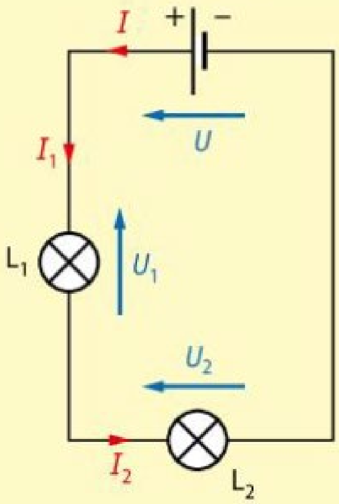
Avant d'aborder le chapitre

LES ACQUIS INDISPENSABLES

Seconde — 1re Enseignement de spécialité

- La tension et l'intensité du courant vérifient les lois des circuits électriques.

circuit série



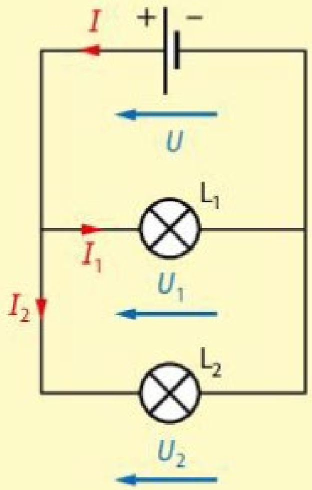
Loi d'unicité de l'intensité

$I = I_1 = I_2$

Loi d'additivité des tensions

$U = U_1 + U_2$

circuit en dérivation



Loi d'unicité des tensions

$U = U_1 = U_2$

Loi d'additivité des intensités

$I = I_1 + I_2$

- Un conducteur ohmique est caractérisé par sa résistance électrique R qui s'exprime en ohm (Ω). Elle vérifie la loi d'Ohm :

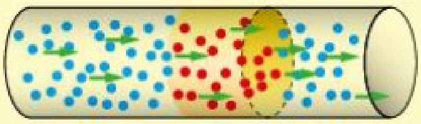
$$U = R \cdot I$$

tension (en **V**) ; résistance (en Ω) ; intensité (en **A**)

- Les conducteurs contiennent des **porteurs de charges** libres de se déplacer : les électrons libres dans les métaux, les ions dans les solutions.

- Lorsqu'ils sont soumis à une tension électrique, les porteurs de charges se déplacent de façon **ordonnée**.

- Le **débit de charges électriques** est appelé **intensité du courant électrique** :

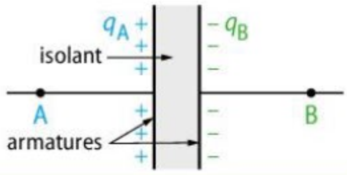


$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

intensité du courant électrique (en **A**) ; charge électrique traversant une section du circuit (en **C**) ; pendant une durée Δt (en **s**)

1 Le modèle du condensateur

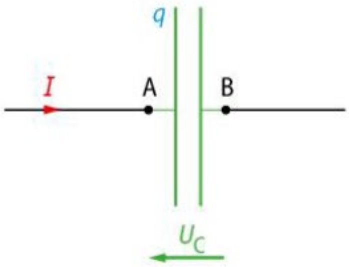
Un **condensateur** est composé de deux armatures chargées électriquement et d'un isolant.



La charge électrique q stockée par le condensateur est liée à l'intensité I du courant qui traverse le condensateur et à la tension u à ses bornes :

intensité du courant (**A**) → $\boldsymbol{i = \frac{dq}{dt}}$ ← charge électrique (**C**) → $\boldsymbol{q = C \cdot u}$ ← tension (**V**)

capacité du condensateur (**F**)

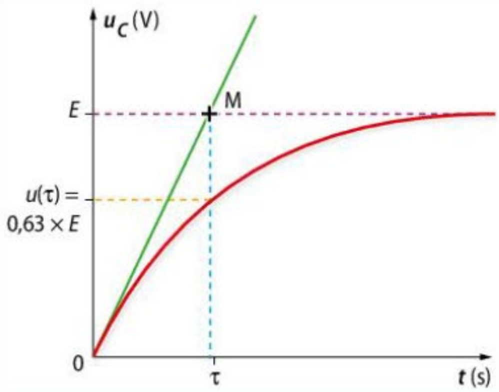
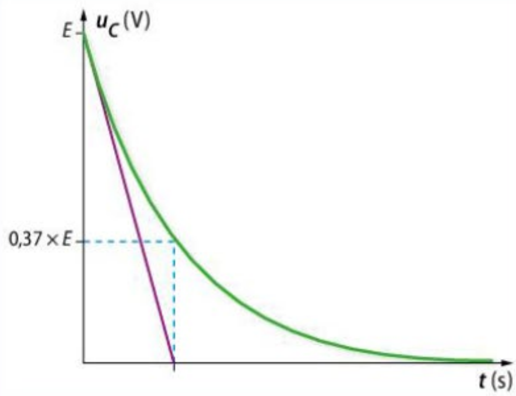


La **capacité** d'un condensateur dépend de sa géométrie et sa structure. Cette propriété explique le fonctionnement des **capteurs capacitifs**.

Le **comportement capacitif** d'un dipôle se traduit par une avance de phase de l'intensité sur la tension à ses bornes.

2 Le modèle du circuit RC série

Un **circuit RC série** est caractérisé par un régime transitoire au cours duquel le condensateur se charge ou se décharge progressivement.

	Modélisation de la charge du condensateur	**Modélisation de la décharge du condensateur**
Équation différentielle	$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} u_C = \frac{E}{R \cdot C}$	$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot u_C = 0$
Solution	Si pour $t = 0$, $u_C = 0$, alors : $u_C(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$	Si pour $t = 0$, $u_C = E$, alors : $u_C(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$
Représentation graphique		

La **constante de temps** τ d'un condensateur se mesure en farad (symbole F) et permet d'évaluer l'ordre de grandeur de la durée de charge ou de décharge. Elle est égale à :

temps caractéristique (**s**) → $\boldsymbol{\tau = R \cdot C}$ ← capacité du condensateur (**F**) ; résistance (**Ω**)

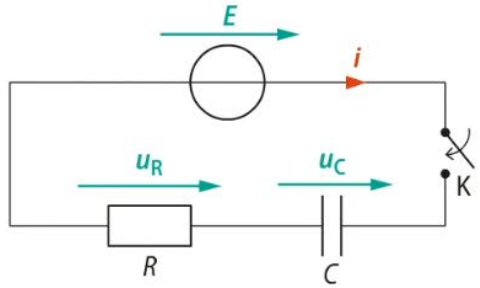
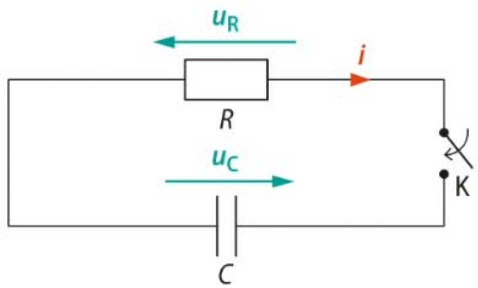
Essentiel

Dynamique des systèmes électriques

CONDENSATEUR

Relation courant-tension :

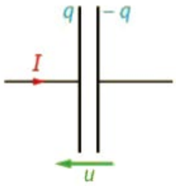
$$i = C\frac{\mathrm{d}u_{AB}}{\mathrm{d}t}$$

CIRCUIT RC	En charge	En décharge
Schéma		
Équation différentielle	$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{u_C}{RC} = \frac{E}{RC}$	$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{u_C}{RC} = 0$
Condition initiale	Condensateur déchargé : $u_C(t=0)=0$	Condensateur chargé : $u_C(t=0)=U_0$
Solution	$u_C(t) = E(1 - \mathrm{e}^{-t/RC})$	$u_C(t) = U_0\mathrm{e}^{-t/RC}$
Temps caractéristique d'évolution τ	Graphiquement, c'est la durée au bout de laquelle la tangente à l'origine à la courbe $u_C(t)$ croise son asymptote horizontale.	
	$\tau = RC$	
	$u_C(\tau) \approx 0{,}63E$	$u_C(\tau) \approx 0{,}37U_0$
	On considère la charge ou la décharge terminée au bout de 5τ environ.	

1 Le modèle du condensateur

	A	B	C
1 Un condensateur est un dipôle :	constitué de deux armatures isolantes.	qui comporte deux armatures conductrices séparées par un isolant.	dont les deux armatures sont en contact.
2 Un condensateur est un dipôle :	qui s'oppose au passage du courant.	qui peut stocker des charges électriques sur ses armatures.	dont la charge d'une des armatures reste toujours nulle.

On considère le condensateur de capacité C schématisé ci-contre :

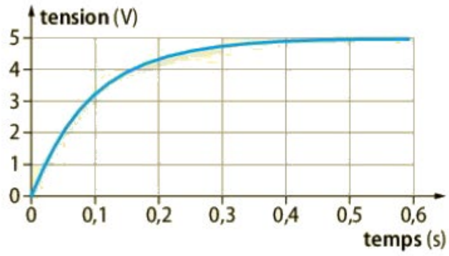


	A	B	C
3 La charge portée par l'armature B est :	positive.	négative.	nulle.
4 La charge portée par l'armature A s'écrit :	$\frac{C}{u}$	$\frac{u}{C}$	$C \cdot u$
5 L'intensité du courant s'écrit :	$i = C \cdot \frac{du}{dt}$	$i = -\frac{dq_A}{dt}$	$i = -C \cdot \frac{du}{dt}$

2 Le modèle du circuit RC série

	A	B	C
6 Lors de la charge d'un condensateur, la tension à ses bornes :	tend vers 0.	augmente.	reste constante.
7 La durée de charge d'un condensateur dépend :	de la valeur de sa capacité *C*.	de la valeur de la résistance *R* du circuit.	de la valeur de la tension délivrée par le générateur.
8 Avec $R = 10$ kΩ et $C = 100$ nF, l'ordre de grandeur du temps caractéristique du circuit vaut :	$\tau = 10^3$ s.	$\tau = 10^{-3}$ s.	$\tau = 10^1$ s.

On enregistre la tension aux bornes d'un condensateur lors de sa charge par une tension continue.



	A	B	C
9 La durée nécessaire pour charger le condensateur :	ne dépend que de la valeur de la capacité *C* du condensateur.	dépend à la fois de la résistance *R* et de la capacité *C*.	ne dépend que de la valeur de la résistance *R* du conducteur ohmique.
10 Le temps caractéristique de ce circuit RC vaut :	0,1 s.	0,5 s.	20 ms.

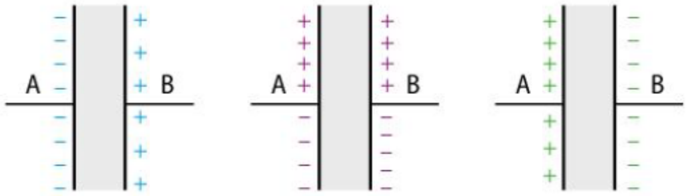
15 Armatures chargées

Un condensateur possède deux armatures A et B. L'armature A porte une charge électrique $q_A = 4{,}8\ \mu C$.

1. Que vaut la charge électrique portée par l'armature B ?

2. a. L'armature B possède-elle un excès ou un défaut d'électrons ?

b. Lequel de ces schémas représente correctement l'état électrique de ce condensateur ?

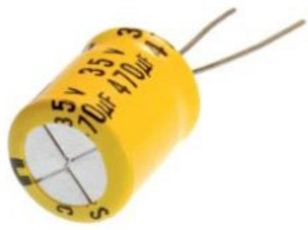


A B C

3. Déterminer le signe de la tension u_{AB} entre les deux armatures.

17 Capacité d'un condensateur

Un condensateur initialement déchargé est relié à un courant d'intensité constante I égale à 12 mA.



Au bout d'une minute, la tension aux bornes de ce condensateur vaut 1,5 V.

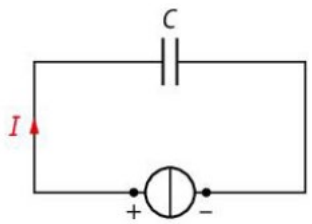
1. a. Calculer la valeur de la capacité de ce condensateur.

b. Ce résultat est-il cohérent avec la photographie ci-contre ?

2. Est-ce une valeur courante pour un condensateur ?

18

On réalise le circuit schématisé ci-contre afin de chargé un condensateur de capacité C avec un générateur de courant d'intensité constante $I = 1{,}0$ mA.



On mesure la tension aux bornes du condensateur avec un voltmètre à différents instants. On obtient les résultats suivants.

t (en s)	0	10	20	30	40	60
u_C (en V)	0	23	51	76	98	152

1. Reproduire le schéma du circuit électrique en faisant apparaître le voltmètre permettant la mesure de u_C et de l'intensité du courant délivré par le générateur.

2. a. Représenter le graphique des variations de u_C en fonction du temps.

b. Quelle information apporte ce graphique ?

c. En déduire la valeur de la capacité du condensateur utilisé.

19 Durée de charge maximale

Un condensateur porte les indications suivantes :

tension de service 42 V – capacité 330 µF

Il est chargé par un générateur de courant qui délivre une intensité de 2,0 mA.

Que vaut la durée de charge maximale qui permet de rester dans la limite de fonctionnement du composant ?

20 Tension aux bornes d'un condensateur

La tension aux bornes d'un condensateur dans un circuit RC série s'écrit :

$$u_C(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$$

1. Expliquer quelle est la signification de chacun des termes présents dans cette équation et leur unité.

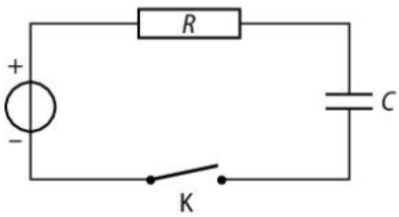
2. a. Pourquoi peut-on dire que u_C est une fonction du temps ?

b. Que vaut u_C lorsque $t = 0$? lorsque t devient très grand ?

3. Cette expression de $u_C(t)$ correspond-elle à charge ou à la décharge du condensateur ?

21 Charge d'un condensateur

On considère le circuit schématisé ci-dessous où le condensateur est déchargé. À l'instant initial, on ferme l'interrupteur.



1. Reproduire le schéma en indiquant le sens du courant et en représentant les tensions E, u_R et u_C.

2. a. Que vaut la tension $u_C(t{=}0)$ à l'instant initial ?

b. Même question lorsque le condensateur sera totalement chargé.

3. Établir l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$.

4. La solution de cette équation différentielle s'écrit :

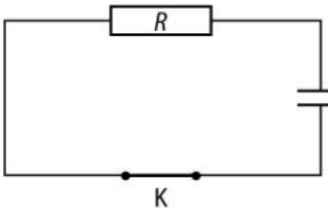
$$u_C(t) = A + B \cdot e^{-C \cdot t}$$

Déterminer les expressions des constantes A, B et C en utilisant les valeurs de u_C à l'instant initial est lorsque le condensateur est totalement chargé.

5. Vérifier que l'expression de u_C ainsi obtenue est bien solution de l'équation différentielle de la question **3**.

22 Décharge d'un condensateur

On considère le circuit schématisé ci-contre où le condensateur est initialement chargé tel que la tension aux bornes du condensateur vaut E.



À l'instant initial, on ferme l'interrupteur et on étudie la décharge du condensateur.

Données : $E = 9{,}0\,V$; $R = 2{,}2\ k\Omega$; $C = 470\ \mu F$

1. a. Rappeler les relations entre u_C et i et u_R et i.
b. En déduire l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$.

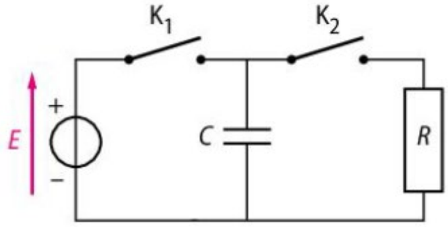
2. Montrer que la fonction $u_C(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$ est solution de cette équation différentielle.

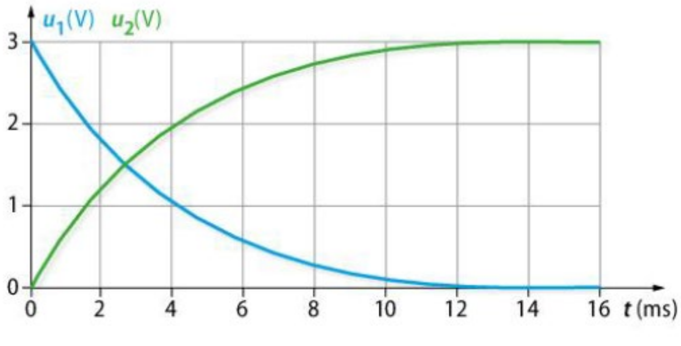
3. a. Vers quelle limite tend $u_C(t)$ lorsque t temps vers l'infini ?
b. Estimer la durée nécessaire pour atteindre cette valeur limite à partir du calcul de la valeur du temps caractéristique τ.
c. Représenter l'allure de la courbe $u_C(t)$.

23 Réponse d'un circuit RC

On réalise un circuit RC série et on procède à la charge puis à la décharge du condensateur.

Un dispositif d'acquisition informatisé permet d'enregistrer les variations de u_C en fonction du temps. On obtient les résultats suivant.





Données : $R = 3{,}3\ k\Omega$ et $C = 60\ \mu F$

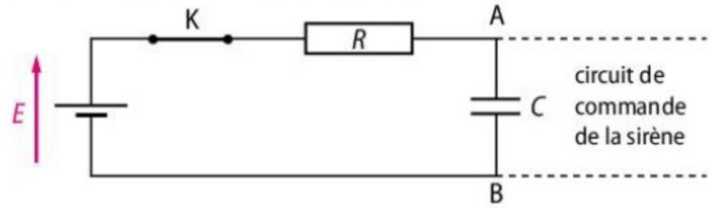
1. Reproduire le schéma du circuit en indiquant le sens du courant, la tension u_C ainsi que les bornes de connexion du dispositif d'acquisition.

2. a. Que vaut la tension E délivrée par le générateur ?
b. Identifier quelle courbe correspond à la charge et à la décharge du condensateur.

3. a. Déterminer graphiquement la valeur du temps caractéristique τ de ce circuit.
b. Ce résultat est-il cohérent avec les valeurs de R et de C données ?

32 Système d'alarme

Lorsque l'on rentre dans un logement sous alarme, il faut disposer d'une durée suffisante pour désactiver le dispositif sans qu'il se déclenche. Pour cela certains dispositifs utilisent la charge d'un condensateur. La situation est alors modélisée par le circuit ci-dessous.



L'ouverture de la porte du logement à l'instant initial déclenche la charge du condensateur. Le circuit de commande déclenche la sirène dès que le condensateur est chargé.

Données : $R = 47\ k\Omega$; $C = 1{,}1 \times 10^3\ \mu F$; $E = 9{,}0\ V$

DÉMARCHE AVANCÉE

Évaluer la durée dont dispose l'utilisateur pour désactiver le système d'alarme et commenter.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Calculer la constante de temps τ de ce circuit.

2. À partir de combien de τ peut-on considérer qu'un condensateur est chargé ? En déduire la durée dont dispose l'utilisateur pour désactiver l'alarme.

3. Cette durée vous semble-t-elle suffisante ?

Faire le point avant d'aller plus loin

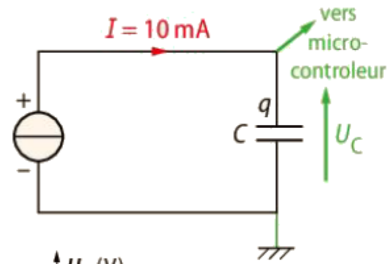
PRÉPA BAC

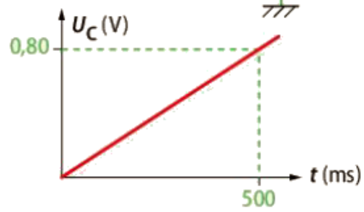
Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

- Citer les différents éléments qui constituent un condensateur.
- Énoncer le lien entre débit de charge et intensité du courant électrique.
- Identifier des exemples du quotidien où il y a accumulation de charges de signes opposés sur des surfaces en regard.
- Citer des ordres de grandeur de valeurs de capacités usuelles.
- Nommer les grandeurs et les unités dans la relation : $q = C \cdot u$
- Expliquer le principe de fonctionnement de quelques capteurs capacitifs.
- Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge s'écrit : $\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC}u_C = \frac{E}{RC}$
- Rappeler l'expression du temps caractéristique du circuit RC série.

25 Charge d'un condensateur à intensité constante

Afin d'évaluer la capacité d'un condensateur, on réalise le circuit ci-contre où le générateur débite un courant d'intensité constante. Un microcontrôleur permet d'enregistrer la tension u_C en fonction du temps.





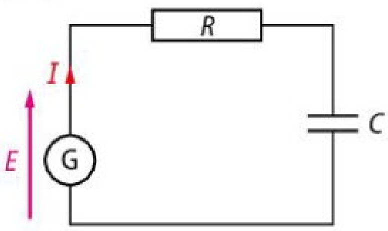
1. Écrire la relation entre l'intensité I du courant, la charge q portée par l'armature du condensateur et la durée de charge Δt.

2. Écrire la relation entre la charge électrique q, la capacité C du condensateur et la tension u_C.

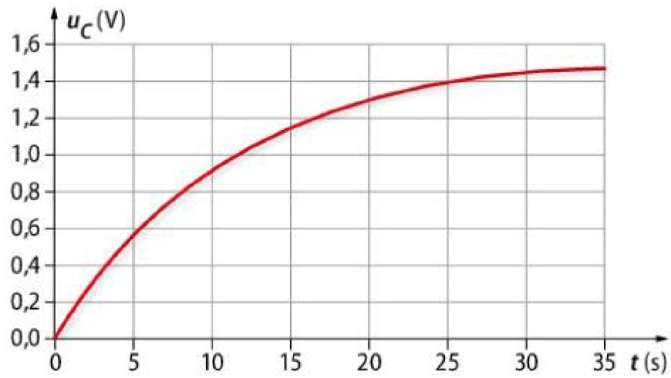
3. a. Calculer la valeur de la charge électrique q portée par l'armature pour une durée de 500 ms.

b. En déduire la valeur de la capacité C du condensateur utilisé.

26 Charge d'un condensateur et constante de temps



On étudie à partir du circuit ci-contre la charge d'un condensateur couramment utilisé pour réaliser des filtres audio. On enregistre les valeurs de la tension u_C aux bornes du condensateur :



1. Établir l'équation différentielle vérifiée par u_C lors de la charge du condensateur.

2. La solution de cette équation est : $u_C(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$.

a. Établir l'expression de τ et montrer que τ est homogène à un temps.

b. En déduire la valeur de τ.

3. Déterminer graphiquement la valeur de τ et comparer à la valeur calculée.

Données : *$R = 1{,}0$ MΩ ; $C = 10$ μF ; $E = 1{,}5$ V.*

30 CORRIGÉ 40 min

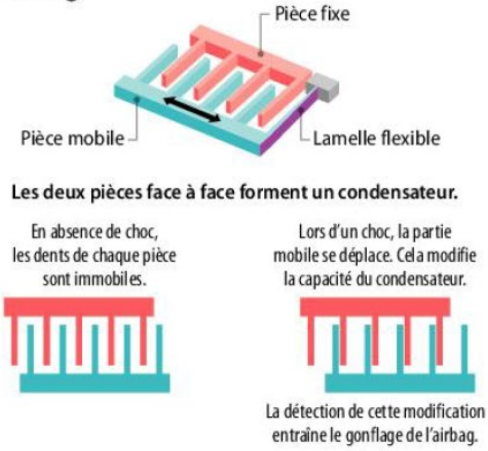
Airbag et condensateur

Exploiter des mesures ; effectuer des calculs ; proposer un modèle.

D'après Baccalauréat France métropolitaine, 2009

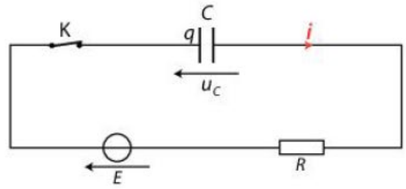
Les accéléromètres sont utilisés dans les voitures pour détecter des variations brutales de vitesse liées à des chocs et déclencher des airbags.
Un accéléromètre capacitif est constitué de deux pièces en forme de peignes, sans contact entre elles (schémas **A**).

A Fonctionnement de l'accéléromètre et déclenchement d'un airbag

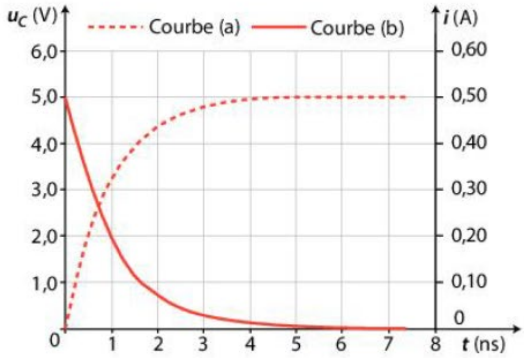


B Circuit permettant l'étude du principe du capteur

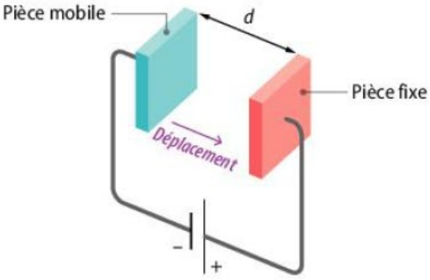
Un condensateur de capacité $C = 100$ pF, initialement déchargé, est associé à une source de tension et à un conducteur ohmique.



C Grandeurs électriques après fermeture de l'interrupteur K du circuit B à $t = 0$ s



D Rapprochement des armatures lors d'un choc



Partie I Comportement en l'absence de choc

La mise sous tension de l'accéléromètre revient à fermer l'interrupteur K du circuit **B**. Le condensateur est déchargé avant cette fermeture.
À l'instant $t = 0$, on ferme cet interrupteur.

1. Le condensateur du circuit **B** possède-t-il une capacité usuelle ?

2. Sur le graphique **C**, identifier, en justifiant qualitativement, la courbe correspondant à la tension u_C et celle correspondant à l'intensité i.

3. a. Déterminer graphiquement le temps caractéristique de la charge du dipôle *RC*.
b. Comparer ce temps à la durée d'un choc de l'ordre de 200 ms.

4. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa charge.

5. La résoudre en faisant apparaître le temps caractéristique.

6. En déduire un ordre de grandeur de R.

7. Montrer que le graphique du document **C** permet de retrouver cet ordre de grandeur.

Partie II Comportement en cas de choc

Le rapprochement des deux armatures provoqué par un choc entraîne une augmentation de la capacité du condensateur (schéma **D**).

1. Parmi les deux propositions suivantes, choisir en justifiant celle qui peut convenir.

(a) $C = k \times d$ (b) $C = \dfrac{k}{d}$

2. Rappeler l'expression de la tension u_C aux bornes du condensateur et de la charge électrique q du condensateur avant le choc, en fonction de E (on pourra s'aider d'un schéma du circuit).

3. Montrer que lors d'un choc, des charges électriques sont mises en mouvement dans le circuit électrique, et identifier le sens de leur déplacement.