

Décharge d'un condensateur

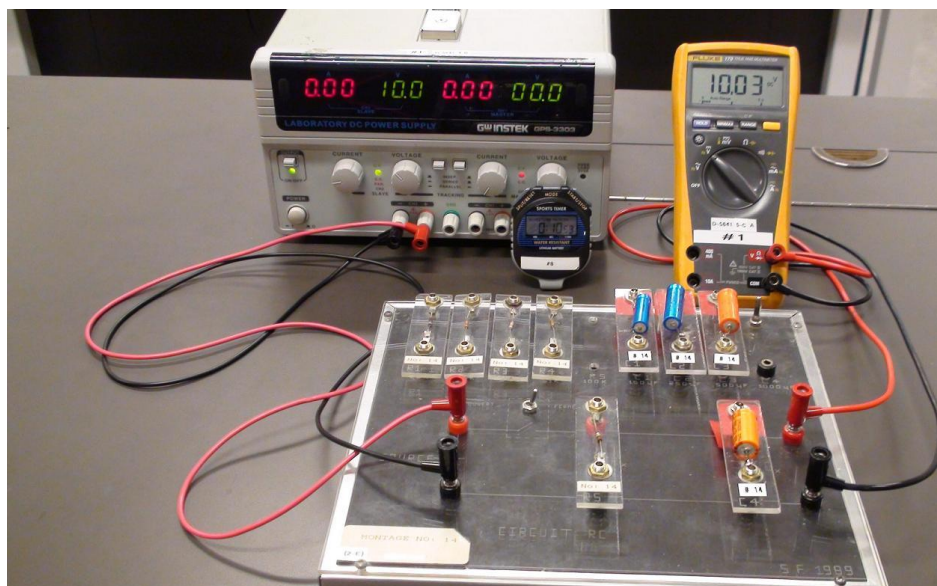


Table des matières

Théorie	2
1. Condensateur neutre	2
2. Condensateur neutre dans un circuit ouvert	2
3. Différence de potentiel aux bornes d'un condensateur	2
4. Capacité d'un condensateur	3
5. Décharge dans une résistance	3
Prélaboratoire	5
Laboratoire	7
But	7
Montage	7
Manipulation	7
Prises des données	8
Rapport de laboratoire	8
Le résumé	8
L'analyse	8
La conclusion	9
Remise	9
Annexe – Validation des calculs	11
Validation de la linéarisation	11
Calcul de la variable transformée X et son incertitude δX	11
Calcul de la variable transformée Y et son incertitude δY	11
Annexe – Grille de correction	13

Note : La théorie qui se rapporte à ce laboratoire est présentée à la section 3.12 : Charge et décharge d'un condensateur.

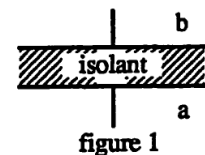
Théorie

Le condensateur est un dispositif qui a de nombreuses applications en électronique. Vous en verrez une dans le laboratoire « Rhéostat et circuit redresseur ». Ces applications découlent de la possibilité qu'a le condensateur d'emmagasiner une charge (ou se charger) lorsqu'on lui applique une différence de potentiel.

Dans ce laboratoire nous étudierons de quelle façon un condensateur se décharge à travers une résistance.

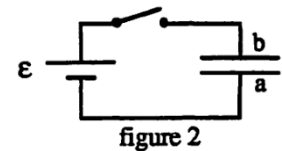
1. Condensateur neutre

La figure ci-contre montre un condensateur composé de deux plaques neutres, **a** et **b**, séparées par un isolant. Supposons que la plaque **a** contienne 100 000 « + » et 100 000 « - » et que la plaque **b** contienne 100 000 « + » et 100 000 « - ». Les charges « - » sont les électrons libres du métal et les charges « + » viennent du surplus de charges positives dans les atomes des plaques.



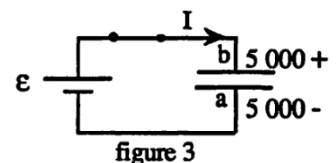
2. Condensateur neutre dans un circuit ouvert

Introduisons maintenant notre condensateur (neutre) dans le circuit ci-contre : la pile ne peut pas fournir d'électrons à la plaque **a** puisqu'elle ne peut en pomper de la plaque **b** (tant que l'interrupteur reste ouvert).



3. Différence de potentiel aux bornes d'un condensateur

On ferme l'interrupteur. La pile peut maintenant pomper les électrons de la plaque **b** par sa borne positive et les renvoyer vers **a** par sa borne négative, générant ainsi, pendant un temps très court, un courant conventionnel I . Il est facile de voir que les plaques du condensateur vont se charger avec des charges égales de signes contraires. Si 5 000 « - » se retrouvent, par exemple, sur la plaque **a** (fig. 3), il reste 100 000 « + » et 95 000 « - » sur la plaque **b**, y donnant donc une charge nette de 5 000 « + ». Durant le processus de charge, la loi des mailles permet d'affirmer que



$$\varepsilon - RI - \Delta V_C = 0$$

(processus de charge du condensateur)

où ε est l'électromotance de la pile, R est la résistance du circuit, I est le courant circulant dans le circuit et ΔV_C la différence de potentiel aux bornes du condensateur. Les électrons sur la plaque **a** s'opposent à l'arrivée de nouveaux électrons et les « charges positives » sur la plaque **b** s'opposent au départ de nouveaux électrons. Le courant de charge est terminé lorsque la différence de potentiel ΔV_C aux bornes du condensateur est égale à l'électromotance ε de la pile.

4. Capacité d'un condensateur

On pourrait démontrer théoriquement que lorsque deux plaques sont soumises à une différence de potentiel ΔV_c , la charge q accumulée est proportionnelle à cette différence de potentiel tel que

$$q \propto \Delta V_c$$

ce qui nous permet d'affirmer que

$$q = C \Delta V_c$$

où C , la constante de proportionnalité, est une caractéristique de la géométrie du condensateur et du type d'isolant entre les plaques.

On appelle « C » la *capacité* du condensateur. Si on charge un condensateur avec une pile de 1 V, un condensateur avec un « C » deux fois plus grand pourra donc emmagasiner deux fois plus de charges. « C » est donc la quantité de charge qu'un condensateur peut emmagasiner pour une pile de 1 V. Dans le système SI, l'unité de capacité est la *farad* (F).

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$$

$$[\text{farad(F)} = \text{coulomb(C)} / \text{volt(V)}]^{-1}$$

Comme, à notre échelle, le coulomb est une unité énorme, on utilise le plus souvent en pratique le microfarad μF ($1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$) ou même le picofarad pF ($1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$).

5. Décharge dans une résistance

Une fois le condensateur chargé, on peut ouvrir l'interrupteur sans que le condensateur ne se décharge comme le montre la figure 4.

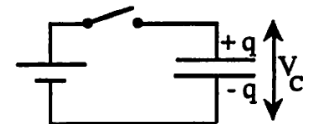


figure 4

Si maintenant on branche le condensateur chargé aux bornes d'une résistance R , celui-ci se décharge en produisant un courant conventionnel I comme le montre la figure 5. Durant le processus de décharge (sans pile), la loi des mailles permet d'affirmer que

$$\Delta V_c - RI = 0$$

(processus de décharge du condensateur sans pile)

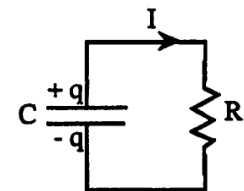


figure 5

Intuitivement, est-ce que le « temps de décharge » augmente si R augmente ?

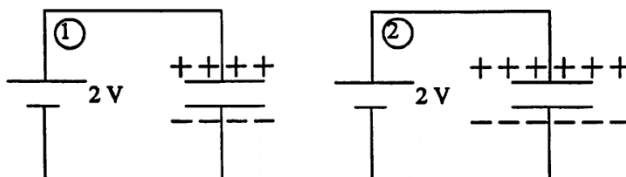
Intuitivement, est-ce que « le temps de décharge » augmente si C augmente ?

(Pensez-y... Vous aurez à répondre à ces questions dans le prélaboratoire)

¹ Ne pas confondre C , la notation de la capacité du condensateur avec celui du symbole des unités des coulombs (C).

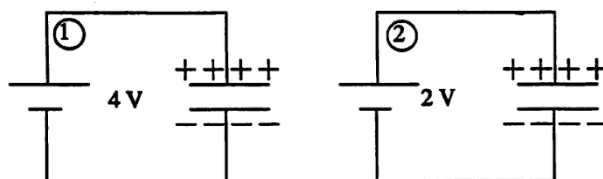
Prélaboratoire

1. a) Quel condensateur (1 ou 2) a la plus grande capacité ? Justifiez votre réponse à l'aide d'une courte phrase.



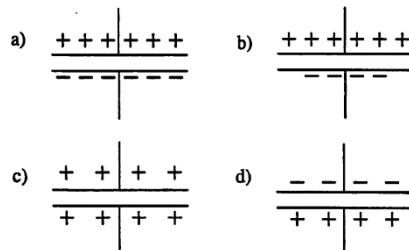
b) Par quel facteur (nombre) est-il plus grand (par rapport au plus petit) ? Justifiez.

c) Quel condensateur (1 ou 2) a la plus grande capacité ? Justifiez votre réponse à l'aide d'une courte phrase.



d) Par quel facteur est-il plus grand (par rapport au plus petit) ? Justifiez votre réponse.

2. Parmi les situations illustrées ci-contre, quelles sont les situations qui sont impossibles quand on charge le condensateur à l'aide **d'une seule pile** ? Encerclez-la ou les situations impossibles.



3. a) Les farads sont des : (encerclez votre réponse)

- A. Ω/V B. V/C C. $V \cdot \Omega$ D. C/V E. aucune des réponses précédentes.

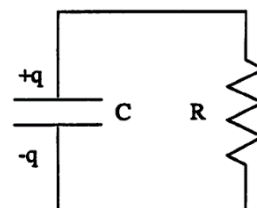
b) Réduire les unités de $\Omega \cdot F$ en justifiant votre réponse. La réponse ne peut contenir qu'une combinaison d'unités de base (m, kg, s, A).

$$\Omega \cdot F =$$

4. Intuitivement, est-ce que le « temps de décharge » augmente si

a) R augmente ? oui ☐ non ☐

b) C augmente ? oui ☐ non ☐



Laboratoire

But

Le but de ce laboratoire est d'analyser l'évolution de la tension aux bornes d'un condensateur se déchargeant dans un circuit composé d'un résistor en effectuant la vérification de la loi physique qui donne la tension ΔV aux bornes d'un condensateur en fonction du temps de décharge t , de la résistance R du résistor et de la capacité C du condensateur.

La loi que nous cherchons à valider est

$$\Delta V = \Delta V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

où ΔV_0 représente la tension aux bornes du condensateur à $t = 0$.

Montage

Pour réaliser cette expérience, vous devrez utiliser le matériel suivant :

- Une plaquette comportant un interrupteur et quatre espaces « en parallèle » dans lesquels on peut insérer des composantes (schéma ci-contre).
- Une source d'électromotance (la source G^WINSTEK GPS-3303 ou la source HEATHKIT).
- Un chronomètre pour mesurer le **temps de décharge** t .
- Un multimètre en mode voltmètre (ou un oscilloscope) pour mesurer la **tension** V aux bornes du condensateur. Lors d'une mesure de tension lors de la décharge du condensateur, vous réaliserez que la tension varie continuellement. Vous pouvez « figer » la mesure en appuyant sur le bouton « HOLD ».
- Cinq résisteurs de **résistance** R dont les mesures seront effectuées à l'aide du multimètre en mode ohmmètre.
- Quatre condensateurs de **capacité** C dont les valeurs seront mesurées à l'aide du multimètre en mode ohmmètre. Pour changer l'affichage d'ohm à farad, vous devez appuyer sur le bouton jaune du multimètre.

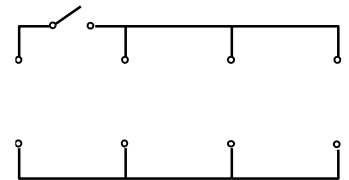


Schéma de la plaquette sans composantes

Manipulation

La source devra être maintenue à une tension ΔV_0 entre 15 V et 20 V (selon votre choix) afin d'éviter d'endommager les condensateurs (tension de service à 25 V). Si la source utilisée est le G^WINSTEK GPS-3303, il faudra régler le courant maximal de la source à une valeur $\approx 0,5$ A. Si la source utilisée est le HEATHKIT, il faudra régler le courant au maximum.

Les espaces de la plaquette sont conçus afin que vous puissiez y insérer la source d'électromotance, un des condensateurs, un des résisteurs et le voltmètre (ou l'oscilloscope). Lorsqu'on ferme l'interrupteur (schéma ci-contre), il s'établit une différence de potentiel ΔV_0 aux bornes du condensateur. Comme la résistance des fils est négligeable, le condensateur se charge quasi-instantanément.

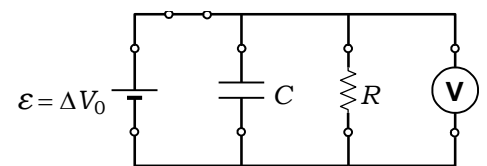


Schéma d'un condensateur en chargement

Une fois le condensateur chargé, on ouvre l'interrupteur (schéma ci-contre). La pile étant mise hors circuit, le condensateur se décharge à travers le résistor. À chaque instant, la tension aux bornes du condensateur est égale à la tension aux bornes du résistor : cette tension est indiquée par le voltmètre.

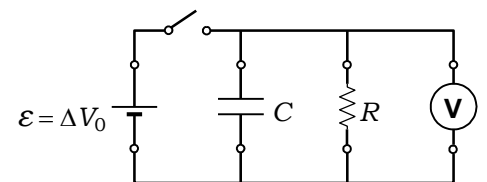


Schéma d'un condensateur en déchargement

Prises des données

Pour réaliser votre échantillonnage, vous devrez mesurer la différence de potentielle ΔV aux bornes d'un condensateur de capacité C à différents moments t de sa décharge dans un circuit comportant une résistance R . Cette série de mesure consiste à évaluer la différence de potentielle ΔV en fonction du temps de décharge t pour une capacité C et une résistance R données.

Vous devrez répéter cette procédure pour plusieurs combinaisons différentes de capacité et de résistance (exemple : R1 et C1, R1 et C2, R2 et C3). Vous devrez réaliser au moins 4 combinaisons différentes.

De plus, vous devrez limiter vos mesures à des différences de potentielle ΔV supérieures à 8 V ($\Delta V > 8 \text{ V}$). À une valeur inférieure à celle-ci, le comportement du circuit et de nos appareils de mesure ne correspondent plus à notre modèle théorique.

Rapport de laboratoire

Le résumé

Votre rapport de laboratoire devra contenir un résumé disposé sur la page de présentation. Vous devrez y présenter les éléments suivants :

- Le but de l'expérience.
- Une courte description du montage.
- Une brève description de la technique utilisée pour analyser les données.
- L'atteinte ou non du but avec une description brève de ses résultats.

L'analyse

Votre rapport de laboratoire devra contenir une analyse où l'on retrouvera toutes les explications, graphiques, preuves et arguments pour permettre à votre lecture d'accepter hors de tout doute votre conclusion au but de ce laboratoire.

Pour valider la loi physique dans votre analyse, vous devrez structurer un argumentaire exploitant la transformation de l'équation de la loi physique

$$\Delta V = \Delta V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

pour obtenir une fonction linéaire de la forme

$$Y = MX + B.$$

Vous devrez présenter dans votre analyse un seul graphique comportant toutes vos données qui permettra d'illustrer cette relation.

Vous devrez valider la loi physique en utilisant la pente théorique M_{th} et l'ordonnée à l'origine théorique B_{th} de votre loi physique linéarisée avec la pente expérimentale M_{exp} et l'ordonnée à l'origine expérimentale B_{exp} .

Pour attribuer des incertitudes à vos mesures, utilisez les directives suivantes :

- Incertitude sur la mesure du temps t : $t = \tilde{t} \pm \delta t$ où $\delta t = 0,08 \text{ s}$
- Incertitude sur la résistance R : $R = \tilde{R} \pm \delta R$ où $\delta R = 0$ (non significative dans l'analyse)
- Incertitude sur la capacité C : $C = \tilde{C} \pm \delta C$ où $\delta C = 10\% * \tilde{C}$
- Incertitude sur la différence de potentielle ΔV : $\Delta V = \Delta \tilde{V} \pm \delta(\Delta V)$ où $\delta(\Delta V) = 0,1 \text{ V}$

Pour attribuer des incertitudes à vos variables transformées X et Y , référez-vous au document de référence suivant en utilisant la règle de propagation linéaire de l'erreur (méthode différentielle) :

<https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/svezina/labo/Annexe-Incertitudes.pdf>

Afin d'obtenir une pente expérimentale $M_{\text{exp}} = \tilde{M}_{\text{exp}} \pm \delta M_{\text{exp}}$ et une ordonnée expérimentale $B_{\text{exp}} = \tilde{B}_{\text{exp}} \pm \delta B_{\text{exp}}$ avec incertitude, utilisez la *feuille de calcul Excel* suivante :

https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/svezina/nyb/laboratoire_nyb/Analyse_graphique-DechargeCondensateur.xlsx

Pour valider la concordance entre vos pentes, vous devrez utiliser les l'inégalité de concordance

$$\delta M_{\text{th}} + \delta M_{\text{exp}} \geq \left| \tilde{M}_{\text{th}} - \tilde{M}_{\text{exp}} \right| \quad \text{et} \quad \delta B_{\text{th}} + \delta B_{\text{exp}} \geq \left| \tilde{B}_{\text{th}} - \tilde{B}_{\text{exp}} \right|$$

où \tilde{M}_{th} et δM_{th} ainsi que \tilde{B}_{th} et δB_{th} dépendront de votre choix de linéarisation.

La conclusion

Votre rapport de laboratoire devra contenir une conclusion. Vous devrez y présenter les éléments suivants :

- Un bref retour sur le but de l'expérience.
- Un bref retour sur le résultat de l'expérience.
- Une courte présentation de cause d'erreur conceptuelle et/ou expérimentale.
- Une courte ouverture.

Remise

Pour compléter la remise de ce laboratoire, vous devrez :

1. Rédiger un texte de style « rapport de laboratoire » comprenant les directives de la section **Rapport de laboratoire**.
2. Remettre la section **Annexe : Validation des calculs** à la fin de votre rapport
3. Remettre électroniquement sur LÉA la *feuille de calcul Excel* (fichier **Analyse_graphique-DechargeCondensateur.xlsx**)
4. Remettre électroniquement sur LÉA une copie de votre rapport contenant l'ensemble des documents requis (texte, graphique, tableau des données).

Ce travail sera évalué selon les barèmes disponibles dans la section **Annexe : Validation des calculs**. À cette grille, vous pouvez ajouter des éléments de pénalités suivants :

- Remise préliminaire non-respectée.
- Document mal présenté (pas broché, feuille endommagée).
- Document non-paginé.
- Remise en retard.
- Remise électronique non-réalisée.

Bon travail !

Nom de famille : _____ Prénom : _____

Nom de famille : _____ Prénom : _____ Groupe : _____

Annexe – Validation des calculs

Cette page du protocole contient des éléments dont vous devrez obtenir une attestation durant la séance de laboratoire. Elle précisera certains calculs qui seront cités et intégrés à votre rapport.

Validation de la linéarisation

Afin de valider votre équation théorique, vous devez effectuer une linéarisation de votre équation théorique sous la forme $Y = MX + B$. Précisez la correspondance que vous allez utiliser dans votre rapport entre les paramètres Y , M , X et B et les paramètres de votre équation théorique (n'oubliez pas vos unités).

$Y =$	$X =$	$M =$	$B =$
-------	-------	-------	-------

Signature de l'enseignant e : _____

Calcul de la variable transformée X et son incertitude δX

Pour la 5^e donnée de votre 1^{re} série de mesure t , R , C , ΔV de votre tableau servant à faire le graphique des variables transformées, montrez vos calculs (formule algébrique et valeur numérique) en lien avec la propagation des incertitudes linéaires ayant servi à obtenir l'incertitude sur la variable X . Exprimez votre réponse sous la forme

$$X = \tilde{X} \pm \delta X.$$

Expression algébrique	Expression avec valeurs numériques
$X =$	$X =$

(n'oubliez pas de faire la gestion des chiffres significatifs)

Signature de l'enseignant e : _____

Calcul de la variable transformée Y et son incertitude δY

Pour la 5^e donnée de votre 1^{re} série de mesure t , R , C , ΔV de votre tableau servant à faire le graphique des variables transformées, montrez votre calcul (formule algébrique et valeur numérique) en lien avec la propagation des incertitudes linéaires ayant servi à obtenir l'incertitude sur la variable Y . Exprimez votre réponse sous la forme

$$Y = \tilde{Y} \pm \delta Y.$$

Expression algébrique	Expression avec valeurs numériques
$Y =$	$Y =$

(n'oubliez pas de faire la gestion des chiffres significatifs)

Signature de l'enseignant e : _____

Annexe – Grille de correction

Voici la grille de correction qui sera utilisée pour évaluer votre rapport :

Critères	Éléments analysés	Échelle : A+ à C-		
Le résumé est complet. / 10	<ul style="list-style-type: none"> Énoncer le but. Méthode prise des données. Méthode analyse des données. Description des résultats. 	Les éléments demandés sont discutés explicitement : A	Il manque quelques éléments mineurs : B	Il manque des éléments majeurs : C
L'analyse est complète. / 20	<ul style="list-style-type: none"> Explication du choix de linéarisation $Y = MX + B$. Explication des valeurs théoriques qui seront utilisées dans la validation. Intégrer le graphique des données linéarisées au texte de l'analyse. Validation de la linéarisation (avec argument et R^2). Citer les éléments de la <i>feuille de calcul Excel</i> (disponible en annexe) nécessaire à l'argumentaire. Écrire l'argumentaire permettant de valider l'équation théorique à l'aide d'un critère de concordance. 	Les éléments sont discutés explicitement : A	Il manque quelques éléments mineurs : B	Il manque des éléments majeurs : C
Les équations et calculs présentés sont complets. / 10	<ul style="list-style-type: none"> Calculs associés à la linéarisation de l'équation théorique sous la forme $Y = MX + B$. Explication des formules exploitées pour effectuer la propagation des incertitudes du paramètre Y et X. Calculs relatifs à l'application du critère de concordance. 	Les éléments sont discutés explicitement : A	Il manque quelques éléments mineurs : B	Il manque des éléments majeurs : C
Le graphique est complet. / 10	<ul style="list-style-type: none"> Présentation professionnelle. Présenter les données de toutes les séries données sous la forme d'un seul graphique linéarisé. Identification du graphique (numéro et titre complet). Identification des axes (avec variable et unités). Insertion d'une droite (ligne, équation et R^2). 	Les éléments sont discutés explicitement : A	Il manque quelques éléments mineurs : B	Il manque des éléments majeurs : C
La conclusion est complète. / 10	<ul style="list-style-type: none"> Présenter un retour sur le but. Énoncer les résultats. Présenter des causes d'erreur conceptuelles et/ou expérimentales. Écrire une ouverture. 	Tous les éléments demandés sont discutés explicitement : A	Il manque quelques éléments mineurs : B	Il manque des éléments majeurs : C
La discussion est adéquate. / 10	<ul style="list-style-type: none"> La discussion est précise. La discussion est logique. La discussion est pertinente. La discussion est adéquatement référée avec une pagination et une identification de section. 	La discussion est précise, logique et pertinente : A	La discussion pourrait être légèrement bonifiée : B	La discussion est imprécise et porte à confusion : C
L'écriture est présentée dans un français adéquat. / 10	<ul style="list-style-type: none"> Orthographe adéquate. Syntaxe adéquate. Vocabulaire adéquat. Structure de phrase sans superflue (pas trop verbeux). 	La lecture est fluide avec très peu d'obstacle : A	La lecture est réalisée avec quelques obstacles : B	Les obstacles rencontrés nuisent à la lecture du texte : C

Présentation du rapport	_____	/	80	Pénalité	_____	
Annexe – Feuille de calcul Excel	_____	/	10			
Annexe – Validation de calcul	_____	/	10	Total	_____	/ 100

Remarque : Les éléments analysés manquant seront identifiés dans cette grille par un « X ».

