

Chapitre 6 : Le condensateur et ses applications



Prérequis

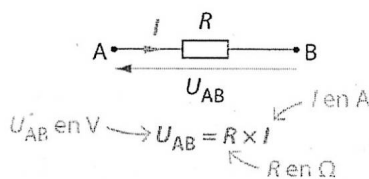
Débit de charge électrique :

$$I \text{ en A} \rightarrow I = \frac{Q}{\Delta t} \leftarrow \begin{array}{l} Q \text{ en C} \\ \Delta t \text{ en s} \end{array}$$

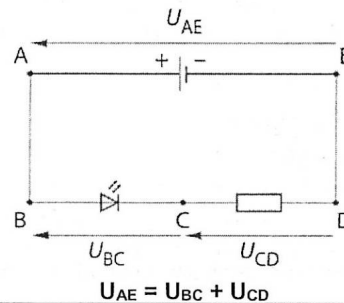
Intensité dans un circuit en série :

L'intensité du courant électrique est la même en tout point d'une portion de circuit comportant des dipôles associés en série.

Loi d'Ohm :



Loi des mailles :



Test éclair

Indiquer la bonne réponse

	A	B	C
1. Un conducteur ohmique de résistance 250Ω est parcouru par un courant d'intensité égale à 10 mA . La tension à ses bornes est :	2,5 V	25 V	0,04 V.
2. Ci-dessous, UCB est égale à :	0 V	3,0 V	-3,0 V
3. Dans le circuit de la question précédente, l'intensité du courant dans la DEL :	Est deux fois plus grande que celle dans chaque pile électrique.	Est la même que celle dans chaque pile électrique.	Est deux fois plus petite que celle dans chaque pile électrique.

Éléments de programme à maîtriser

Savoirs :

- Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges.
 - o Quelle est la relation reliant l'intensité du courant et le débit de charges ? Préciser les unités.
- Identifier des situations variées où il y a accumulation de charges de signes opposés sur des surfaces en regard.
 - o Qu'est-ce que le comportement capacitif ?
- Citer des ordres de grandeur de valeurs de capacités usuelles.
 - o Quelles sont l'ordre de grandeur des capacités usuelles (en citer deux).

Savoir-faire

- Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge par une source idéale de tension et dans le cas de sa décharge.
- Expliquer le principe de fonctionnement de quelques capteurs capacitifs.

Capacité expérimentale pour ECE

- Identifier et tester le comportement capacitif d'un dipôle.
- Illustrer qualitativement, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur, d'un multimètre ou d'une carte d'acquisition, l'effet de la géométrie d'un condensateur sur la valeur de sa capacité.
- Étudier la réponse d'un dispositif modélisé par un dipôle RC.
- Déterminer le temps caractéristique d'un dipôle RC à l'aide d'un microcontrôleur, d'une carte d'acquisition ou d'un oscilloscope.

I) L'intensité du courant électrique

Un courant électrique correspond à un déplacement de charges électriques.

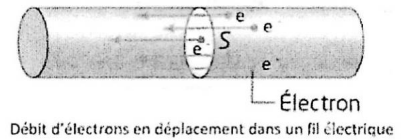
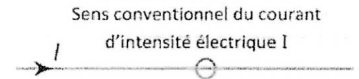
En régime permanent (stationnaire) indépendant du temps, lorsqu'une quantité de charge Q traverse une section de conducteur pendant une durée Δt , l'intensité du courant est donnée par :

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \text{ avec } I \text{ en Ampère (A), } Q \text{ en Coulombs (C) et } \Delta t \text{ en seconde (s)}$$

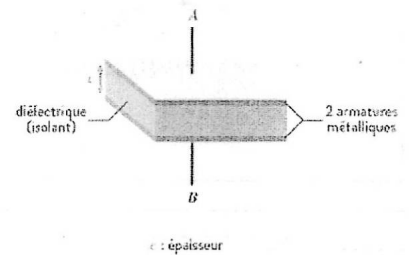
En régime variable, c'est-à-dire dépendant du temps, l'intensité d'un courant électrique est la dérivée par rapport au temps de la charge électrique q circulant :

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ avec } i \text{ en Ampère (A), } q \text{ en Coulombs (C) et } \Delta t \text{ en seconde (s)}$$

Remarque : Conventionnellement, les lettres minuscules (u , i , q) sont utilisées pour le régime variable et les lettres majuscules (U , I , Q) pour le régime permanent.



Schématisation d'un condensateur plan

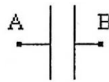


II) Le condensateur

1. Définitions

Un **condensateur** est constitué de deux armatures conductrices face à face, séparées par un isolant (air, papier, céramique) appelé diélectrique : il accumule de l'énergie lorsqu'il se charge et la restitue quand il se décharge. S'il existe une tension électrique entre ses armatures, des charges électriques s'y accumulent. C'est le comportement **capacitif**.

Symbole électrique du condensateur :

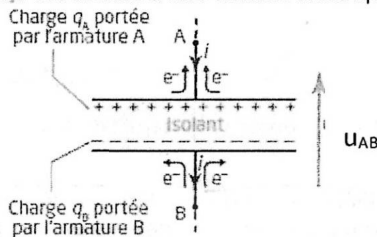


Le condensateur est caractérisé par sa **capacité électrique C** et exprimé en farads (symbole : F).

Remarque : Les condensateurs usuels ont des capacités de quelques microfarads ($1\mu F = 10^{-6} F$) ou nanofarads ($1nF = 10^{-9} F$).

2. Relation entre les grandeurs d'un condensateur

Lorsqu'il est soumis à une tension électrique non nulle, des charges électriques s'accumulent sur les armatures :



La charge q portée par l'armature positive est donnée par la relation :

Relation charge-tension

$$q = C \times U_{AB}$$

q : charge électrique, en coulombs (C)
 C : capacité du condensateur, en farads (F)
 U_{AB} : tension aux bornes du condensateur, en volts (V)

https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_fr.html

La géométrie du condensateur a un impact fort sur sa capacité. Ainsi, pour une tension électrique donnée :

- La capacité C augmente quand la surface des armatures augmente.
- La capacité C augmente quand la distance entre les armatures diminue.
- La capacité C dépend de la nature de l'isolant entre les deux plaques.

On s'intéresse maintenant à la relation intensité-tension du condensateur. En convention récepteur, la relation caractéristique d'un condensateur idéal est :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(C \times u_C)}{dt} \text{ soit}$$

Relation intensité-tension

$$i = C \times \frac{du_C}{dt}$$

i : intensité du courant électrique qui passe par le condensateur, en ampères (A)
 u_C : tension aux bornes du condensateur, en volts (V)
 C : capacité électrique du condensateur, en farads (F)

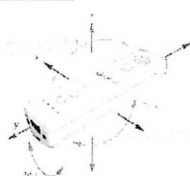
3. Capteurs capacitifs

L'effet capacitif est utilisé dans de nombreux capteurs afin de mesurer différentes grandeurs physiques. Pour cela, la grandeur physique que l'utilisateur souhaite mesurer doit être reliée à la valeur de la capacité C du condensateur (capteur).

Capteurs capacitifs à effet mécanique

Le déplacement d'une électrode par rapport à l'autre modifie la capacité du condensateur.

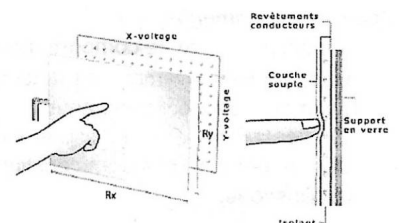
Exemple : Capteurs pression ou accéléromètre



Capteurs capacitifs liés aux caractéristiques de l'isolant

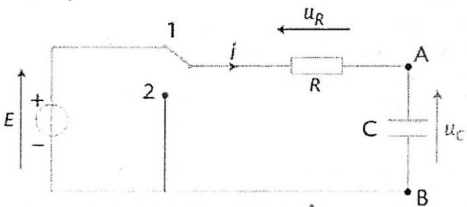
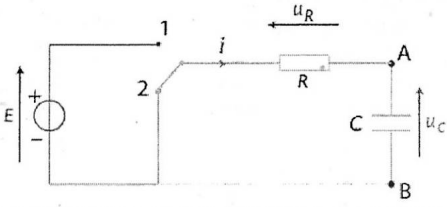
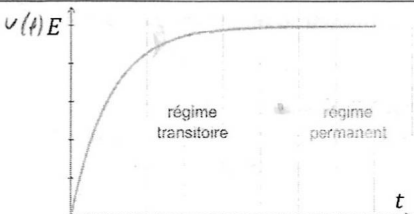
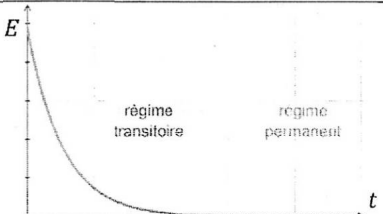
La modification des caractéristiques du milieu entre les deux électrodes modifie la capacité du condensateur

Exemple : Capteurs de proximité ou d'humidité



III) Modèle du circuit RC série

Un dipôle RC est constitué de l'association en série d'un condensateur de capacité C et d'un dipôle ohmique de résistance R.

Cas de la charge	Cas de la décharge
Schéma du circuit électrique	
<p>Initialement le condensateur est déchargé $u_C = 0$ V et l'interrupteur est en position 2. A la date $t = 0$ s, l'interrupteur est basculé en position 1.</p> 	<p>Initialement le condensateur est chargé $u_C = E$ et l'interrupteur est en position 1. A la date $t = 0$ s, l'interrupteur est basculé en position 2.</p> 
Etablissement de l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ notée plus simplement u_C	
<p>D'après la loi des mailles : $u_R + u_C = E$ Or, $u_R = R \times i$ et $i = C \times \frac{du_C}{dt}$ On en déduit l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa charge</p> $R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$ <p>On divise l'ensemble de l'équation par $R \times C$:</p> $\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{R \times C} = \frac{E}{R \times C}$ $\frac{du_C}{dt} = -\frac{u_C}{R \times C} + \frac{E}{R \times C}$	<p>D'après la loi des mailles : $u_R + u_C = 0$ Or, $u_R = R \times i$ et $i = C \times \frac{du_C}{dt}$ On en déduit l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa décharge</p> $R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$ <p>On divise l'ensemble de l'équation par $R \times C$:</p> $\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{R \times C} = 0$ $\frac{du_C}{dt} = -\frac{u_C}{R \times C}$
Détermination de la solution de l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C	
Les solutions d'une équation différentielle $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$) sont de la forme $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec K la constante d'intégration	
Les solutions de l'équation différentielle lors de la charge :	Les solutions de l'équation différentielle lors de la décharge :
$u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$	$u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$
Pour déterminer la constante d'intégration K, il faut utiliser les conditions initiales de la charge ou de la décharge	
<p>Le condensateur est initialement déchargé ($q_A(0)=0$). A $t = 0$ s, la tension aux bornes du condensateur est donc nulle :</p> $u_C(0) = \frac{q_A(0)}{C} = 0$ $0 = K \times e^{-\frac{0}{R \times C}} + E$ $K = -E$ <p>La solution de l'équation différentielle est donc :</p> $u_C = -E \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$ $u_C = E \times (1 - e^{-\frac{t}{R \times C}})$	<p>Le condensateur est initialement chargé ($u_C(0)=E$). A $t = 0$ s, la tension aux bornes du condensateur est donc E :</p> $u_C(0) = E$ $E = K \times e^{-\frac{0}{R \times C}}$ $K = E$ <p>La solution de l'équation différentielle est donc :</p> $u_C = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$
Allure de la courbe donnant la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps	
	

Temps caractéristique

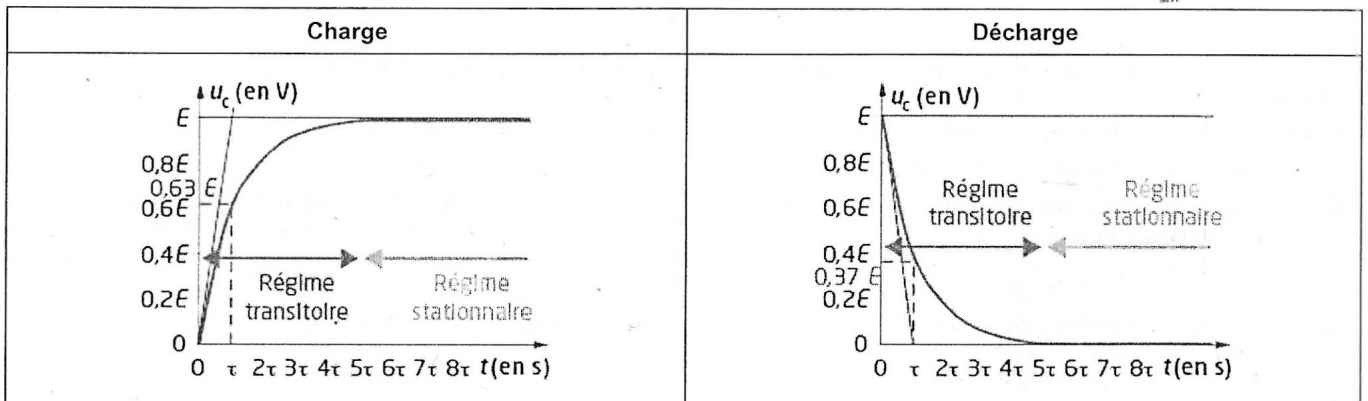
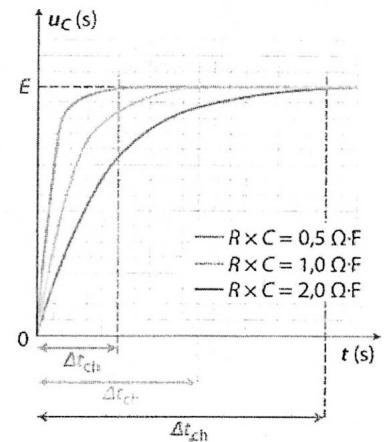
Les équations précédentes montrent que u_c dépend du produit $R \times C$.

Plus $R \times C$ est grand et plus la durée de charge Δt_{charge} (ou de décharge $\Delta t_{\text{décharge}}$) est grande.

Le temps caractéristique τ de la charge ou de la décharge d'un dipôle RC, aussi appelé constante de temps, est défini par :

$$\tau = R \times C \text{ avec } C \text{ en farads (F), } \tau \text{ en seconde (s) et } R \text{ en ohm } (\Omega)$$

- τ permet de déterminer la durée de la charge ou de la décharge d'un dipôle RC. En effet, la solution de l'équation différentielle montre que pour une durée de 5τ , la tension u_c a atteint sa valeur finale (E en charge ou 0 V en décharge) avec un écart de moins de 1 %. Le régime variable, appelé régime transitoire, est alors considéré comme terminé. Il est remplacé par un régime permanent stationnaire (u_c et i sont devenues constantes).



- Il est possible de déterminer graphiquement le temps caractéristique τ grâce à plusieurs méthodes.

Les méthodes graphiques de détermination du temps caractéristique τ nécessitent l'exploitation de la solution de l'équation différentielle vérifiée par la tension u_c aux bornes du condensateur lors d'une charge ou d'une décharge.

Méthode 1 : Tangente à l'origine : Le point d'intersection de la tangente à l'origine et de l'asymptote a pour abscisse τ .

Méthode 2 : 63% pour la charge | 37% pour la décharge

- Lors de la charge, la tension aux bornes du condensateur atteint 63% de sa valeur maximale au bout d'une durée τ ;
- Lors de la décharge, la tension aux bornes du condensateur atteint 37% de sa valeur maximale au bout d'une durée τ .

Méthode 3 : 5τ : Pour une durée égale à 5τ , le régime stationnaire est atteint.