. Le régime transitoire contient de nombreuses informations.

Soit un circuit RLC (cf. Figure 2) composé de :

- une tension crêteau de fréquence 100 Hz, d'amplitude 3.6 V, de résistance interne $R_G = 50 \Omega$.
- une résistance variable R
- une bobine de $L = 37.5 \pm 0.4 \text{ mH}$ avec une résistance interne de $R_L = 10.77 \pm 0.01 \Omega$.
- une capacité de $C = 21.7 \pm 0.3 \text{ nF}$ de résistance interne négligeable.
- une résistance totale : $R_{tot} = R_G + R + R_L$

Un circuit RLC est caractérisé par l'équation différentielle du second ordre avec second membre :

$$\frac{d^2v_s}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{dv_s}{dt} + \omega_0^2 v_s = \frac{R}{R_{tot}} \frac{\omega_0}{Q} \frac{dv_e}{dt}$$

avec :

- $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- $Q = \frac{L\omega_0}{R}$
- le terme $\frac{\omega_0}{Q}$ représente l'amortissement.
- le second membre représente le forçage.

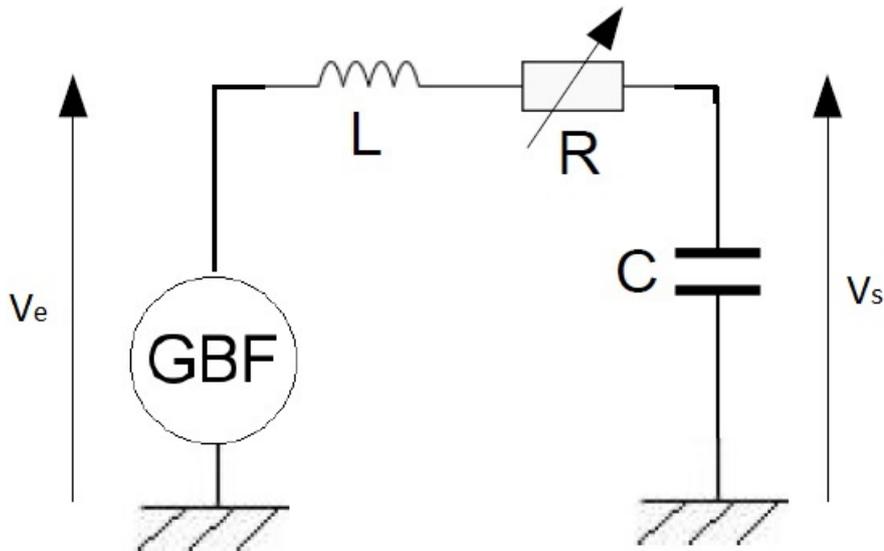


FIGURE 2 – Circuit RLC.

Les différents régimes.

Ces différents régimes sont obtenues suivant les différentes valeurs du discriminant :

$$\Delta = \frac{\omega_0^2}{Q} - 4 * \omega_0^2$$

$$\Delta = 4\omega_0^2 \left[\frac{1}{4Q^2} - 1 \right]$$

- $Q > 1/2$ régime pseudo-périodique $\longleftrightarrow R < R_C$: oscillation exponentiellement amorties de pseudo-pulsation $\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$

- $Q = 1/2$ régime critique $\longleftrightarrow R = R_C$: La résistance critique a pour expression $R_C = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.
- $Q < 1/2$: régime apériodique $\longleftrightarrow R > R_C$: décroissance exponentielle sans oscillations.

Déterminer R_C n'est pas chose facile. Il y a une large gamme où l'on ne dissocie plus très bien le régime critique, du régime apériodique.

La pseudo-période.

Nous pouvons déterminer la pseudo période de ce circuit par régression linéaire : $\omega^2 = \omega_0^2 - \lambda^2$ avec $\lambda = \frac{R}{2L}$

La réponse indicielle.

Non faite ici. Mais dans d'anciens montages, c'est assez bien expliqué. Ca doit pouvoir se faire.

3 Régime transitoire diffusif.

On dispose d'un faisceau laser inclinée à 45 deg par rapport à la verticale, perpendiculaire aux faces d'une cuve en verre et disposé sous forme de nappe : l'image du faisceau laser est observé sur un écran (cf. Figure 3). On nomme la nappe de laser non perturbée Δ . On remplit la cuve à moitié d'eau, d'indice $n_{eau} = 1.334 \pm 0.001$. Puis on y ajoute délicatement au fond un mélange eau+glycérol 50/50 d'indice $n_{mel} = 1.397 \pm 0.001$ (mesurée à l'aide d'un réfractomètre) pour éviter les phénomènes de convection.

On suppose l'épaisseur de la cuve négligeable pour traiter le problème à une dimension : $c(z,t)$ est la concentration du glycérol. On observe la diffusion des deux fluides suivant la verticale Oz.

On néglige l'influence de la pesanteur.

La déviation angulaire $\Delta\theta$ est proportionnelle à la profondeur de la "cuvette". La hauteur est donnée sur l'axe $z=0$. Pour des petits angles de déviation, on obtient (démonstration complète dans l'exercice) :

$$h(t) = \frac{eL(n_{mel} - n_e)}{\sqrt{4\pi Dt}}$$

avec L, la longueur entre l'écran et la face de sortie de la cuve, $h(t)$ la différence de hauteur et D le coefficient de diffusion du glycérol.

Par régression linéaire de h en fonction de t, on retrouve D comme coefficient directeur.

Théoriquement on doit obtenir $D = 4.0 * 10^{-10} m^2.s^{-1}$ pour ce mélange (valeur non répertoriée dans le handbook, mais notée au crayon de papier dans le Calecki je crois :)).

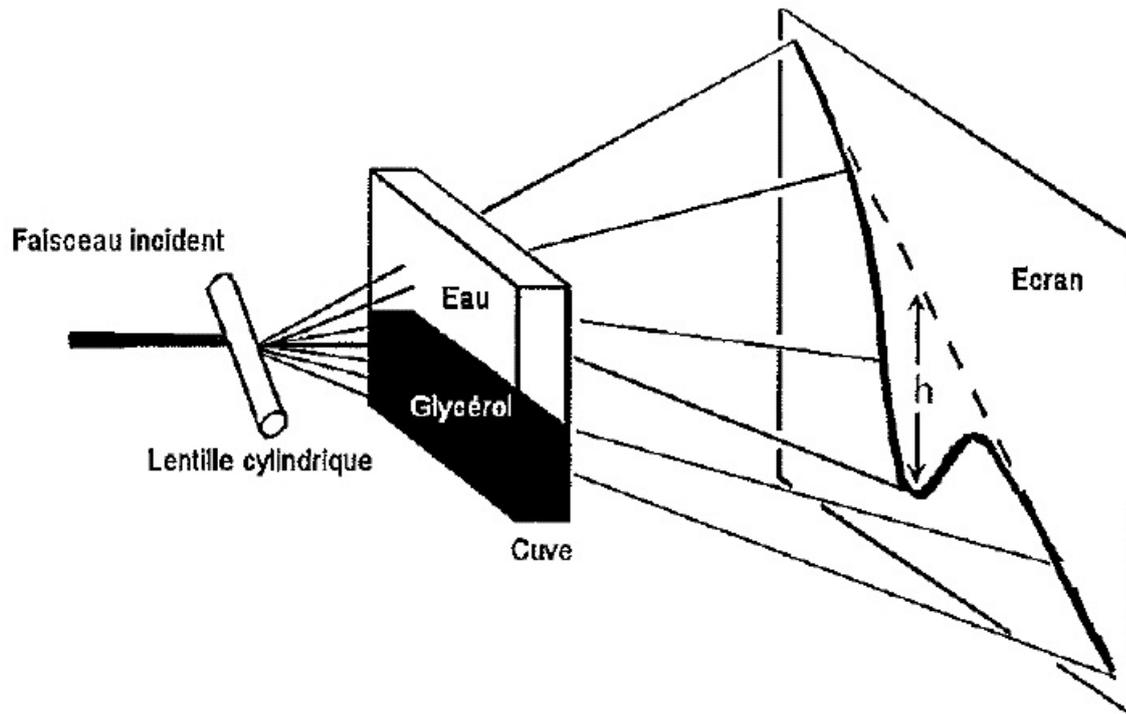


FIGURE 3 – Observation sur l'écran de la diffusion du glycérol dans l'eau.

4 Chute verticale avec frottements - Pas fait

Étude de la chute d'une bille :

On se suppose en régime laminaire : la force de frottement est alors $\vec{F} = 6\pi\nu R\vec{v}$ (force de Stokes).

PFD de la bille : $m\frac{dv}{dt} = mg - m\frac{\rho_0}{\rho}g - 6\pi\nu Rv$

solution : $v = v_{lim}(1 - e^{-t/\tau})$ avec $v_{lim} = \frac{mg}{6\pi\nu R}(1 - \rho_0/\rho)$ et $\tau = \frac{2R^2\rho}{9\nu}$

Nous faisons donc un enregistrement vidéo et par le logiciel de la webcam, on trace la droite $v(t)$. Ainsi on peut déterminer le temps de régime transitoire τ et retrouver ν la viscosité du glycérol.

→ APRES 3H D'ACHARNEMENT, ON N'A PAS REUSSI A ACQUERIR UN BEAU REGIME TRANSITOIRE (c'est vraiment trop court!).

5 Diffusion dans une barre de cuivre.

Équation du régime de diffusion de la chaleur dans cette célèbre barre de cuivre :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

avec $D = \frac{\lambda}{\rho c_p} = 114.10^{-6} m^2.s^{-1}$, la conduction thermique, $\lambda = 390 W.m^{-1}.C^{-1}$ la conductivité thermique, que l'on va retrouver expérimentalement, $\rho = 8890 kg.m^{-3}$ sa masse volumique et $c_p = 385 J.kg^{-1}.C^{-1}$ la capacité thermique massique à volume constant du cuivre.

La barre est supposée calorifugée. Elle est chauffée à une extrémité par un module Peltier et l'autre extrémité est laissée à température ambiante. On enregistre la température à l'aide de thermocouple (de

type T) en fonction du temps à différentes positions (6 au maximum sur la barre de longueur $L=250$ mm). La relation entre T et U la tension récupérée est : $10mV.C^{-1} \pm 0.5mV.C^{-1}$.

On détermine D pour différentes positions afin de moyenner les incertitudes.

Les solutions sont de la forme $T(x, t) = A\Psi\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) + B$ avec Ψ la fonction erf (qu'on a eu en agreg blanche au ski!).

Une condition intéressante est que $\text{erf}(1/2) = 1/2$. Ainsi à l'instant t où la température du point x de la barre a varié de la moitié de sa variation totale, on a la relation :

$$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} = \frac{1}{2}$$

Conclusion

Nous avons observé différents régimes transitoires, à différentes échelles de temps et dans différents domaines physiques. Nous avons vu quelles caractéristiques ils contenaient. Ainsi, nous pouvons modifier les paramètres afin de les réduire comme par exemple pour réduire les rebonds d'une voiture passant un dos d'âne (amortisseur) ou encore de le rallonger pour étudier la réponse indicielle d'un circuit électronique.

Compléments : autre expérience possible :

- amortisseur
- pendule pensant amorti
- temps de réponses d'un capteur.
- moteur asservi