TP Physique 08 **BCPST 1C**

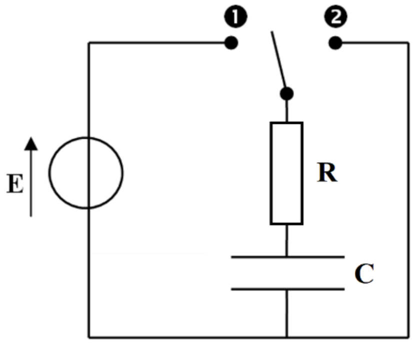
Constante de temps caractéristique du circuit RC série

Le condensateur est un composant très utilisé en électronique, grâce à son pouvoir capacitif, c'est-à-dire à son aptitude à accumuler des charges de signes opposés sur les deux armatures métalliques qui le constituent. Cela lui permet ainsi de stocker de l'énergie lors du phénomène de charge et d'en libérer lors du phénomène de décharge.

Le but de ce TP est de réinvestir la notion de charge et de décharge du condensateur au travers de la constante de temps τ qui caractérise l'évolution du système lors de ces deux phénomènes.

I- VALEUR THEORIQUE DE LA CONSTANTE DE TEMPS τ

Figure 1



Imaginons qu'on place un condensateur de capacité C initialement déchargé dans le circuit suivant (voir ***Figure 1***), constitué d'un générateur idéal délivrant une tension E, un conducteur ohmique de résistance R et d'un interrupteur pour lequel deux positions sont possibles :

- Si on place l'interrupteur en position ❶, <u>le condensateur **se charge**</u>, ce qui se traduit par une augmentation progressive de la tension u_C à ses bornes, depuis une valeur nulle jusqu'à la valeur E ;
- Si on place ensuite l'interrupteur en position ❷, <u>le condensateur **se décharge**</u>, ce qui se traduit par une diminution progressive de la tension u_C à ses bornes, depuis la valeur E jusqu'à une valeur nulle.

Qu'il s'agisse de la charge ou de la décharge, aucun de ces phénomènes n'est instantané : ils sont tous les deux caractérisés par la constante de temps **τ = R × C**. D'autre part, on considère généralement que la charge du condensateur est complète ($u_C = E$) ou que sa décharge est complète ($u_C = 0$) au bout d'une durée **Δt** égale à **5 × τ**. La tension aux bornes du condensateur n'évoluant plus, on dit que le régime permanent est atteint.

Dans l'étude expérimentale qui suivra, on utilisera un conducteur ohmique de résistance R = 560 Ω et un condensateur de capacité C = 25,0 nF. Ces valeurs seront fixées grâce à une boîte à décades de résistances et à une boîte à décades de capacités dont la précision est de 1 % de la valeur réglée. L'incertitude **u(X)** sur la valeur de la résistance ou de la capacité délivrée par ces boîtes à décades est alors donnée par la relation : $\mathbf{u(X)} = \dfrac{\textbf{précision}}{\sqrt{3}}$.

✍**1-** Calculer la valeur théorique de la constante de temps τ pour R = 560 Ω et C = 25,0 nF ainsi que son incertitude u(τ).

$$\textit{Rappel} : \text{si } \mathbf{G} = \mathbf{X} \times \mathbf{Y} \text{ ou si } \mathbf{G} = \frac{\mathbf{X}}{\mathbf{Y}}, \text{alors } \mathbf{u(G)} = \mathbf{G} \times \sqrt{\left(\frac{\mathbf{u(X)}}{\mathbf{X}}\right)^2 + \left(\frac{\mathbf{u(Y)}}{\mathbf{Y}}\right)^2}$$

✍**2-** En déduire au bout de quelle durée Δt le régime permanent pourra être considéré comme atteint aussi bien lors du phénomène de charge que lors du phénomène de décharge.

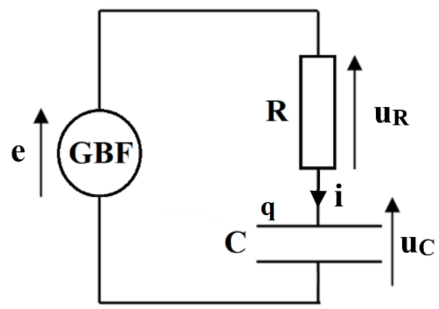
II- ETUDE EXPERIMENTALE

1) Le circuit électrique

Pour étudier successivement le phénomène de charge et de décharge du condensateur, nous n'utiliserons ni générateur idéal de tension, ni interrupteur. Ces deux éléments du circuit seront remplacés par un **GBF délivrant un <u>signal périodique e</u> de <u>période T</u> et de <u>forme créneau</u>** (voir ***Figure 2***) tel que :

$$\mathbf{e(t) = E} \text{ pour } \mathbf{0 \leq t < \frac{T}{2}} \quad ; \quad \mathbf{e(t) = 0} \text{ pour } \mathbf{\frac{T}{2} \leq t < T}$$

Figure 2



✍**3-** **a)** Sur l'intervalle de temps $\mathbf{0 \leq t < \frac{T}{2}}$, le circuit de la ***Figure 2*** est-il équivalent au circuit de la ***Figure 1*** avec l'interrupteur en position ❶ ou en position ❷ ? En déduire si on assiste alors à la charge ou à la décharge du condensateur.

b) Même question sur l'intervalle de temps $\mathbf{\frac{T}{2} \leq t < T}$.

✍**4-** Les deux intervalles précédents ont une durée égale à $\mathbf{\frac{T}{2}}$. Calculer cette valeur sachant que le GBF délivrera un signal de fréquence f = 5,00 kHz puis la comparer à la durée Δt calculée à la question **2-** ; conclure.

⏩ *Réaliser le circuit de la* ***Figure 2*** *à l'aide des boîtes à décades mises à disposition et du GBF. On utilisera la sortie* **OUTPUT TTL** *de ce dernier afin d'obtenir directement un signal créneau évoluant entre* **e = 0 V** *et* **e = E = 5,0 V**.

Attention !!! la borne rouge du GBF correspond à la pointe de la flèche de tension e …

⏩ *Régler le GBF pour qu'il délivre un signal de fréquence* **f = 5,00 kHz**.

2) Visualisation des variations de u_C (t)

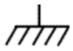
a/ Branchements de l'oscilloscope

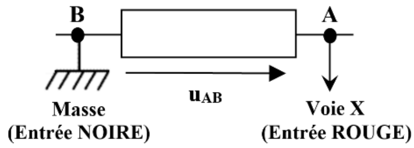
Quelques rappels sur l'oscilloscope

➢ Chaque voie de l'oscilloscope est munie d'un adaptateur à double entrée : une entrée rouge et une autre noire (voir ci-contre). Si on veut visualiser la **tension u_{AB}**, **le point A du circuit doit être branché à l'entrée rouge et le point B à l'entrée noire**, cette dernière jouant le rôle de MASSE.

➢ Sur un schéma, les branchements décrits précédemment sont représentés de la façon suivante :

le branchement vers l'entrée rouge est schématisé par une ***flèche*** ;

le branchement vers l'entrée noire (= MASSE) est schématisé par un ***râteau*** 

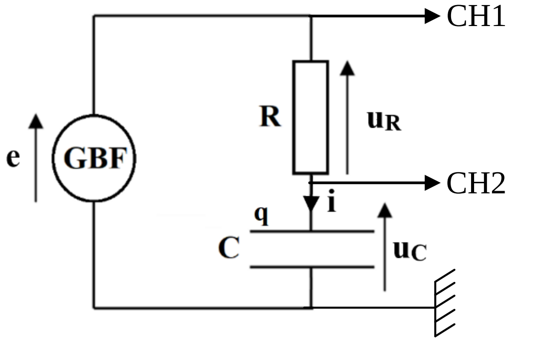


➢ **Un circuit ne contient qu'UNE SEULE masse** ; si on veut visualiser deux tensions différentes à l'aide des deux voies d'un oscilloscope, il faut donc que ***les deux entrées noires de l'oscilloscope soient reliées au même point du circuit***.

➢ **Si la masse du GBF et celle de l'oscilloscope sont toutes les deux reliées à la terre, la masse de l'oscilloscope doit être reliée à la masse du générateur** ; sinon, cela court-circuiterait la partie du circuit électrique située entre ces deux masses !

Conformément au schéma du circuit ci-contre, on propose les branchements suivants pour l'oscilloscope :

- la voie CH1 entre le GBF et le conducteur ohmique ;
- la voie CH2 entre le condensateur et le conducteur ohmique ;
- la masse entre le GBF et le condensateur ;



✍**5-** En déduire quelle tension (e ? u_R ? u_C ?) sera observée sur la voie CH1 et sur la voie CH2.

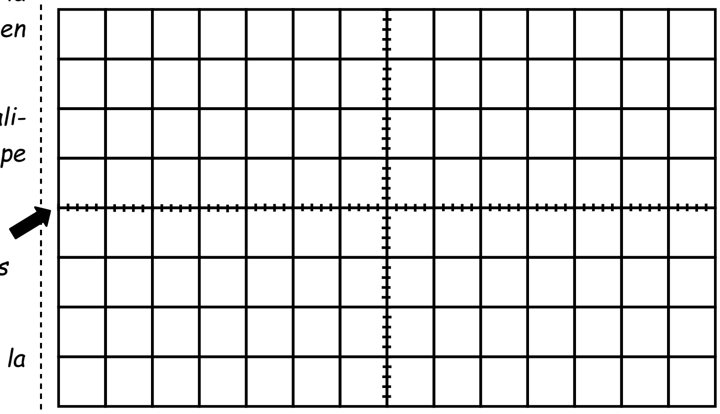
⏩ *Relier la voie* **CH1** *(plot rouge), la voie* **CH2** *(plot rouge) et la masse de l'oscilloscope (plots noirs) au circuit précédent en accord avec les branchements évoqués ci-dessus.*

⏩ *Afin d'observer le signal dans les meilleures conditions, réaliser les réglages suivants à l'aide des boutons de l'oscilloscope (voir « Fiche Technique 01 ») :*

 # Bouton **A** *: base de temps* **20 µS/div** *;*

 # Boutons **E** *et* **F** *: sensibilité verticale de* **2,0 V/div** *sur les deux voies.*

⏩ *A l'aide du bouton* **B***, déplacer les signaux pour que celui de la voie* **CH2** *commence au niveau du point indiqué par la flèche.*



Appeler le professeur pour validation ou en cas de difficulté !

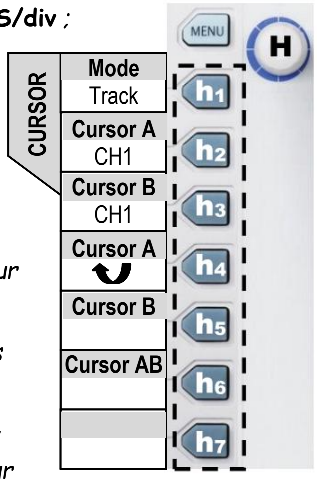
✍**6-** Reproduire ci-contre l'allure des signaux observés sur l'écran (voie **CH1 en vert** et voie **CH2 en rouge**) en rappelant la tension qui est représentée (e, u_R ou u_C).

✍**7-** Indiquer dans quelle(s) zone(s) on observe la charge et la décharge du condensateur.

b/ Détermination expérimentale de la constante de temps τ lors de la charge du condensateur

On montre que si un condensateur de capacité **C** initialement déchargé est placé en série avec un générateur de tension idéal délivrant une tension **E** et un conducteur ohmique de résistance **R**, alors la tension **u_C(t)** à ses bornes vérifie la relation : $\mathbf{u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}$ avec τ la constante de temps du circuit.

✍**8-** A l'aide de la formule précédente, montrer que lorsque $t = \tau$, le condensateur est chargé à hauteur de 63 % (c'est-à-dire que u_C a atteint 63 % de sa valeur finale).



⏩ *A l'aide du bouton* $\boxed{\textbf{A}}$ *de l'oscilloscope, zoomer le signal pour que la base de temps soit réglée à* **5 µS/div** *;*

⏩ *Cliquer sur le bouton «* **Cursor** *» puis à l'aide des boutons* $\boxed{h_1}$ *à* $\boxed{h_3}$ *et en tournant le bouton* $\boxed{\textbf{H}}$*, réaliser les réglages tels qu'indiqués ci-contre (pour valider, il faut appuyer sur le bouton* $\boxed{\textbf{H}}$*). Ces réglages permettent aux curseurs de se déplacer sur la courbe associée à la voie* **CH1***.*

⏩ *Tourner le bouton* $\boxed{\textbf{H}}$ *pour déplacer le curseur sur la courbe de la voie* **CH1***. Relever alors la valeur expérimentale de la tension* E *en haut à gauche de l'écran :* ➡ E = _______________ *;*

⏩ *D'après la réponse à la question* **8-***, en déduire la valeur de la tension* u_C *aux bornes du condensateur lorsque* $t = \tau$ *:* ➡ $u_C(t = \tau)$ = ____________________________________ *;*

⏩ *A l'aide des boutons* $\boxed{h_2}$ *et* $\boxed{h_3}$*, afficher* **CH2** *pour* **Cursor A** *et* **Cursor B** *: cela permettra aux curseurs de se déplacer désormais sur la courbe associée à la voie* **CH2***.*

⏩ *Placer le curseur A et le curseur B de telle sorte que le premier corresponde à* $\mathbf{u_C = 0}$ *(début de la charge) et que le second corresponde à* $\mathbf{u_C(t = \tau)}$ *(condensateur chargé à 63 %). Relever alors la valeur* ΔX *qui s'affiche en haut à gauche de l'écran :* ➡ ΔX = _______________ *. Cette valeur s'identifie à la* ***valeur expérimentale de*** τ*.*

✍**9-** Tracer l'allure de la courbe de charge $\mathbf{u_C = f(t)}$ et le légender pour faire apparaître « E », « 0,63 E » et « τ ».

✍**10-** Indiquer la valeur expérimentale de la constante de temps τ avec son incertitude $u(\tau)$ estimée à $\dfrac{\textbf{graduation}}{\sqrt{6}}$ * (les plus rapides pourront chercher à comprendre d'où vient cette formule !).

* <u>Qu'appelle-t-on « graduation » sur l'oscilloscope</u> ?

Pour un instrument gradué tous les mm, il est simple de comprendre que ce qu'on appelle une « graduation » vaut 1 mm. *De même, pour un thermomètre gradué tous les* 2 °C, *une « graduation » vaut* 2 °C. *Mais qu'en est-il pour l'oscilloscope ?*

En plaçant les curseurs verticaux, l'oscilloscope indique par exemple ΔX = 1,24 s. *Mais cela ne veut pas dire que l'oscilloscope affiche une valeur de* ΔX *précise à* 0,01 s *près. Pour connaître cette précision, décaler d'un cran (vers la droite ou vers la gauche) l'un des curseurs et observer de combien a varié la valeur affichée de* ΔX *; si par exemple la nouvelle valeur de* ΔX *affichée passe de* 1,24 s *à* 1,28 s*, on en déduit que la valeur de* ΔX *est précise à* 0,04 s *près et c'est ce qu'on appellera la « graduation ».*

✍**11-** Comparer la valeur obtenue à la question **10-** à celle attendue à la question **1-** en calculant un écart normalisé.

c/ Influence de R et de C sur l'allure de la courbe $u_C(t)$

On souhaite que la charge et la décharge du condensateur soient deux fois plus rapides qu'avec les réglages de R et de C précédents (R = 560 Ω et C = 25,0 nF).

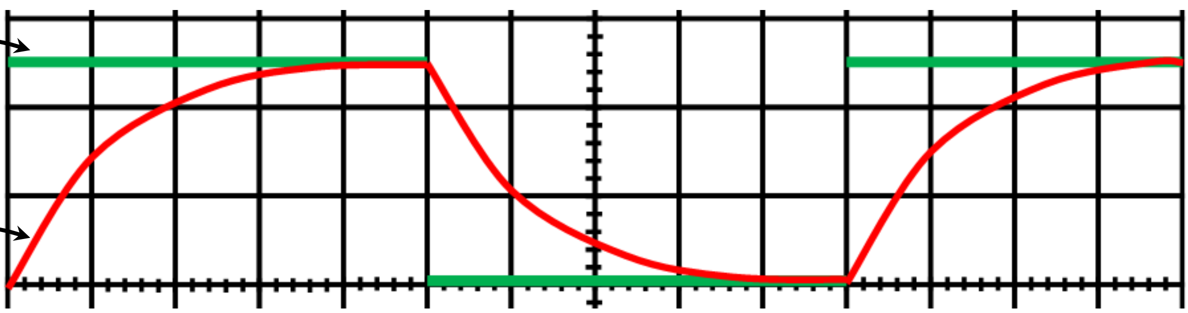
✍**12-** Proposer trois couples {R ; C} possibles pour atteindre l'objectif recherché : un premier couple où seule la valeur de R est modifiée, un deuxième couple où seule la valeur de C est modifiée et un troisième couple où la valeur de R et de C sont toutes les deux modifiées.

⏩ *A l'aide du bouton* $\boxed{\textbf{A}}$ *de l'oscilloscope, revenir à une base de temps égale à* **20 µS/div** *;*

⏩ *Vérifier vos réponses en ajustant la valeur de* R *et de* C *sur les boîtes à décade et en observant la nouvelle allure de* $u_C(t)$ *sur l'oscilloscope.*

✍**13-** Compléter l'oscillogramme ci-dessous en dessinant <u>en pointillés rouge</u> la nouvelle allure de la courbe $u_C(t)$ quand la charge et la décharge sont deux fois plus rapides.

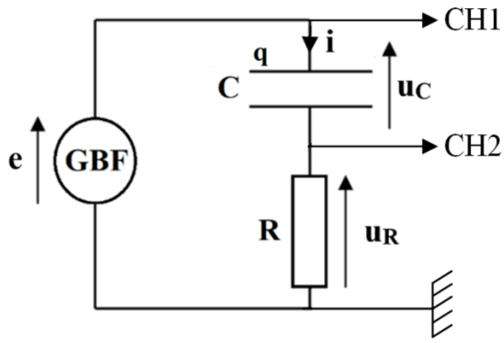
Courbe e(t)



Courbe u_C(t)
avec τ = 14 µs

3) Visualisation des variations de i (t)

Figure 3



On souhaite visualiser l'intensité **i(t)** du courant électrique circulant dans la branche du condensateur. Malheureusement, un oscilloscope est un voltmètre : il ne permet donc d'observer que des tensions et pas des intensités … Pourtant, le montage de la ***Figure 3*** permettra quand même d'obtenir des informations sur l'intensité du courant électrique.

Pour cela, on branchera donc :

- la voie CH1 entre le GBF et le condensateur ;
- la voie CH2 entre le condensateur et le conducteur ohmique ;
- la masse entre le GBF et le conducteur ohmique ;

✍**14-** En déduire quelle tension (e ? u_R ? u_C ?) sera observée sur la voie CH1 et sur la voie CH2.

✍**15-** Aux bornes de quel dipôle la tension électrique est-elle proportionnelle à l'intensité i(t) du courant électrique qui y circule : le GBF, le condensateur ou le conducteur ohmique ? En déduire quelle voie (CH1 ou CH2) permettra d'accéder à l'intensité i(t) du courant électrique ?

⏩ *Défaire complètement le circuit précédemment puis le refaire en tenant compte de la nouvelle organisation des différents dipôles indiquée sur le schéma de la* ***Figure 3****.*

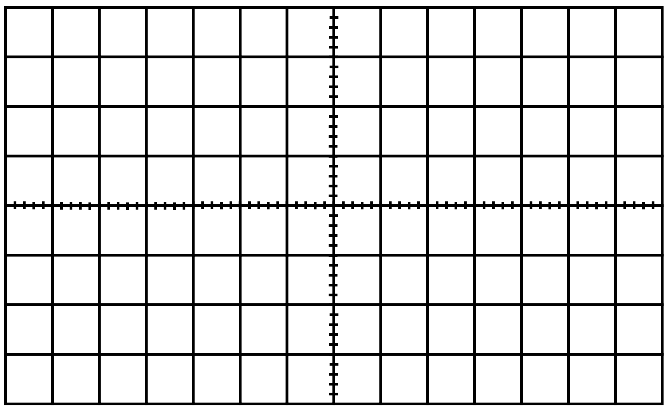
⏩ *Relier la voie* **CH1** *(plot rouge), la voie* **CH2** *(plot rouge) et la masse de l'oscilloscope (plots noirs) au circuit précédent en accord avec les branchements précisés sur le schéma ci-contre.*

⏩ *Conserver les réglages précédents de l'oscilloscope :* # *Bouton* $\boxed{\text{A}}$ *: Base de temps à* **20 µs/div** *;*
Boutons $\boxed{\text{E}}$ *et* $\boxed{\text{F}}$ *: Sensibilité verticale des deux voies à* **2,0 V/div**.

⏩ *A l'aide du bouton* $\boxed{\text{B}}$*, déplacer les signaux pour que la charge du condensateur commence sur le bord gauche de l'écran.*

Appeler le professeur pour validation ou en cas de difficulté !

✍**16-** Reproduire ci-contre l'allure des signaux observés sur l'écran (voie **CH1 en vert** et voie **CH2 en rouge**) en rappelant la tension qui est représentée.



✍**17-** Rappeler dans quelle(s) zone(s) on observe la charge et la décharge du condensateur (légender la figure).

✍**18-** En déduire le signe de l'intensité du courant électrique dans la branche du condensateur lorsque celui-ci se charge puis lorsqu'il se décharge.

✍**19-** Sur un cycle {charge + décharge}, peut-on qualifier l'intensité i(t) du courant électrique traversant le condensateur comme étant « continue » ou « discontinue » ? En est-il de même pour la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur ?

✍**20-** A l'aide des curseurs, déterminer la valeur de l'intensité i du courant électrique au tout début de la charge (on la notera $i_{0,charge}$), puis au tout début de la décharge (on la notera $i_{0,\ décharge}$).

On rappelle que :

- Si un condensateur de capacité **C***, initialement déchargé, est placé en série avec un générateur de tension idéal délivrant une tension* **E** *et un conducteur ohmique de résistance* **R***, alors la tension* $\mathbf{u_C(t)}$ *à ses bornes lors de la charge vérifie la relation :*

$$\mathbf{u_C(t) = E \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$$

- Si un condensateur de capacité **C***, initialement chargé sous une tension* **E***, est placé en série avec un conducteur ohmique de résistance* **R***, alors la tension* $\mathbf{u_C(t)}$ *à ses bornes lors de la décharge vérifie la relation :*

$$\mathbf{u_C(t) = E \times e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

✍**21-** A l'aide de ces expressions, établir l'expression i(t) de l'intensité du courant électrique lors de la charge du condensateur puis lors de sa décharge.

✍**22-** En déduire les valeurs théoriques de $i_{0,charge}$ et de $i_{0,\ décharge}$ et les comparer à celles obtenues expérimentalement.