Airbag et condensateur, quel rapport?

Bac S 2009 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Sur la figure 5, identifier, en justifiant qualitativement, la courbe représentant la tension aux bornes du condensateur et celle représentant l'intensité du courant.

Le condensateur est déchargé à $t = 0$: $q(0) = 0$, donc $u_C(0) = \dfrac{q(0)}{C} = 0$. La tension u_C part de zéro puis augmente pendant la charge : c'est la courbe (a).

L'intensité est maximale à la fermeture de K, puis elle décroît et s'annule quand le condensateur est chargé : c'est la courbe (b).

Courbe (a) : tension u_C ; courbe (b) : intensité i.

COMPRENDRE
La tension aux bornes d'un condensateur ne subit jamais de saut : elle garde juste après la fermeture la valeur nulle qu'elle avait juste avant. L'intensité, elle, peut passer brutalement de 0 à 0,50 A.

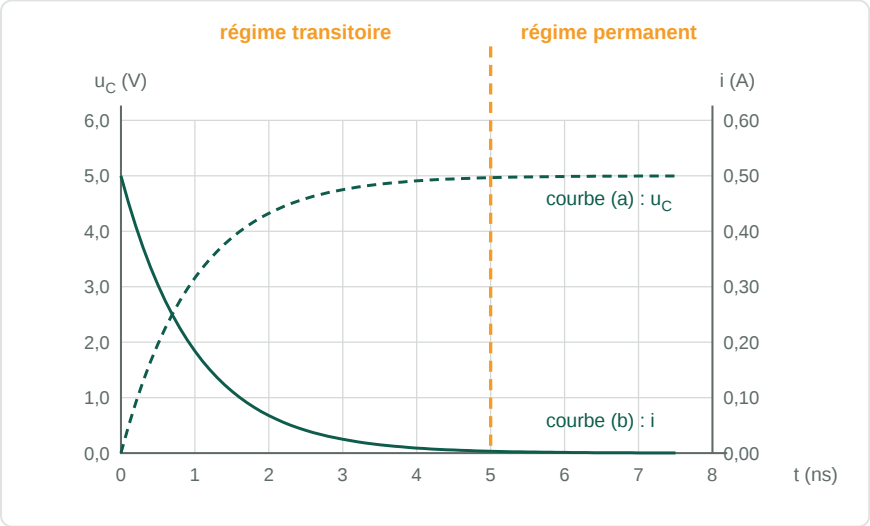
1.2 Délimiter de façon approximative et qualifier, sur la figure 5 de l'annexe, les deux régimes de fonctionnement du circuit.

Tant que u_C et i varient, le régime est **transitoire** : jusqu'à $t \approx 5$ ns environ.

Ensuite, u_C et i gardent des valeurs constantes : le régime est **permanent**.

Régime transitoire pour $0 < t < 5$ ns environ, régime permanent au-delà (voir l'annexe complétée).

MÉTHODE
La frontière se place là où les courbes se confondent avec leurs asymptotes, soit vers 5τ (charge effectuée à plus de 99 %). Une limite tracée entre 4 et 6 ns est acceptée.



1.2 · Figure 5 de l'annexe complétée : les deux régimes (en orange)

1.3 Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps du dipôle RC. Comparer cette valeur à la durée d'un choc, de l'ordre de 200 ms.

Données utiles figure 5, courbe (a) ; durée du choc $\Delta t \approx 200$ ms

En régime permanent, la courbe (a) donne $u_C = E = 5{,}0$ V. À la date $t = \tau$, le condensateur est chargé à 63 % :

$u_C(\tau) = 0{,}63 \times E = 0{,}63 \times 5{,}0 = 3{,}2$ V

Sur la courbe (a), cette tension est atteinte à la date $t = 1{,}0$ ns, donc $\tau = 1{,}0$ ns $= 1{,}0 \times 10^{-9}$ s.

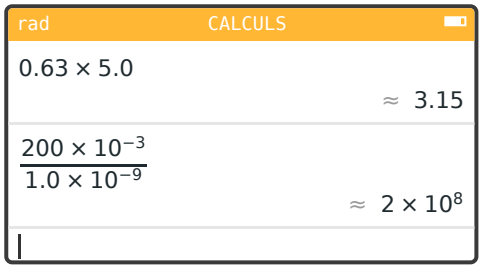
Comparaison : $\dfrac{\Delta t}{\tau} = \dfrac{200 \times 10^{-3}}{1{,}0 \times 10^{-9}} = 2 \times 10^{8}$

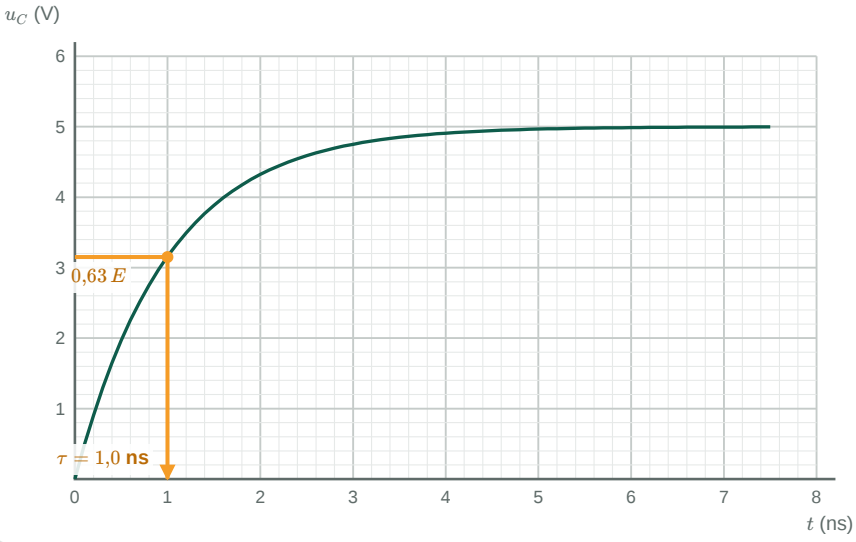
$\tau = 1{,}0$ ns : la constante de temps est environ 2×10^{8} fois plus petite que la durée d'un choc.

COMPRENDRE
Le condensateur se charge de façon quasi instantanée à l'échelle du choc : pendant le choc, le circuit reste à chaque instant en régime permanent. La lecture graphique ne permet que deux chiffres significatifs.

MÉTHODE
Autre lecture possible : la tangente à l'origine de la courbe (a) coupe l'asymptote $u_C = E$ à la date $t = \tau$. Sur la courbe (b), τ est la date où i vaut 37 % de sa valeur initiale.

À LA CALCULATRICE





1.3 · Lecture de la constante de temps sur la courbe (a)

1.4 Donner l'expression littérale de cette constante de temps. En déduire un ordre de grandeur de la valeur de la résistance R.

Données utiles $C = 100$ pF $= 100 \times 10^{-12}$ F ; $\tau = 1{,}0 \times 10^{-9}$ s (1.3)

Pour un dipôle RC série : $\tau = RC$, donc $R = \dfrac{\tau}{C}$.

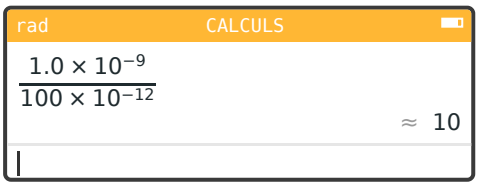
$$R = \frac{1{,}0 \times 10^{-9}}{100 \times 10^{-12}} = 10\ \Omega$$

$\tau = RC$; ordre de grandeur de la résistance : $R \approx 10\ \Omega$.

PIÈGE
Laisser C en picofarads ou τ en nanosecondes : la relation $\tau = RC$ exige des secondes, des ohms et des farads.

COMPRENDRE
Vérification par la courbe (b) : à $t = 0$, $u_C = 0$, donc toute la tension E est aux bornes de R et $R = \dfrac{E}{i(0)} = \dfrac{5{,}0}{0{,}50} = 10\ \Omega$.

À LA CALCULATRICE



1.5.1 Déterminer graphiquement, sur la figure 5, les valeurs de la tension aux bornes du condensateur et de l'intensité du courant en régime permanent.

En régime permanent, la courbe (a) se confond avec l'asymptote horizontale d'ordonnée 5,0 V (axe de gauche) et la courbe (b) avec l'axe des abscisses (axe de droite).

En régime permanent : $u_C = 5{,}0\ \text{V} = E$ et $i = 0\ \text{A}$.

PIÈGE
Lire chaque courbe sur son propre axe : tension à gauche, intensité à droite. La courbe (b) part de la même hauteur que le palier de (a), mais elle se lit 0,50 A et non 5,0.

1.5.2 En déduire, en régime permanent, la valeur de la charge q du condensateur définie sur la figure 4.

Données utiles $C = 100 \times 10^{-12}$ F ; $u_C = 5{,}0$ V (1.5.1)

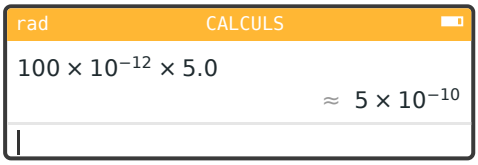
La charge de l'armature désignée par q sur la figure 4 est $q = C\,u_C$, avec $u_C = E$ en régime permanent :

$$q = C\,E = 100 \times 10^{-12} \times 5{,}0 = 5{,}0 \times 10^{-10}\ \text{C}$$

$q = 5{,}0 \times 10^{-10}$ C, soit 0,50 nC.

COMPRENDRE
Sur la figure 4, la flèche u_C pointe vers l'armature qui porte q : avec cette convention, $q = C\,u_C$ sans signe moins. L'autre armature porte la charge opposée $-q$.

À LA CALCULATRICE



2.1 D'après le texte encadré, comment se nomment les parties de l'accéléromètre correspondant aux armatures mobile et fixe ?

Le texte décrit deux pièces complémentaires qui ne se touchent pas : l'une, fixe, forme le cadre ; l'autre se déplace à l'intérieur de ce cadre lors d'un choc.

Armature mobile : le peigne mobile ; armature fixe : le cadre.

2.2.1 Parmi les deux expressions proposées de la capacité C en fonction de la distance d entre les armatures, a) $C = k \cdot d$ et b) $C = \dfrac{k}{d}$, choisir en justifiant celle qui peut convenir.

Lors du choc, les armatures se rapprochent (d diminue) et la capacité augmente : C est une fonction décroissante de d.

Avec $C = k \cdot d$, la capacité diminuerait en même temps que d. Avec $C = \dfrac{k}{d}$, elle augmente quand d diminue.

Seule la proposition b) peut convenir : $C = \dfrac{k}{d}$.

2.2.2 Donner l'expression de la tension u_C aux bornes du condensateur et de la charge q du condensateur avant le choc, en fonction de E.

La résistance étant considérée comme nulle, la tension à ses bornes est nulle : le condensateur est branché directement aux bornes d'un générateur de tension E. La loi des mailles donne $u_C = E$.

La charge est alors $q = C\,u_C$.

Avant le choc : $u_C = E$ et $q = C\,E$.

COMPRENDRE
Même sans négliger R, on aurait $u_C = E$ avant le choc : le circuit est en régime permanent, $i = 0$, donc la tension $R\,i$ aux bornes de la résistance est nulle.

2.2.3 Justifier que la tension aux bornes du condensateur n'est pas modifiée par le choc. En déduire que le choc a pour effet de faire augmenter la charge q du condensateur.

Le condensateur reste relié aux bornes de la pile, dont la force électromotrice E ne dépend pas de la position des armatures. Comme la résistance est nulle, on a à chaque instant $u_C = E$: la tension n'est pas modifiée par le choc.

Or $q = C\,u_C = C\,E$. Pendant le choc, C augmente alors que E reste constante.

$u_C = E$ reste constante et C augmente, donc $q = C\,E$ augmente pendant le choc.

PIÈGE
Raisonner à charge constante. Le condensateur n'est pas isolé : c'est la tension qui est imposée par la pile, et la charge qui s'ajuste.

2.3 Sur le schéma de la figure 6 de l'annexe, indiquer le sens de déplacement des électrons dans le circuit engendré par la variation de charge q du condensateur.

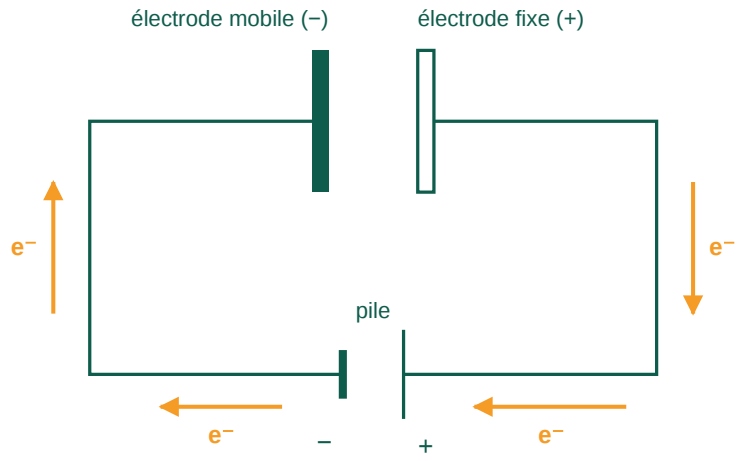
L'électrode fixe, reliée à la borne $+$ de la pile, porte la charge $q > 0$; l'électrode mobile, reliée à la borne $-$, porte $-q$.

Quand q augmente, l'électrode fixe perd des électrons et l'électrode mobile en gagne autant.

Les électrons quittent l'électrode fixe, traversent les fils et la pile, et arrivent sur l'électrode mobile.

PIÈGE
Faire traverser aux électrons l'espace entre les deux électrodes : c'est un isolant. Ils circulent uniquement dans les fils et la pile.

COMPRENDRE
Le courant, de sens conventionnel opposé à celui des électrons, sort de la borne $+$ de la pile et arrive sur l'électrode fixe, comme lors de la charge initiale.



2.3 · Figure 6 schématisée : sens de déplacement des électrons pendant le choc (en orange)

2.4 Donner la relation entre l'intensité i du courant et la charge q du condensateur. Choisir l'affirmation qui convient : le gonflage de l'airbag est commandé par la détection d'une variation a) de tension aux bornes du condensateur, b) d'intensité du courant dans le circuit, c) de tension aux bornes du générateur.

Avec les orientations de la figure 4 (le courant arrive sur l'armature qui porte q) : $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$.

Hors choc, q est constante, donc $i = 0$. Pendant le choc, q augmente : $\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} > 0$, un courant apparaît dans le circuit.

En revanche, la tension aux bornes du générateur reste égale à E, et celle aux bornes du condensateur aussi (2.2.3) : les propositions a) et c) sont écartées.

$i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$; proposition b) : le circuit détecte une variation d'intensité du courant.

COMPRENDRE

L'intensité est d'autant plus grande que la charge varie vite, donc que le choc est brutal. Un déplacement lent du peigne produit un courant trop faible pour déclencher l'airbag.