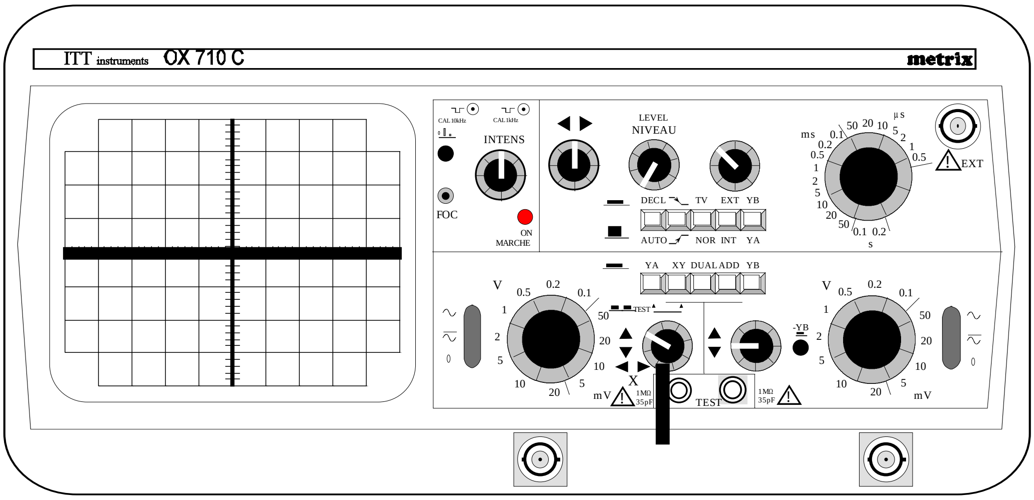
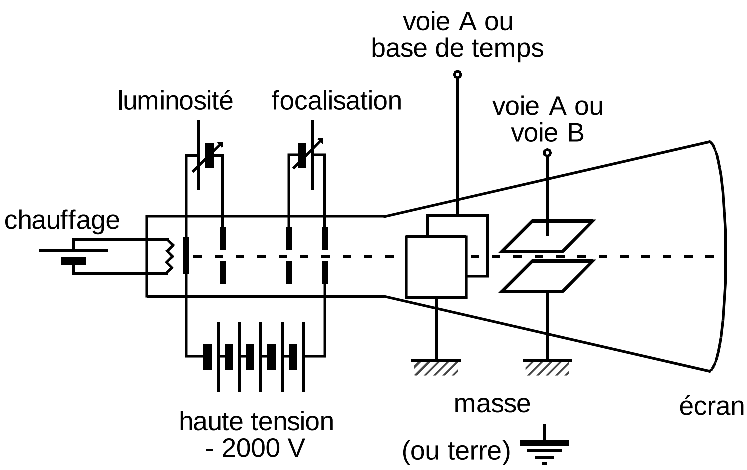
# TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE

## Electricité



# MANIPULATIONS

TP 01 : Etude d'un circuit RLC Série

TP 02 : Lois de Kirchhoff : loi des nœuds et loi des mailles

TP 03 : Mesure de Résistances : Pont de Wheatstone

TP 04 : Mesure de Résistances : Montage amont et montage aval

TP 05 : Charge et Décharge d'un condensateur

# TP 01 : Etude d'un circuit RLC en Série

## I. But de la manipulation

Il s'agit de déterminer la fréquence de résonance d'un circuit RLC série en utilisant l'oscilloscope, et de déterminer l'inductance L d'une bobine ainsi que sa résistance interne $R_L$.

## II. Etude théorique

Soit le circuit RLC de la figure 1

Sur la voie $Y_A$ de l'oscilloscope, il va apparaître la tension $u_{AD}$ ($A$ relié à l'entrée $Y_A$ et D à la masse) ; c'est la tension aux bornes du circuit RLC. La voie $Y_B$ permet d'observer les variations de la tension $u_{BD}$ ($B$ relié à l'entrée $Y_B$ et D à la masse) et le signal de la voie $Y_B$ est proportionnel à l'intensité $i(t)$ du courant.

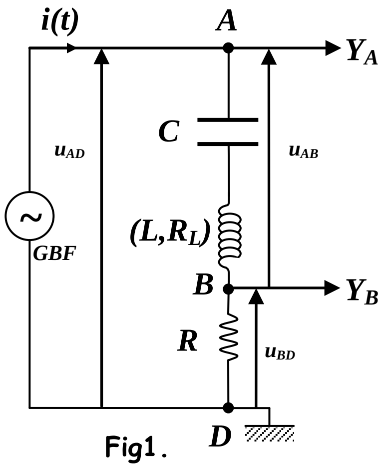



Fig1.

Si on applique la loi des mailles on obtient :

$$u = u_{AD} = u_{AB} + u_{BD} \qquad (1)$$

En appelant $q$ la charge du condensateur, la relation (1) s'écrit :

$$u(t) = \frac{q}{C} + L\frac{di}{dt} + (R + R_L)i \qquad (2)$$

Avec : $u_{AB} = \frac{q}{C} + L\frac{di}{dt} + R_L i$ et $u_{BD} = Ri$ (3)

Or le courant $i$ peut s'exprimer en fonction de la charge $q$ : $i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow q = \int i(t)dt$ (4)

D'où la forme définitive de l'équation (2) : $u(t) = \frac{1}{C}\int i(t)dt + L\frac{di}{dt} + (R + R_L)i$ (5)

Puisque les fonctions $i(t)$ et $u(t)$ sont de même fréquence, mais déphasées, posons :

$i(t) = I_{max}\cos\omega t$ et $u(t) = U_{max}\cos(\omega t + \phi)$ (6)

L'angle $\phi$ désigne l'avance de la phase $u(t)$ par rapport à $i(t)$ ($\phi$ peut être positif ou négatif).

La solution de l'équation (5) sans 2$^{ème}$ membre correspond au régime transitoire.

Prenant : $q(t) = Q_0 \sin\omega t \Rightarrow \frac{dq}{dt} = \omega Q_0 \cos\omega t = I_{max}\cos\omega t \Rightarrow \frac{di}{dt} = -\omega^2 Q_0 \sin\omega t$ (7)

en régime permanant, la solution de l'équation (5) est régie par :

$$U_{max}\cos(\omega t + \phi) = \frac{Q_0}{C}\sin\omega t - L\omega^2 Q_0 \sin\omega t + (R + R_L)\omega Q_0 \cos\omega t \qquad (8)$$

Donc : $\frac{I_{max}}{C\omega} - L\omega I_{max} = -U_{max}\sin\phi$ et $(R + R_L)I_{max} = U_{max}\cos\phi$ (9)

On déduit alors : $I_{max} = \frac{U_{max}}{\left[(R + R_L)^2 + (\frac{1}{C\omega} - L\omega)^2\right]^{1/2}}$ et $tg\phi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R + R_L}$ (10)

La construction de Fresnel pour le circuit RLC est présentée sur la figure 2. Elle nous permet de déterminer l'angle $\phi$ et l'impédance Z :

$$Z = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \left[ (R+R_L)^2 + (\frac{1}{C\omega} - L\omega)^2 \right]^{1/2} \qquad (11)$$

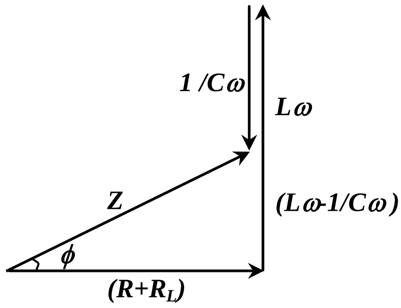


Fig2.

Le circuit est en résonnance quand la tension appliquée et le courant résultant sont en phase. Le déphasage $\phi = 0$ entraine $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$

Donc $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ou $LC\omega_0^2 = 1$ (12)

A cette fréquence le module de l'impédance est minimum : $Z = R + R_L$ (13)

et l'amplitude du courant est maximale : $I_{max,0} = \frac{U_{max}}{R+R_L}$ (14)

On en déduit la fréquence de résonance du circuit : $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (15)

A partir de la courbe de résonance, on peut déterminer la bande passante en fréquence.

Sachant que $I_{eff} = \frac{I_{max,0}}{\sqrt{2}}$ on a pour $\omega_1$ et $\omega_2$ la tension : $U_{eff} = ZI_{eff} = Z\frac{I_{max,0}}{\sqrt{2}}$ (16)

La largeur de la bande passante à 3dB est égal à : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L}$ (17)

L'acuité de la résonnance est, en général, caractérisée par le facteur de qualité, c'est le coefficient de surtension du circuit : $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_0} = \omega_0 \frac{L}{R}$ (18)

## III. Manipulation

Réaliser le montage RLC de la figure 1. On établit aux bornes de ce circuit une tension alternative sinusoïdale de fréquence $f$ et de valeur maximale $U_{AD,max} = 1V$.

Faite varier la fréquence en s'assurant à chaque fois que la tension de sortie du GBF **reste constante** et est égale à $1V$ sur l'écran de l'oscilloscope. Relever la tension $U_{BD,max}$ aux bornes de la résistance R et compléter le tableau suivant :

| $f(Hz)$ | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1250 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Echelle temps* $(ms/div)$ | | | | | | | | |
| $U_{BD,max}(V)$ | | | | | | | | |
| *Echelle tension* $Y_B$ $(ms/div)$ | | | | | | | | |
| $I_{max}(mA)$ | | | | | | | | |

1) En utilisant la courbe de Lissajous, retrouver expérimentalement la fréquence de résonnance $f_0$ du circuit ainsi que l'incertitude sur cette mesure.
2) Déduire l'inductance de la bobine $(L \pm \Delta L)$ sachant que la capacité du condensateur est égal à $C = (10 \pm 0{,}5)\mu F$ .
3) Déterminer la tension $(U_{BD,0} \pm \Delta U_{BD,0})$ aux bornes de la résistance à la résonance.
4) Déduire ainsi la valeur de la résistance interne $R_L$ de la bobine sachant que la résistance $R = 10\Omega$ .
5) Tracer le graphe $I_{max} = F(f)$ et en déduire les fréquences de coupure $f_1$ et $f_2$ . Déterminer la bande passante $\Delta f$ .
6) Calculer le facteur de qualité $Q$ du circuit.

# TP 02 : Les lois de Kirchhoff : loi des nœuds et loi des mailles

## I. But de la manipulation

Le but de cette manipulation est de vérifier les deux lois de Kirchhoff : loi des nœuds et loi des mailles.

## II. Rappels théoriques

On appelle :

- Réseau circuit complexe, comportant plusieurs branches.
- Nœud : tout point où aboutissement plus de deux conducteurs reliant les éléments entre eux.
- Branche : ensemble des éléments situés entre deux nœuds consécutifs.
- Maille : contour fermé, formé d'une suite de branche.

Pour étudier un réseau, on commence par orienter chaque branche dans un sens arbitraire, que l'on matérialise sur le dessin par une flèche.

✓ Principe de conservation de l'électricité : loi des nœuds

La somme des intensités qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en partent.

$$\sum_{i=1}^{N} \bar{I}_i = 0 \Rightarrow \sum I_{entrant} = \sum I_{sortrant} \qquad (1)$$

Avec $I_{entrant} > 0$ si le courant arrive au nœud et $I_{sorant} < 0$ s'il repart.

✓ Loi d'Ohm en circuit fermé : loi des mailles

En parcourant une maille dans un sens quelconque, la somme de toutes les différences de potentiel correspondantes aux branches parcourues le long de cette maille est nulle.

$$\sum_{i=1}^{N} \Delta V_i = 0 \qquad (2)$$

## III. Manipulation

Le circuit est composée de douze résistances $R_i$ avec $1 \le i \le 12$, d'un générateur de force électromotrice $E_g$ et de résistance interne négligeable. Pour les mesures de tensions, on utilise un voltmètre de classe 1,5 et pour les mesures de courants on utilise un ampèremètre de classe 2.

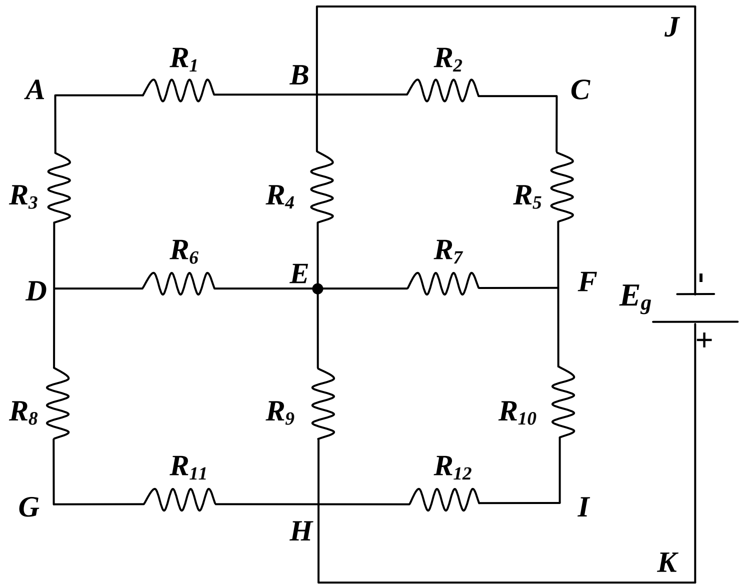
On rappelle que les erreurs industrielles des appareils de mesures sont données par :

$$\Delta I_{ind} = \frac{classe \times calibre}{100} \quad \text{et} \quad \Delta V_{ind} = \frac{classe \times calibre}{100} \qquad (3)$$

1) Donner les valeurs des douze résistances $R_i$ ainsi que leurs incertitudes $\Delta R_i$ en utilisant le code des couleurs.

| | | |
|---|---|---|
| $R_1 = (......\pm......)\Omega$ | $R_2 = (......\pm......)\Omega$ | $R_3 = (......\pm......)\Omega$ |
| $R_4 = (......\pm......)\Omega$ | $R_5 = (......\pm......)\Omega$ | $R_6 = (......\pm......)\Omega$ |
| $R_7 = (......\pm......)\Omega$ | $R_8 = (......\pm......)\Omega$ | $R_9 = (......\pm......)\Omega$ |
| $R_{10} = (......\pm......)\Omega$ | $R_{11} = (......\pm......)\Omega$ | $R_{12} = (......\pm......)\Omega$ |

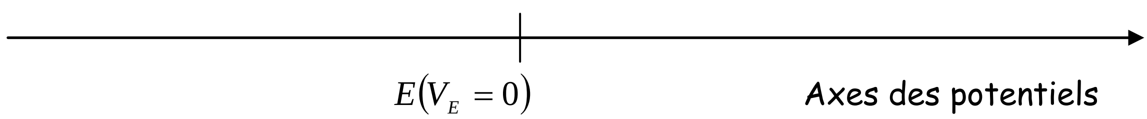
2) Réaliser le montage ci-dessous




3) Régler la tension de sortie du générateur à 8V. Ecrire la tension sous la forme $(E_g \pm \Delta E_g)V$.
4) On prend le point $E$ comme référence des potentiels ($V_E = 0V$), mesurer les différents potentiels de tous les autres points.

| | | |
|---|---|---|
| $V_A = (.....\pm.....)V$ | $V_B = (.....\pm.....)V$ | $V_C = (.....\pm.....)V$ |
| $V_D = (.....\pm.....)V$ | $V_E = 0V$ | $V_F = (.....\pm.....)V$ |
| $V_G = (.....\pm.....)V$ | $V_H = (.....\pm.....)V$ | $V_I = (.....\pm.....)V$ |

5) Classer les potentiels sur un axe par ordre croissant des potentiels. On prendra comme échelle $1V \leftrightarrow 1cm$.




Quel est le point qui a le plus petit potentiel et pourquoi ?

6) Mesurer les courants $I_4, I_6, I_7$ et $I_9$. Donner leurs incertitudes absolues respectives $\Delta I_4, \Delta I_6, \Delta I_7$ et $\Delta I_9$.

| Courant | Calibre ($mA$) |
|---|---|
| $I_4 = (...... \pm ......) mA$ | |
| $I_6 = (...... \pm ......) mA$ | |
| $I_7 = (...... \pm ......) mA$ | |
| $I_9 = (...... \pm ......) mA$ | |

7) Donner leurs sens sur un schéma clair (indiquer le sens avec des flèches).
8) La loi des nœuds (première loi de Kirchhoff) est elle vérifiée (Tenir compte des erreurs expérimentales) ?
9) Vérifier la loi des mailles en prenant la maille BJKHB.

# TP 03 : Mesure de Résistances : Pont de Wheatstone

## I. But de la manipulation

Le pont de Wheatstone est utilisé pour des mesures précises de résistances allant de $1\Omega$ à $10k\Omega$ (résistances moyennes).

## II. Manipulation

Le pont de Wheatstone est formé de quatre résistances dont l'une $R_x$ est inconnue (Fig.1).

Le principe de la méthode est de mettre le pont en équilibre pour déduire la valeur de la résistance inconnue : en fixant le rapport des résistances $R_1 / R_2$ et en faisant aussi varier la résistance $R_3$ jusqu'à ce que le courant qui passe par l'ampèremètre soit nul $I = 0$.

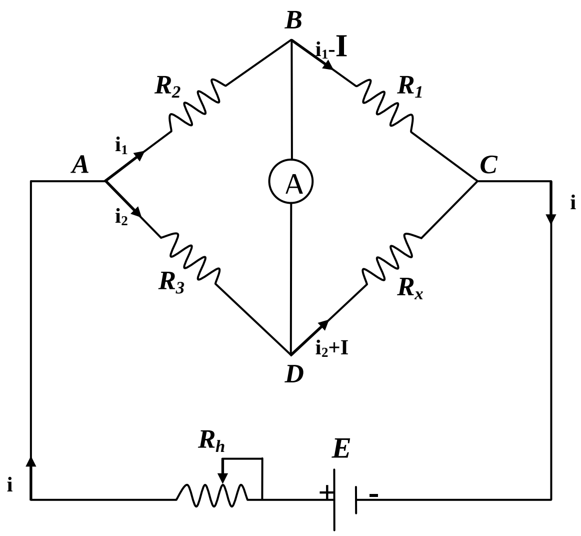



**Fig1.**

1) A l'aide du code des couleurs donner les valeurs des résistances $R_{x1}$ et $R_{x2}$ ainsi que leurs incertitudes $\Delta R_{x1}$ et $\Delta R_{x2}$ sous la forme $(R_x \pm \Delta R_x)$.
2) Trouver les résistances $R_S$ et $R_P$ quand les résistances $R_{x1}$ et $R_{x2}$ sont branchées respectivement en série et en parallèle. Calculer $\Delta R_S$ et $\Delta R_P$.
3) Lorsque le courant qui passe par le galvanomètre $I = 0$, le pont de Wheatstone est en équilibre. En utilisant la loi de Kirchhoff dite "loi des mailles" montrer que : $R_x = R_3 \dfrac{R_1}{R_2}$.
4) Réaliser le montage de le Fig.1.

Connaissant les valeurs des résistances $R_1$, $R_2$ et $R_3$ on peut donc calculer la valeur inconnue de $R_x$.

Prenez donc dans une première partie $R_1 = R_2$ et faites varier la résistance $R_3$. Lorsque le courant s'annule, la valeur de $R_3$ sera égal à $R_x$. Calculer $\Delta R_x$ en fonction de $\Delta R_1$, $\Delta R_2$ et $\Delta R_3$.

En change ensuite le rapport des résistances entre $R_1$ et $R_2$ ( $\dfrac{R_1}{R_2} = 10$) et en refait les mêmes mesures.

5) Compléter le tableau suivant :

| | | | Valeur de $R_x$ | Précision $\Delta R_x/R_x$ | Erreur Absolu $\Delta R_x$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{x1}$ | Lecture Code | | | | |
| | Mesure PW | $R_1=R_2$ | | | |
| | | $R_1/R_2=10$ | | | |
| $R_{x2}$ | Lecture Code | | | | |
| | Mesure PW | $R_1=R_2$ | | | |
| | | $R_1/R_2=10$ | | | |
| $R_s = R_{x1} + R_{x2}$ | Lecture Code | | | | |
| | Mesure PW | $R_1=R_2$ | | | |
| | | $R_1/R_2=10$ | | | |
| $R_p = \frac{R_{x1} R_{x2}}{R_{x1}+R_{x2}}$ | Lecture Code | | | | |
| | Mesure PW | $R_1=R_2$ | | | |
| | | $R_1/R_2=10$ | | | |

6) Que peut-on conclure de cette expérience ?

# TP 04 : Mesure de Resistances : Montage amont et montage aval

## I. But de la manipulation

Le but est de déterminer la valeur d'une résistance R inconnue. On effectue le rapport de la tension v existant à ses bornes au courant I qui la traverse : R=V/I.
L'ampèremètre étant branché en série sur le circuit, il existe deux façons de placer le voltmètre : soit avant l'ampèremètre, soit après l'ampèremètre.

## II. Etude théorique

- ✓ Montage amont

Sur le montage de la figure 1, la tension $U_{mes}$ mesurée aux bornes de la résistance $R$ et l'ampèremètre est différente de la tension $U$ mesurée aux bornes de la résistance seulement ; tandis que le courant $I_{mes}$ qui traverse les deux (résistance et ampèremètre) est le même que celui de la résistance.

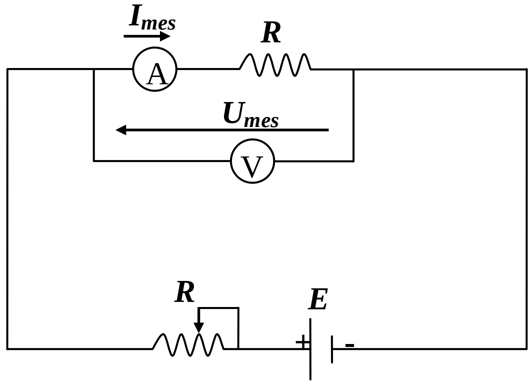


Fig1. Montage amont

$R_a$ est la résistance interne de l'ampèremètre.

Montrer que la résistance mesurée $R_{mes}$ est donnée est par :

$$R_{mes} = \frac{U_{mes}}{I_{mes}} = R + R_a \qquad (1)$$

- ✓ Montage aval :

Dans ce montage le courant qui traverse la résistance $R$ est différent du courant $I_{mes}$ mesuré aux bornes de l'ampèremètre ; alors que la tension mesurée aux bornes de la résistance est égale à la tension mesurée$U_{mes}$.

$R_v$ est la résistance interne du voltmètre.

Démontrer que dans ce cas la résistance mesurée $R_{mes}$ est donnée par la relation :

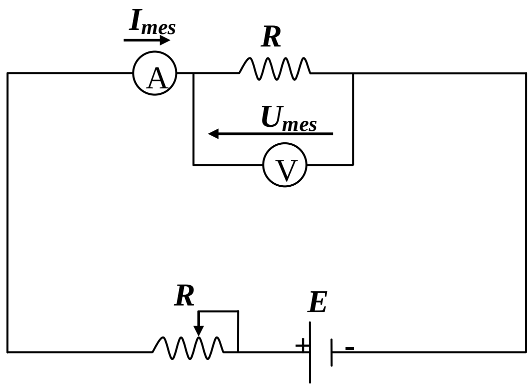


Fig2. Montage aval

$$R_{mes} = \frac{U_{mes}}{I_{mes}} = \frac{R}{1 + \frac{R}{R_v}} \qquad (2)$$

## III. Manipulation

En utilise dans cette expérience de types de résistances ; une de grande valeur et une de petite valeur.

Pour la première étape réaliser le montage amont avec une petite résistance de 60 Ω, ensuite faites une première mesure approximative de la résistance $R_{mes}$ en relevant les valeurs du courant $I_{mes}$ et de la tension $U_{mes}$ mesurées sur l'ampèremètre et le voltmètre respectivement.

Relever les valeurs des calibres utilisés.

Pour une seconde étape, changer la résistance par celle de grande valeur $R = 10k\Omega$. Faites les même mesures en calculant la résistance mesurée $R_{mes}$ et en relevant les valeurs des calibres utilisés.

On passe maintenant au montage aval, en reprenant les mêmes étapes avec une résistance de petite et de grande valeur déterminer la résistance mesurée puis remplir le tableau suivant :

| | $R = 60\Omega$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Montage amant | $I_{mes}(mA)$ | $C_a(mA)$ | $U_{mes}(V)$ | $C_v(V)$ | $R_{mes}(\Omega)$ |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Montage aval | $I_{mes}(mA)$ | $C_a(mA)$ | $U_{mes}(V)$ | $C_v(V)$ | $R_{mes}(\Omega)$ |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | $R = 10k\Omega$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Montage amant | $I_{mes}(mA)$ | $C_a(mA)$ | $U_{mes}(V)$ | $C_v(V)$ | $R_{mes}(\Omega)$ |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Montage aval | $I_{mes}(mA)$ | $C_a(mA)$ | $U_{mes}(V)$ | $C_v(V)$ | $R_{mes}(\Omega)$ |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

1) Donner les valeurs des résistances utilisées sous la forme $(R \pm \Delta R)$.
2) Trouver la valeur de la résistance mesurée $(R_{mes} \pm \Delta R_{mes})$ pour chaque montage.
3) Quel est le meilleur montage qui convient pour les petites résistances ?
4) Donner la correction nécessaire pour la résistance $R$ lorsqu'elle est branchée dans le montage qui ne lui correspond pas, sachant que :

$$R = R_{mes} - R_a \quad \text{et} \quad R = \frac{R_{mes}}{1 - \frac{R_{mes}}{R_v}} \quad \text{tel que :} \quad R_a = \frac{200mV}{C_a} \quad \text{et} \quad R_v = C_v \frac{38k\Omega}{3V}$$

5) Que peut-on conclure de cette expérience ?

# TP 05 : Charge et Décharge d'un condensateur

## I. But de la manipulation

L'expérience consiste à étudier l'évolution de la charge électrique stockée dans un condensateur et sa décharge à travers une résistance et de déduire la constante du temps $\tau$.

## II. Etude théorique

✓ Charge d'un condensateur :

On considère que le condensateur n'est pas chargé, à l'instant $t=0$ on ferme l'interrupteur à la position (1) ; le condensateur commence à se charger on aura :

$$E = Ri(t) + u_C(t) \qquad (1)$$

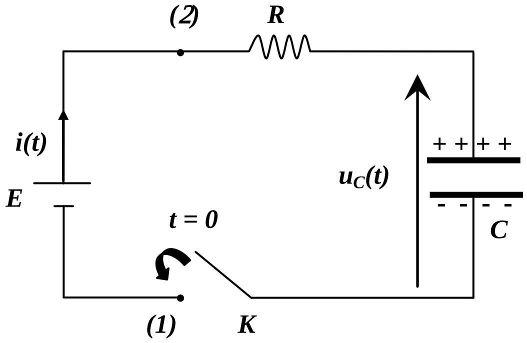


**Fig1.**

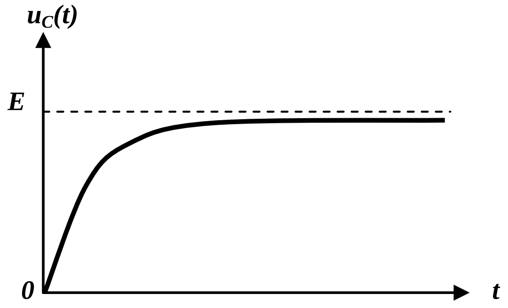
Sachant que :

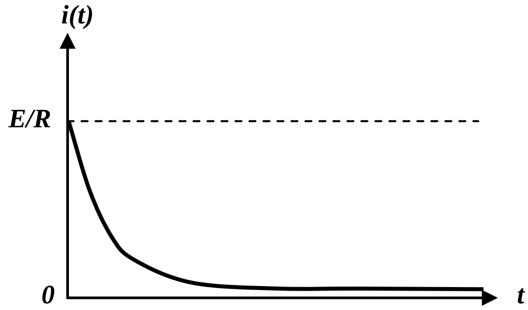
$$q(t) = Cu_C(t) \text{ et } i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \qquad (2)$$

On aura : $E = RC\dfrac{du_C(t)}{dt} + u_C(t)$ (3)

C'est une équation différentielle du premier ordre avec second membre. La solution est sous la forme : $u_C(t) = E\,[1 - exp(-t/\tau)]$ avec $\tau = RC$ (4)

Le courant est ainsi donné par : $i(t) = \dfrac{dq(t)}{dt} = \dfrac{E}{R} exp(-t/\tau)$ (5)




On peut dire que pour un temps $t = 5\tau$ le condensateur est complètement chargé (99%) : $u_C(5\tau) = E(1 - e^{-5}) \approx 0,99E$ .

✓ Décharge d'un condensateur :

Le condensateur étant complètement chargé tel que $u_C(t=0) \approx E$ , on ferme l'interrupteur à la position (2). Le condensateur commence ainsi à se décharger, on aura :

$$Ri(t) + u_C(t) = 0 \qquad (6)$$

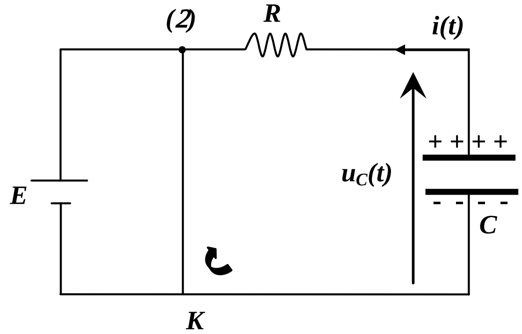
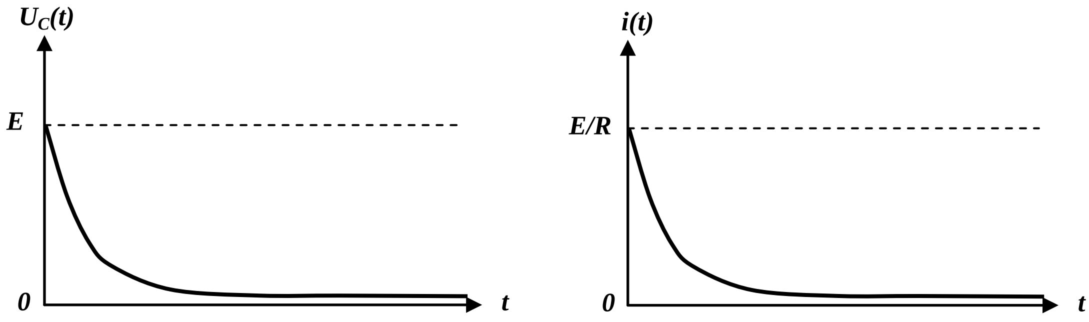


**Fig2.**

Puisque $q(t) = Cu_C(t)$ et $i(t) = -\dfrac{dq(t)}{dt}$ (7)

On aura : $u_C(t) = Eexp(-t/\tau)$ avec $\tau = RC$ (8)

Le courant est donnée par : $i(t) = \dfrac{E}{R} exp(-t/\tau)$ (9)




## III. Manipulation

✓ Charge d'un condensateur à travers une résistance :

Effectuer le montage de la Fig.1 et fixer le générateur à 6V.
Avant de commencer l'expérience vider complètement le condensateur de sa charge initial c'est-à-dire faire un court circuit et, à l'instant $t=0$ fermer l'interrupteur et mesurer chaque 15 secondes pendent 4 minutes la valeur de $U_C(t)$ indiquée sur le voltmètre.

✓ Décharge d'un condensateur :

Avec le montage de la Fig.2, le condensateur est complètement chargé ; à l'instant $t=0$ fermer l'interrupteur et mesurer une autre fois la valeur $U_C(t)$ sur le voltmètre chaque 15 secondes pendant 4 minutes.

1) Compéter le tableau suivant :

| Charge d'un condensateur | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t(s)$ | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 | 165 | 180 | 195 | 210 | 225 | 240 |
| $U_C(t)$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Décharge d'un condensateur** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $t(s)$ | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 | 165 | 180 | 195 | 210 | 225 | 240 |
| $U_C(t)$ | | | | | | | | | | | | | | | | |

2) Tracer le graphe $U_C(t)$ en fonction du temps dans le cas de la charge et la décharge du condensateur.
3) Déduire la valeur de $\tau = RC$ à partir du graphe $U_C(t)$ par deux méthodes :

- De la pente à $t=0$.
- $U_C(\tau)=0,63E$ dans le cas de la charge du condensateur et $U_C(\tau)=0,37E$ lors de sa décharge.

4) Déduire la valeur de la résistance $R$ sachant que la capacité est égale à $C = 2200\mu F$ .
5) Tracer le graphe du courant $i(t)$ qui circule dans le circuit dans les deux cas : charge et décharge du condensateur.
6) Conclusion.