

Montage 33 : Régimes Transitoires

Nicolas-Alexandre Goy

Le 2 Décembre 2016

Bibliographie :

- [1] : *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement, (électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique)*, JP. Bellier, C. Bouloy, D. Guéant, Edition Dunod
- [2] : *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement (optique, mécanique des fluides, transferts thermiques)*, JP. Bellier, C. Bouloy, D. Guéant, Edition Dunod
- [3] : *Dictionnaire de Physique Expérimentale*, L. Quaranta, Editions Pierron
- [4] : *Hydrodynamique Physique*, E. Guyon, JP. Hulin, L. Petit, CNRS Editions (2001) EDP Sciences

INTRODUCTION :

Dès lors que nous avons un système dans un état, et que nous voulons le mettre dans un autre état, nous devons attendre un certain temps avant que celui-ci ne change de régime. Ce laps de temps entre ces deux états d'équilibre naturels ou contraints (régimes permanents ou régimes sinusoïdaux) est un régime bien particulier qui s'appelle "régime transitoire". Ce régime existe dans tous les domaines de la physique. Nous allons alors l'illustrer via plusieurs expériences permettant de déterminer des temps caractéristiques de transition ou d'amortissement généralement notés τ . Cette définition doit être approfondie si l'on souhaite étudier d'autres domaines. Dans notre étude, elle suffira.

I. Régimes Transitoires en électronique

A. Charge d'un condensateur dans un circuit RC ([1] ch 3 et 4, [3] tome IV p403)

Remarque préliminaire : Expérience à éviter de présenter puisque trop simpliste. En réalité cela reviendrait, au niveau du traitement des données et des manipulations, à faire la même chose que pour l'étude de la décharge d'un condensateur dans un RLC série, ce qui sera détaillé dans le prochain paragraphe.

Juste au niveau des valeurs, nous prenons une capacité $C = 100nF$, une résistance variable allant entre $R = 500\Omega$ et $R = 10k\Omega$. On envoie un signal carré $+6V/0V$ avec un GBF. On choisit une fréquence de des signaux carré de $f = 10Hz$. Pour plusieurs valeurs de R , on acquiert à l'oscilloscope ou avec latis pro la tension aux bornes du condensateur lorsque celui-ci se charge. On ajuste avec une courbe de la forme $u_C = u_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ et on détermine $\tau = RC$. Le montage est le même que celui de la prochaine expérience, mais sans la bobine.

B. Décharge d'un condensateur dans un circuit RLC série ([1] ch 3 et 4, [3] tome IV p403)

Dans cette partie, nous étudions la décharge d'un condensateur dans un circuit RLC série. Il s'agit ici d'observer le régime transitoire correspondant à la décharge du condensateur dans l'inductance et la résistance. Nous allons mettre en évidence le changement de régime et donc le comportement différent du circuit en fonction de plusieurs paramètres.

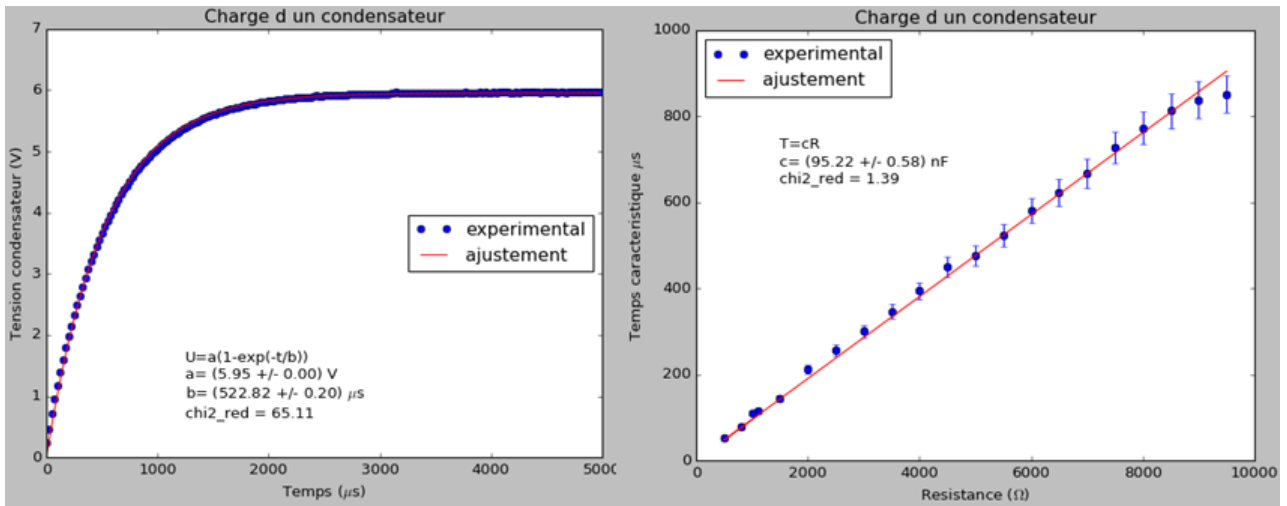


Figure 1: *Circuit RC* : A gauche : détermination de τ ; et à droite : détermination de la capacité du condensateur.

Montage expérimental

On réalise le montage suivant : un GBF alimente un circuit contenant 4 composants : un AOP en circuit suiveur (alimenté $+15/-15\text{V}$), une boîte à décade de bobine (fixée à $L = 500\text{mH}$), une boîte à décade de résistances (variable), puis une boîte à décade de capacité (reliée à la masse et fixée à $C = 100\text{nF}$). La présence de l'AOP sert à oublier la résistance de sortie du GBF. Les valeurs de L , de C , et de R sont alors choisies telles que l'on puisse négliger l'influence des caractéristiques des instruments de mesure (carte d'acquisition, oscilloscope de résistance $R_o = 1\text{M}\Omega$ et de capacité $C_o = 15\text{pF}$). Avec la voie 1 de l'oscilloscope on visualise la tension délivrée par le générateur (ou en sortie de l'AOP histoire de voir un tout petit transitoire dû à l'AOP), et sur la voie 2 on visualise la tension aux bornes du condensateur. Le GBF alimente le circuit avec un signal carré d'amplitude $+6\text{V}/0\text{V}$ (sans saturer l'AOP) à une fréquence de $f = 10\text{Hz}$. Cette fréquence est choisie différente de celle du secteur pour éviter les parasites, et de telle sorte à ce que l'on puisse observer, entre une montée et une descente, l'atténuation des oscillations du circuit.

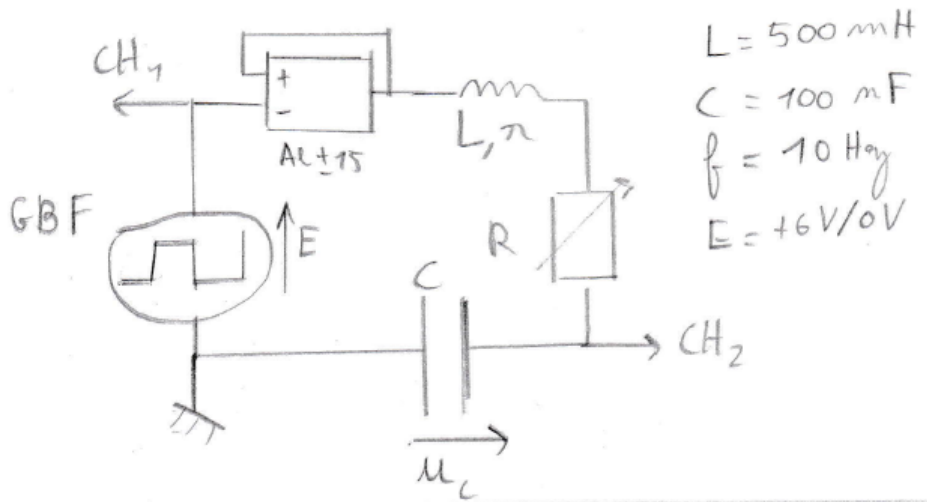


Figure 2: *Schéma du montage.*

Remarque : Pour la prochaine fois, on prendra plutôt une bobine à inductance fixe (genre les enroulements de fils qu'on pique au CAPES) afin d'avoir une bobine de meilleure qualité (inductance et résistance interne fixes).

Modèle théorique

Ici, on peut utiliser la loi des mailles pour connaître l'évolution de la tension aux bornes du condensateur au cours du temps. On peut montrer que lorsque le signal fourni par le GBF passe d'un créneau haut (condensateur initialement chargé à 6V environ) à un créneau bas, le condensateur se décharge avec l'évolution suivante.

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{2}{\tau} \frac{du_c}{dt} + \omega_0^2 u_c = 0 \quad (1)$$

Où nous avons : $\tau = \frac{2L}{R+r}$ le temps caractéristique de réponse du système (celui que l'on cherche à déterminer), et $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ la pulsation propre du système. Lorsque l'on étudie la résonance du système en le forçant à une fréquence f en signal sinusoïdal, nous définissons le facteur de qualité Q qui prend pour expression dans notre cas : $Q = \omega_0 \tau = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$. L'évolution temporelle du système dépend essentiellement de la valeur de Q , qui va ici dépendre de la valeur de R . Deux types d'évolution temporelle peuvent s'observer expérimentalement : le régime pseudo-périodique, et le régime aperiodique.

Observation et caractérisation du régime pseudo-périodique

Celui-ci s'observe lorsque $Q > \frac{1}{2}$, c'est à dire ici pour des résistances inférieures à 4000Ω. La solution de l'équation différentielle régissant la tension aux bornes du condensateur prend alors la forme :

$$u_c = u_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \quad (2)$$

où $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \frac{1}{\tau^2}}}$ est la pseudo-période de notre signal. On cherche ici à évaluer τ et à en vérifier son expression avec R et L . On voit d'ailleurs, qu'expérimentalement le signal s'atténue plus vite lorsque la résistance du circuit augmente. C'est le phénomène résistif qui dissipe l'énergie qui s'échange entre la bobine et le condensateur.

Pour cela, nous allons choisir une valeur de R fixe, comprise entre 100Ω et 3000Ω. Nous allons connecter les signaux de CH1 et CH2 sur les bornes (respectivement) EA1 et EA5 de la carte d'acquisition de Latis Pro. Nous allons acquérir une décharge du condensateur via Latis Pro en choisissant un déclenchement sur la borne EA1 en front descendant à 5.9V et un pré-trig de 25%. Cela va nous permettre de déclencher l'acquisition lors de la descente en créneau bas (*ie* la décharge du condensateur) sans louper les premiers points. On prend une acquisition de 10ms afin de voir toute la décharge, avec une fréquence d'échantillonnage satisfaisant le critère de Shannon (fréquence d'échantillonnage au moins deux fois plus grande que la fréquence du signal). Une acquisition de 200 points suffit. On récupère ensuite les données, pour les traiter sur Python (voir annexe) en ajustant par l'équation précédente, nos points expérimentaux (ça sert à caler nos connaissances en Python, Wouh!).

Il faut d'ailleurs prendre en compte les incertitudes de mesures sur la résistance (environ 5%) et la mesure de tension et du temps (1% chacun).

Après avoir récupéré via notre ajustement, le temps caractéristique de décroissance du signal, pour une résistance donnée, nous refaisons cette manipulation pour pouvoir tracer $\tau = f(R)$. Nous

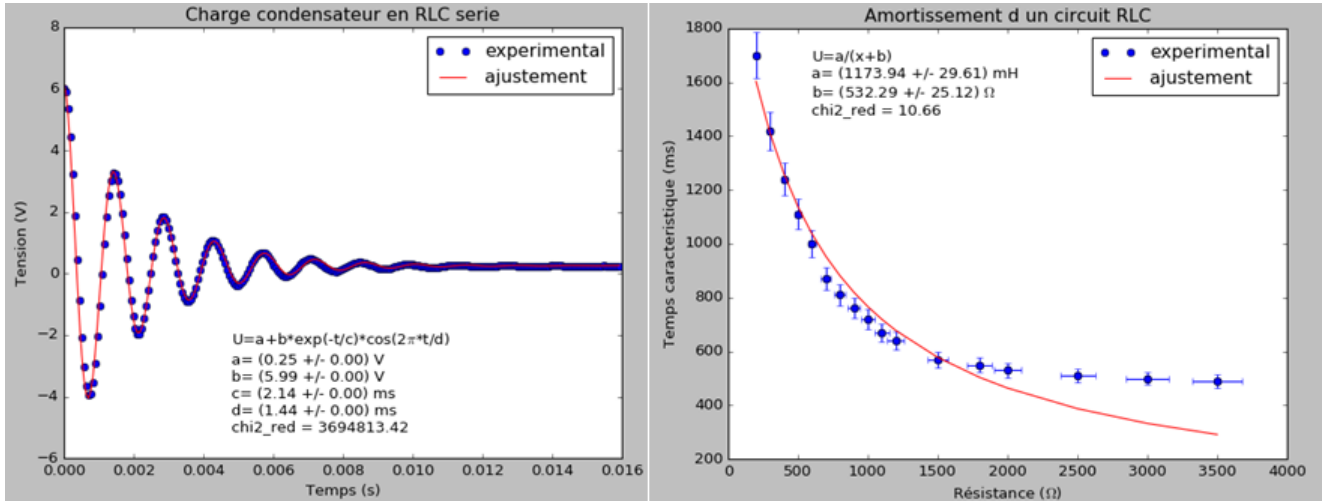


Figure 3: *Circuit RLC en pseudo-périodique* : A gauche : détermination de τ ; et à droite : détermination de la valeur de l'inductance.

ajustons nos points expérimentaux avec la fonction $\tau = \frac{a}{R+b}$. On identifie $a = 2L$ et $b = r$. Cela nous permet de déterminer la valeur d'inductance de notre bobine, ici connue, mais le principe peut s'exploiter pour une inductance inconnue ; et par la même occasion sa résistance interne. Nous voyons que cela nous donne des résultats ayant le bon ordre de grandeur. (Remarque : il est plus simple de tracer la fonction : $\frac{1}{\tau} = \frac{R}{a} + b$).

Régime apériodique

Celui-ci s'observe lorsque $Q < \frac{1}{2}$, c'est à dire ici pour des résistances supérieures à 4000Ω . La solution de l'équation différentielle régissant la tension aux bornes du condensateur prend alors la forme :

$$u_c = u_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \cosh\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \quad (3)$$

où $T \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{\tau^2} - \omega_0^2}}$ est la pseudo-période de notre signal. Ici le signal décroît très rapidement. Ce modèle théorique ne passe très rarement par tous les points. Nous allons alors estimer à l'aide des curseurs de l'oscilloscope le temps d'amortissement du signal. Ici, nous allons le définir un peu autrement. On va dire que le temps d'amortissement correspond au temps qu'il faut mettre pour que la tension aux bornes du condensateur atteigne 5% de sa valeur initiale. Dans le cas de la charge du condensateur, ceci correspond à $4RC$.

Comme tout à l'heure, nous allons évaluer l'évolution du temps caractéristique d'amortissement noté τ_a en fonction de la résistance (tant que celle-ci est supérieure à 4000Ω). Pour chaque valeur de R , on mesure τ_a à l'oscilloscope avec la fonction curseur. On trace ensuite $\tau_a = f(R)$. Une courbe linéaire croissante passe par les points. Cela peut alors se traduire par le fait que comme les oscillations n'ont pas lieu, le système, à cause de la résistance, a tendance à s'amortir comme lors de la décharge d'un condensateur (mais en différent). On arrive à $\tau_a = \alpha R$, où α est une sorte de capacité effective. L'estimation de α nous donne $\alpha \approx C$.

Remarque : On pourrait aussi observer le régime transitoire qu'il y a avant le forçage du circuit par un signal sinusoïdal. Ceci reviendrait à faire exactement la même étude que précédemment. Pour l'obtenir, il faut jouer sur les valeurs de L et R afin d'avoir un temps de transitoire en régime pseudo-périodique plutôt long, et forcer à une fréquence pas trop loin de la résonance. On observerait

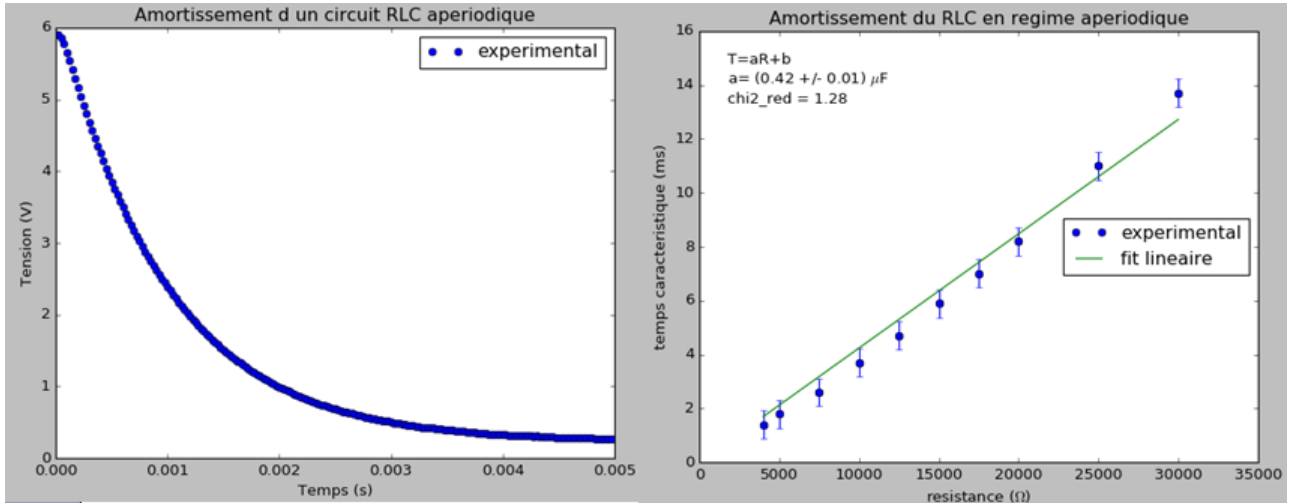


Figure 4: *Circuit RLC en aperiodique* : A gauche : *determination de τ* ; et à droite : *determination de la valeur de la capacite*.

des battements entre la fréquence propre du circuit et le forçage en envoyant des cycles de tension (mode burst du GBF).

C. Exemple de deux photorécepteurs : temps de réponse ([1] ch 12)

Remarque préliminaire : Ceci est un montage qualitatif à réaliser en fin de séance si on a le temps juste dans le but de motiver l'étude.

On se contente ici d'illustrer en quoi les régimes transitoires peuvent être important dans l'étude. Nous allons pour cela étudier deux capteurs. En électronique, deux capteurs simples peuvent être étudiés : la photodiode et la photorésistance, de la famille des photorécepteurs. Un photorécepteur reçoit la lumière ayant une certaine intensité, soit des photons d'énergie $E = h\nu$, qui va venir arracher des électrons de valence aux atomes le composant, ce qui va créer une paire d'électrons-trous. En polarisant avec une tension ce composant électronique, les électrons libres et les trous créés vont pouvoir se séparer pour créer un courant. Ce courant, dû à la lumière reçue par le capteur, est mesuré, conformément au schéma du montage, aux bornes de résistances adéquates grâce à un oscilloscope.

Ici, nous allons venir exciter périodiquement les électrons du capteur avec un stroboscope qui délivre des flashes très fins temporellement. On repère tout d'abord le niveau de la tension mesurée (ou courant) lorsque nous avons juste l'éclairage ambiant. Puis on excite tout d'abord les deux capteurs avec un stroboscope qui délivre environ 1200 coups/min. On voit que pour les deux capteurs, les courants créés ont le temps de se re-stabiliser aux valeurs initiales. En revanche, quand on augmente la fréquence du stroboscope, nous voyons que la photo-résistance n'arrive plus à suivre (courant ne redescend plus à sa valeur à l'éclairage ambiant) les flashes du stroboscope.

Cette petite expérience nous permet de visualiser l'importance de l'étude des régimes transitoires dans l'application des capteurs de signaux ayant une certaine fréquence. Si le temps de réponse du détecteur est trop grand face à la période du signal, celui-ci ne pourra pas être caractérisé correctement. Pour argumenter, nous pouvons discuter des temps de réponse des détecteurs en physique nucléaire pour pouvoir mesurer l'activité d'une source.

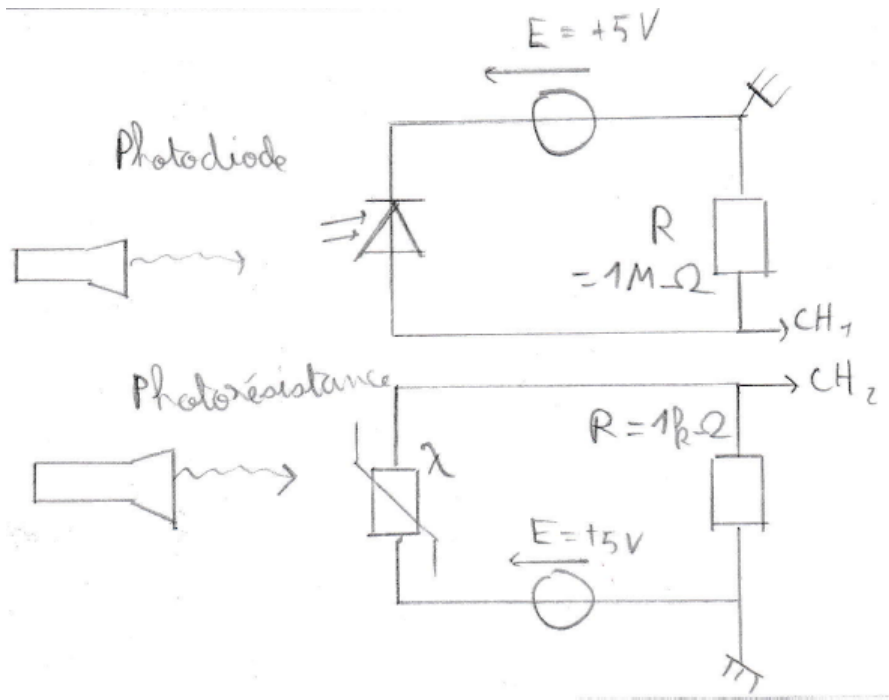


Figure 5: Schéma du montage.

II. Régimes Transitoires en mécanique

A. Le ressort amorti : estimation d'un coefficient de frottement ([2] ch 11, [3] tome I p272-288)

Montage

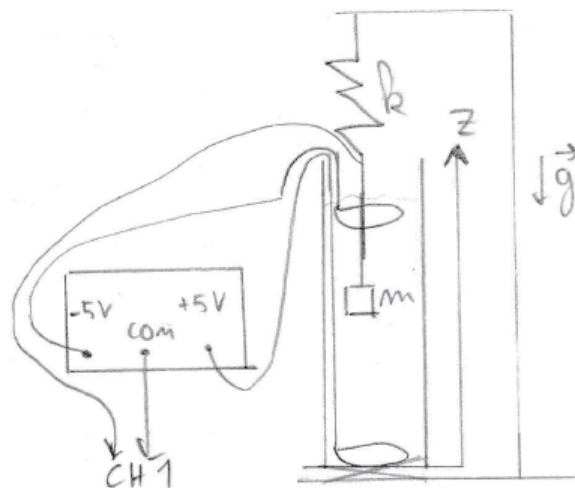


Figure 6: Schéma du montage.

Dans ce montage, nous allons essayer de caractériser grossièrement le coefficient de frottement d'un fluide sur un objet en mouvement dans ce fluide. Une méthode que l'on peut employer est l'étude du mouvement d'une masse accrochée à une ressort sur laquelle s'exerce des forces de frottement. Pour cela, on réalise le montage suivant : on remplit une éprouvette d'un fluide conducteur (l'eau) où

l'on plonge deux électrodes en rond de part et d'autres de l'éprouvette, on applique une tension $+5/-5V$ aux électrodes via un générateur, puis on plonge une masse m connue constituée d'un matériau conducteur dans le fluide tout en reliant cette masse à un ressort de raideur k connue (hors du fluide). En théorie, un gradient de potentiel s'installe dans la solution. La masse, de part sa nature conductrice, va prendre le potentiel de la solution au point où elle se situe. Nous allons pouvoir suivre, en mesurant la différence de potentiel entre la masse et la terre, la position de la masse grâce à la solution électrolytique.

Calibration

On sait que la masse va prendre le potentiel du niveau auquel elle se situe. On applique ici une DDP de $+5V$ à $-5V$ en continu sur les électrodes. Pour pouvoir avoir le lien entre le potentiel de la masse et sa position, nous allons avoir besoin de calibrer le système. Pour cela, nous allons positionner la masse à une certaine hauteur h de l'électrode du fond, et mesurer son potentiel à l'oscilloscope avec la fonction curseur. Comme d'habitude, on commet une erreur de 1% sur la tension, et une erreur de 1.5cm sur la hauteur de la masse (erreur de vue humaine, et position du centre). On trace alors $U = f(h)$ pour bien vérifier que la relation entre ces deux paramètres est linéaires. Par la suite, on pourra s'abstenir de devoir faire la conversion tension-position puisque les deux variables sont proportionnelles.

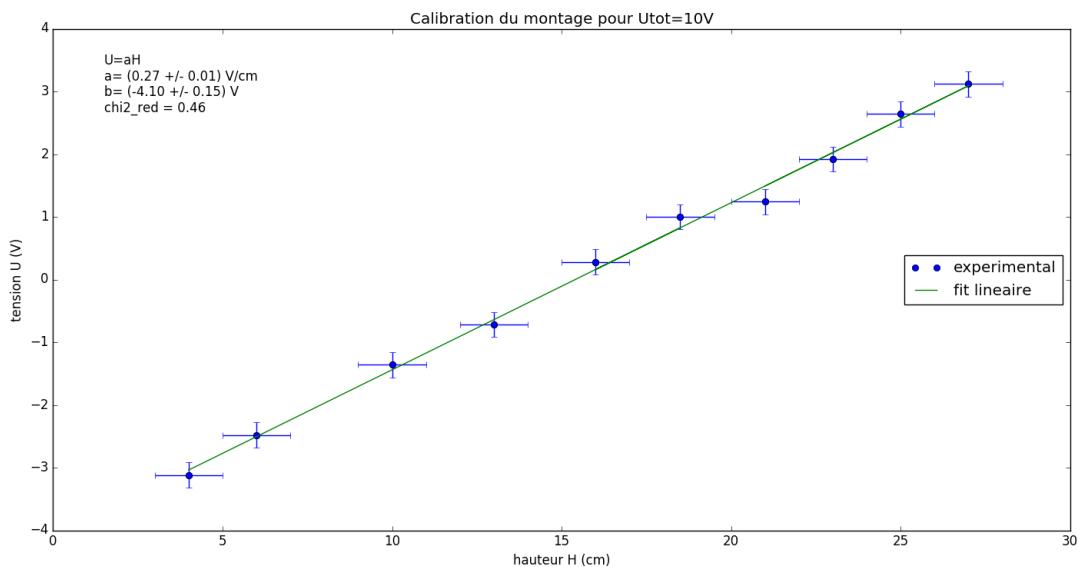


Figure 7: Calibration du potentiel pris par la masse en fonction de la position.

Modèle théorique

Une fois la calibration effectuée, nous passons aux choses sérieuses. Nous allons effectuer l'étude du mouvement de la masse. Dans le référentiel de la Terre, supposé Galiléen le temps de l'expérience, nous faisons un bilan des forces qui s'exercent sur la masse. Nous avons son poids : $\vec{P} = m\vec{g}$, la force de rappel du ressort $\vec{F} = -k(z - z_0)\vec{e}_z$ où z_0 est la longueur du ressort en comptant la pesanteur, la poussée d'Archimède qui est largement négligeable face au poids (il suffit de comparer les masses volumiques du solide et du fluide), une éventuellement force électrique due à la polarisation du milieu (négligeable à cause du solide conducteur), et enfin la force de frottement fluide qui pour

des mouvements de faible vitesse : peut s'approximer à : $\vec{f} = -\alpha\vec{v}$.

L'équation du mouvement de la masse devient alors :

$$\ddot{z} + \frac{\alpha}{m}\dot{z} + \frac{k}{m}z = 0 \quad (4)$$

Pour de faibles amortissements, nous obtenons une solution de la forme :

$$z = z_1 e^{-\frac{t}{\tau}} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t \quad (5)$$

Mesures et résultats

Comme pour l'électronique, on acquiert la tension aux bornes de la masse en fonction du temps en étirant le ressort puis en déclenchant l'acquisition au moment où on le lâche. Le traitement des données sous Python nous donne le temps d'amortissement : $\tau = \frac{m}{\alpha}$, et son incertitude (mesure + ajustement). On peut alors dans ce cas calculer le coefficient de frottement en supposant le cas d'un frottement fluide de cette expression (pour le cas d'une régime inertiel, c'est à dire non visqueux, donc en v^2 , on aurait un profil quasi-identique) avec $\alpha = \frac{m}{\tau}$ et $\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta\tau}{\tau}$. Attention, ce résultat est à discuter avec les hypothèses sur la forme du coefficient de frottement. On pourrait répéter l'expérience pour avoir une meilleure précision sur la mesure du temps caractéristique, et ensuite répéter cette expérience pour une masse dont la géométrie varie.

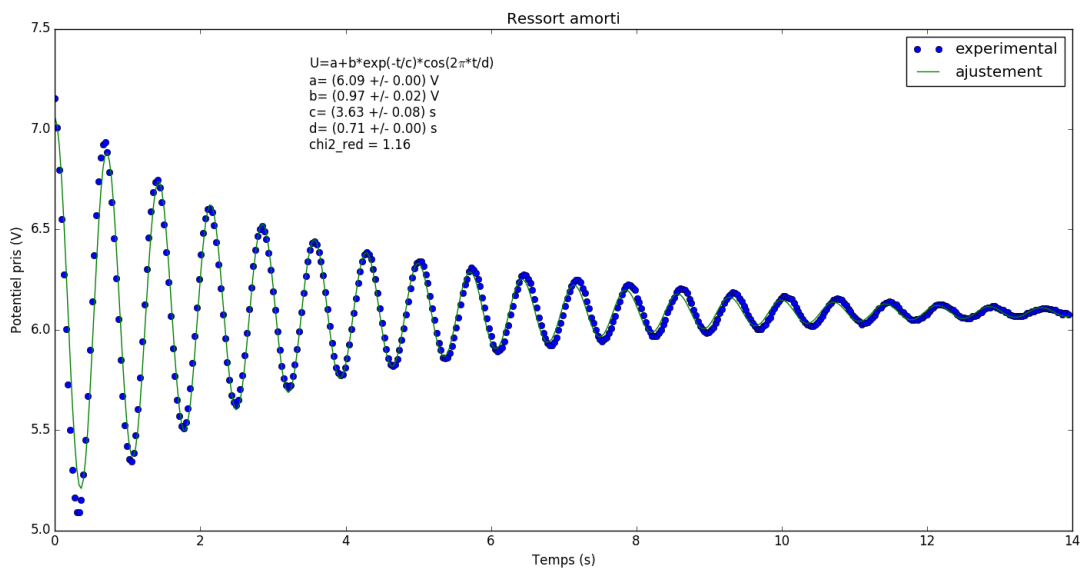


Figure 8: *Évaluation de l'amortissement d'un ressort.*

Remarque : On pourrait aussi évaluer le temps que met le ressort à se coordonner avec une oscillation forcée (moteur) en faisant le même type d'acquisition que précédemment. On remarquerait que lorsque nous sommes loin de la résonance, le ressort met pas mal de temps avant de suivre les oscillations forcées (acquisition à lancer quand le ressort est immobile et quand on allume le moteur). En revanche, quand il est à la résonance, nous avons toujours un temps de transitoire qui dépend de l'inertie de notre système (vitesse initiale nulle). Ces systèmes d'amortissement sont utilisés dans les amortisseurs de voiture. La compréhension des différents régimes est alors importante.

B. Montée capillaire d'un liquide sur une plaque à CCM

Montage

Dans cette partie nous nous proposons d'étudier la montée capillaire d'un fluide sur une plaque de chromatographie sur couche mince. Pour cela, nous allons remplir une petite cuve (ou couvercle de boîte de pétri) d'une solution de permanganate de potassium $KMnO_4$ (de concentration proche de $C_0 = 0.1 \text{ mol/L}$) afin de pouvoir visualiser la montée du liquide sur le papier. Nous disposons juste au dessus de cette cuve une plaque de papier CCM. Comme l'acquisition se fera par vidéo, on pensera bien à mettre un élément de taille connue qui permettra de faire un la conversion taille-pixel. Tracer deux traits espacés d'un ou deux centimètres en haut du papier CCM va nous permettre d'éviter toutes histoires d'erreur de parallaxe. On enregistre un film avec une caméra (avec le logiciel Amcap ou Atelier Scientifique), à partir du moment où le papier plonge dans la solution. Le traitement du film se fait avec Atelier scientifique ou ImageJ afin de pouvoir évaluer la hauteur h du fluide au cours du temps.

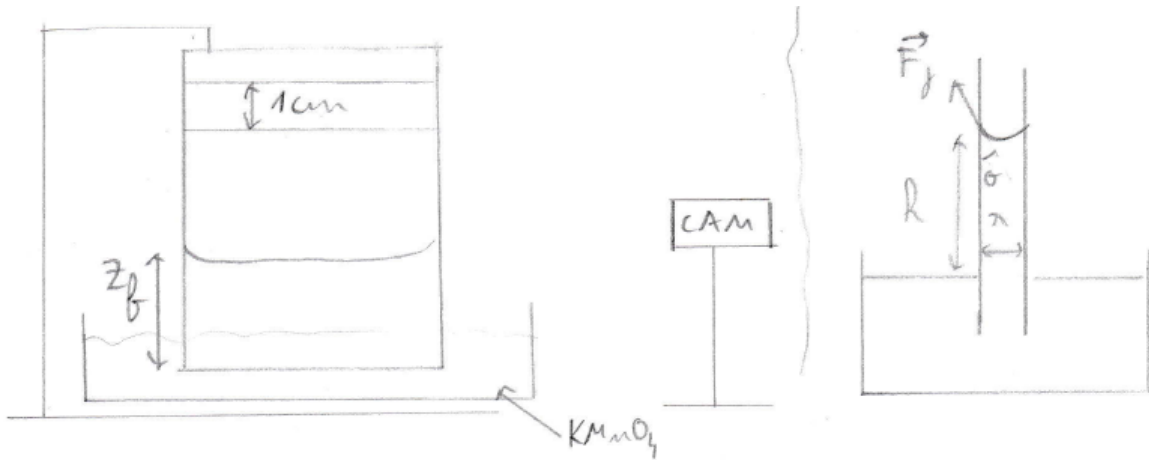


Figure 9: Schéma du montage.

Modèles théoriques

Deux modèles théoriques se confrontent dans cette partie.

Le premier modèle que l'on peut imaginer provient du fait que l'on fait l'hypothèse que la remontée du fluide sur le papier CCM vient juste d'un phénomène diffusif. En effet, nous avons un système dont la concentration en particule subit un fort gradient. En utilisant la loi de Fick dans l'équation de conservation de la masse, on remonte à l'équation de diffusion de la concentration en molécules de permanganate de potassium (ici en 1D) :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (6)$$

Une solution qui satisfait ce problème unidimensionnel et qui satisfait la condition aux limites du problème : $c(z = 0, t) = c_0$ à tout instant, est la solution :

$$c(z, t) = c_0 \left(1 - \text{erf} \left(\frac{z^2}{\sqrt{2Dt}} \right) \right) \quad (7)$$

Le front de montée est alors défini à la limite quand la concentration est nulle. Nous avons alors le résultat suivant :

$$z_{front}^2 = 2Dt \quad (8)$$

Le deuxième modèle que nous pouvons utiliser est le fait que maintenant, la remontée du fluide s'effectue grâce à un phénomène de tension de surface. En effet, on peut considérer que le papier CCM est constitué d'une grande quantité de petits capillaires de rayon r . On sait que le fluide, de tension de surface γ , d'angle de mouillage θ , va remonter grâce à une force de tension de surface : $F_t = 2\pi r\gamma \cos \theta$. Il y aura de plus des frottements visqueux (viscosité η) sur les parois du capillaire qui peuvent s'écrire sous la forme : $F_v = dS\eta \frac{\partial v_z}{\partial x} \approx 2\pi\eta z_{front} \frac{dz_{front}}{dt}$. Pour une faible hauteur, et un fluide peu dense, nous pouvons négliger la gravité. L'accélération du fluide dans le tube est très faible, ce qui vient du fait que nous sommes en régime quasi-stationnaire :

$$2\pi r\gamma \cos \theta = 2\pi \frac{r}{r} z_{front} \eta \frac{dz_{front}}{dt} \quad (9)$$

En intégrant cette équation avec l'origine des temps et des hauteurs à 0, nous obtenons l'évolution suivante :

$$z_{front}^2 = \frac{2r\gamma \cos \theta}{\eta} t \quad (10)$$

Les deux modèles prédisent la même évolution, mais pas par les mêmes phénomènes physiques. Pour pouvoir préciser, il faudrait comparer le coefficient de proportionnalité entre z_{front}^2 et t avec des valeurs tabulées dans la littérature. Chose que je n'ai pas trouvée.

Résultats et discussion

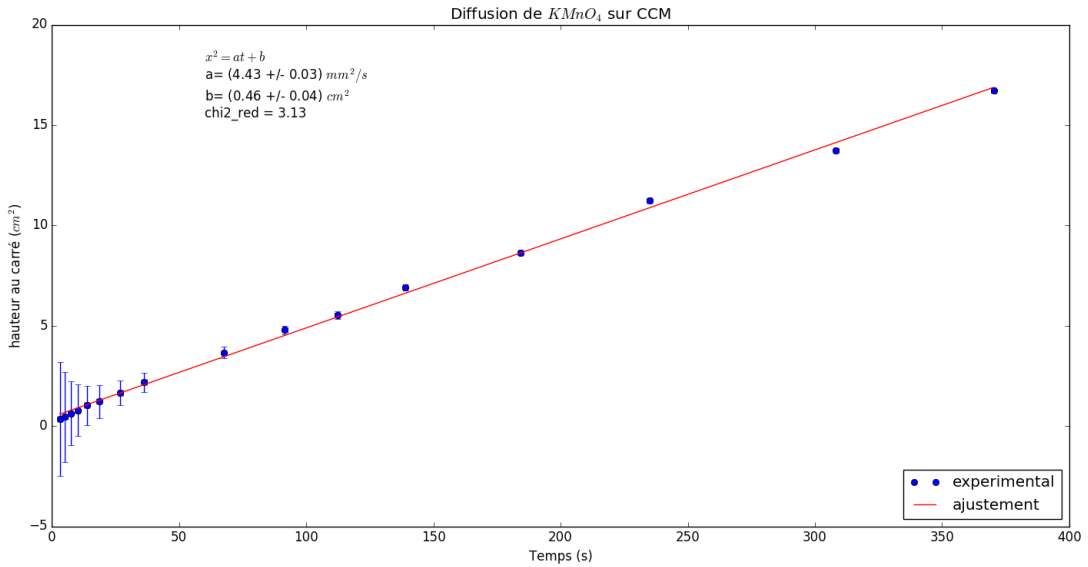


Figure 10: Hauteur du front de la solution au carré en fonction du temps.

On réalise plusieurs films avec une grosse concentration de permanganate de potassium (bien foncé pour éviter d'avoir l'influence de l'oxydation avec l'air), puis on relève la position du front par rapport au bas du papier CCM (en pensant à faire la conversion pixel-distance) en fonction du temps. On trace alors $z_{front}^2 = f(t)$ et on régresse avec une fonction affine. Au départ il y a des erreurs importantes, et un comportement relativement bizarre. Ceci s'explique par le fait que le bas

du papier CCM est peu visible, donc dans son repérage à l'oeil, nous commettons forcément une erreur qui est non négligeable au début. De plus, on observe un phénomène de remontée capillaire (différent du notre) où le fluide dans la cuve s'accroche aux parois du papier pour le faire descendre. Ceci fausse alors notre vision du front lorsque celui-ci est encore bas. Cette expérience nous sert alors à pouvoir évaluer le temps qu'il faut attendre pour pouvoir faire une analyse chimique par CCM.

C. Autres expériences en mécanique du point ([2] ch 12)

On pourra penser ici à étudier la chute d'une bille dans un liquide visqueux (glycérine). L'évolution temporelle de la vitesse est de type "charge d'un condensateur" : régime transitoire de montée de la vitesse jusqu'à une valeur limite où il y a équilibre entre le poids et les frottements. En régime visqueux, la force de frottement s'écrit comme : $\vec{f} = -6\pi\eta R\vec{v}$ où η est la viscosité du fluide que l'on peut déterminer. On pourra aussi étudier l'oscillateur de Pohl.

D. Vers la diffusion ([3] Tome II p94 et 460, [1] ch 1)

La diffusion (thermique, de particules, etc...) peut être interpréter comme un régime transitoire. De manière générale, on peut considérer que le temps τ que met une perturbation pour être ressentie à une distance L de sa source peut se mettre sous la forme $\tau \approx \frac{L^2}{D}$ où D est le coefficient de diffusion du phénomène correspondant. Nous pourrions penser au refroidissement d'une boule métallique (attention à prendre en compte le rayonnement thermique), la diffusion de particules de glycérine dans de l'eau, etc...

CONCLUSION :

En conclusion nous dirons que nous dirons que nous avons vu l'existence de régimes transitoires dans différents domaines de la physique. Généralement ceux-ci sont dus soit à une inhomogénéité d'une grandeur thermodynamique, soit à une perturbation dont l'évolution se voit ralentir à cause d'un phénomène résistif.

Remarques : En 40 minutes, seules les expériences décrites en détail sont faisables (et encore, il ne faut pas perdre de temps). Les autres expériences sont ici données à titre indicatif. Le programme qui a servi à exploiter les données (sur Python) du circuit RLC en pseudo-périodique est proposé à la fin du rapport.

```

# -*- coding: utf-8 -*-

"""
Préparation à l'Agrégation de Physique de Bordeaux (2016-2017)
Traitement de données
exemple de la décharge d'un condensateur dans un RLC
"""

## Importation des bibliotheques

from pylab import *
from scipy import *
from numpy import *
from scipy.integrate import *
from scipy.optimize import curve_fit

## Lectures des données à partir d'un fichier & conversions si nécessaires

A=open("RLC_decharge_500mH_100nF.csv", 'r')      # ouvre le fichier csv
A.readline()                                    # enlève la première ligne
T=array([])                                     # cree une liste pour la variable t
U=array([])
for i in A:
    var=i.split(";") # decoupe la ligne i en mots et i part depuis la deuxième ligne
avec le separateur de colonnes
    t=float(var[0])                                # transforme le mot de la première colonne en
variable + conversion si nécessaire
    u=float(var[3])
    T=append(t,T)                                  # on concatene la liste précédente de x avec
le x de la ligne i (colonne 1)
    U=append(u,U)

## ajustement par un modèle : x = variable, (a,b,c,d) = paramètres

def fonc(x,a,b,c,d):
    return a+b*exp(-x/c)*cos(2*pi*x/d)

param=[0,6,0.002,0.001]                        # initialisation des parametres dans le but d
aider le programme a optimiser
popt, pcov = curve_fit(fonc, T, U,param) # si pas d initialisation alors enlever le
param
[a,b,c,d] = popt                                # popt renvoie les parametres optimises
sigma_a = sqrt(pcov[0, 0])                      # pcov renvoie (termes diagonaux) les
variances
sigma_b = sqrt(pcov[1, 1])
sigma_c = sqrt(pcov[2, 2])
sigma_d = sqrt(pcov[3, 3])

## ajout des incertitudes et des erreurs : chi2_red = paramètre à mettre proche de 1
avec nos incertitudes

errX=0.01*T                                     # erreur sur X ici T on
prend 1 pourcent
errY=0.01*U                                     # erreur sur Y ici U on
prend 1 pourcent
sigma_exp = errY
yth = fonc(T,a,b,c,d)                          # fonction theorique a partir
des parametres de l'ajustement
chi2 = sum(((yth - U)/sigma_exp)**2)
chi2_red = chi2/(len(T) - 4)                   # divide by no.of DOF = ecart
relatif entre les deux courbes
err_a,err_b,err_c,err_d= np.sqrt(diag(pcov)/chi2_red) # incertitude sur les
parametres

```

```

print("a=",a,"+/-",erra)
print("b=",b,"+/-",errb)
print("c=",c,"+/-",errc)
print("d=",d,"+/-",errd)

## Tracer des courbes : expérimentales + ajustement + barres d'erreurs

# figure(1)
fig, ax = plt.subplots(1)          # cette commande va nous permettre de
ajouter du texte
plot(T,U,'o',label='experimental') # courbe provenant des points
plot(T,yth,'r',label='ajustement') # plot du fit
errorbar(T,U,errY,errX,fmt='bo')  # ajout des erreurs
# ax.axis([xmin,xmax,ymin,ymax])   # on fixe les limites du graphique
xlabel('Temps (s)')
ylabel('Tension (V)')
title('Charge condensateur en RLC serie')

# ajout d un texte sur le plot : ajout des parametres
textstr = "U=a+b*exp(-t/c)*cos(2$pi$t/d)\n\
a= (%.2f +/- %.2f) V\n\
b= (%.2f +/- %.2f) V\n\
c= (%.2f +/- %.2f) ms\n\
d= (%.2f +/- %.2f) ms\n\
chi2_red = %.2f" % (a,erra,b,errb,c*1000,errc*1000,d*1000,errd*1000,chi2_red)
ax.text(0.30, 0.30, textstr,transform=ax.transAxes, fontsize=12,
verticalalignment='top')
legend()
show()

```