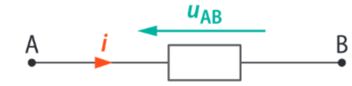
❶ RÉGIME VARIABLE EN ÉLECTRICITÉ

➢ *Rappels sur la tension d'un dipôle et l'intensité du courant*

La tension u_{AB} entre les bornes A et B d'un dipôle est une grandeur algébrique exprimée en **Volts (V)**
Le courant électrique est symbolisé par une flèche située sur le fil. L'intensité i du courant électrique, exprimée en **Ampère (A),** est une grandeur algébrique associée à un débit de charges électriques.



Doc. 1 En convention récepteur, les flèches d'intensité et de tension sont dans des sens opposés.

Remarque : Pour un conducteur ohmique, la loi d'Ohm indique que u_{AB} = ***R x I****. où R est la résistance du dipôle en* **ohm (Ω)**

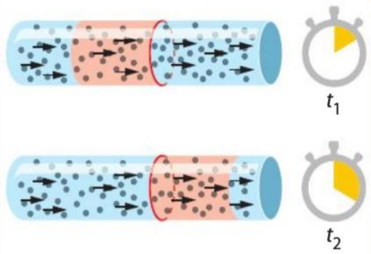
➢ *Qu'est-ce qu'un régime variable ?*

En électricité, le régime est ***variable*** lorsque les tensions et intensités du courant dépendent du temps. À l'inverse, on parle de régime ***permanent***. lorsque ces grandeurs gardent des valeurs constantes.

➢ *Intensité du courant en régime variable*

L'existence d'un courant électrique dans un circuit électrique est due à un déplacement ordonné de porteurs de charges électriques. Dans les matériaux métalliques, ces porteurs de charges sont des **électrons.**
L'intensité du courant électrique correspond au **débit de charges électriques**, c'est-à-dire à la quantité d'électricité qui traverse la surface S du conducteur par seconde.
En courant continu, l'intensité du courant I est constante ainsi que le débit de charges.
En régime variable, l'intensité du courant i(t) peut varier à chaque instant :

A Aspect microscopique du courant électrique



› L'intensité correspond à la quantité de charges ayant traversé la section d'un conducteur pendant une durée Δt.

L'intensité du courant électrique $i(t)$ est la dérivée par rapport au temps de la quantité d'électricité $q(t)$ qui traverse une section du conducteur :

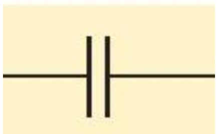
$$\underbrace{i(t)}_{\text{intensité du courant (A)}} = \frac{dq(t)}{dt}$$

$q(t)$: quantité d'électricité (C) ; t : temps (s)

❷ LE CONDENSATEUR

➢ *Qu'est-ce qu'un condensateur ?*

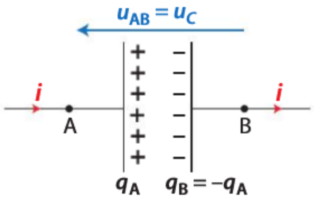
Un condensateur est formé de deux surfaces conductrices, appelées **armatures**, placées face à face et séparées par un matériau isolant appelé **diélectriques**
Dans un circuit électrique, le symbole normalisé d'un condensateur est :



B Condensateurs

➢ ***Comportement d'un condensateur et capacité***

Un condensateur se charge lorsqu'il est soumis à une tension électrique. Le courant électrique circule, ce qui permet à des charges de signes opposés de s'accumuler sur chacune des armatures. Un champ électrique apparait alors et donc une tension $u_{AB} = u_c$.



Par la suite, la tension u_{AB} aux bornes du condensateur sera notée u_C pour alléger les notations.

L'aptitude d'un condensateur à accumuler sur ses surfaces conductrices un grand nombre de charges électriques est appelée **capacité**. Notée C, elle caractérise un condensateur et s'exprime en **farad** (F).

La capacité d'un condensateur est souvent proportionnelle à la surface des armatures en regard et inversement proportionnelle à la distance qui les sépare.

Les condensateurs usuels ont souvent des capacités de quelques **micro**farads ($1\ \mu F = 1 \times 10^{-6}$ F) ou **nano**farads ($1\ nF = 1 \times 10^{-9}$ F).

Exemple de condensateur	Ordre de grandeur de la capacité
Démarrage de moteur électrique	10^{-4} F
Filtrage audio	10^{-5} à 10^{-6} F
Applications électroniques	10^{-7} à 10^{-9} F

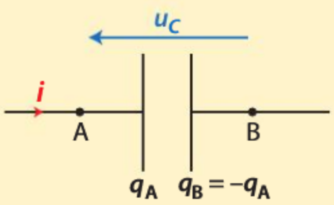
FIG. 4 Capacité de quelques condensateurs.

➢ ***Relation entre charge électrique et tension dans un condensateur***

À tout instant, la charge $q_A(t)$ de l'armature A d'un condensateur, notée plus simplement q_A, est proportionnelle à la tension u_C à ses bornes :

q_A en C ; C en F ; $u_C = u_{AB}$ en V

$$q_A = C \times u_C$$



De plus, l'intensité du courant est la dérivée de la charge électrique q_A par rapport au temps : $i = \frac{dq_A}{dt}$.

Donc $i = \frac{dC}{dt} \times u_C + C \times \frac{du_C}{dt} = 0 + C \times \frac{du_C}{dt}$ car C est une constante.

L'intensité $i(t)$ du courant électrique dans la branche d'un condensateur, notée plus simplement i, s'exprime par :

q_A en C ; u_C en V

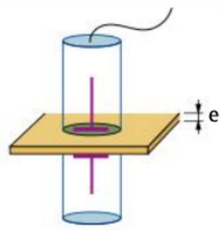
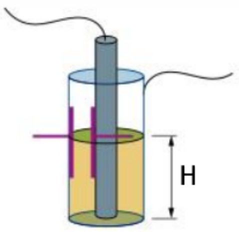
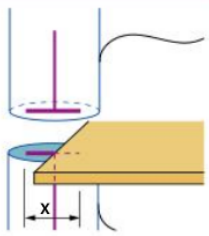
$$i = \frac{dq_A}{dt} = C \times \frac{du_C}{dt}$$

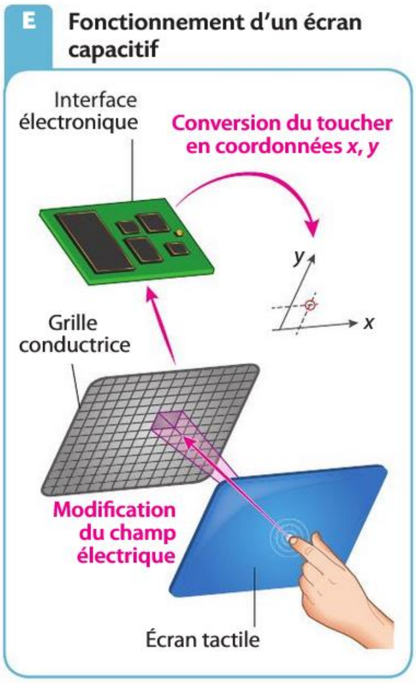
i en A ; C en F ; t en s

- ***Mesure des capacités et applications aux capteurs capacitifs***

La capacité dépend de plusieurs paramètres, en particulier la surface des armatures, l'épaisseur et la nature du matériau isolant entre les armatures.
L'influence de ces grandeurs sur la valeur de la capacité permet d'expliquer le fonctionnement des **capteurs capacitifs**.

Ces dispositifs technologiques sont conçus pour réaliser la mesure de déplacement d'épaisseur, de distance et de position.

Capteur d'épaisseur	Capteur de niveau	Capteur de déplacement
		
Les deux faces du capteur jouent le rôle d'armatures	La paroi de la cuve et la sonde centrale jouent le rôle d'armatures, le liquide n'est pas conducteur	Les deux faces du capteur jouent le rôle d'armatures
La variation d'épaisseur entre les deux surfaces utilisées comme armature	La variation de niveau du liquide qui correspond à un changement de matériaux entre les armatures ...	Le passage d'un objet en déplacement entraîne la variation de la surface des armatures en regard et ...
... provoque une variation de la capacité qui peut être mesurée		



❸ LE MODELE DU CIRCUIT RC SERIE

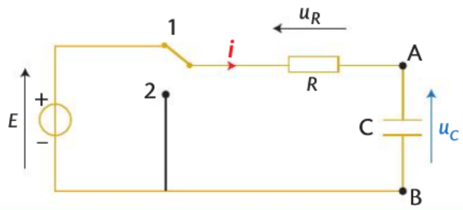
- ***Charge et décharge d'un condensateur***

L'association en série d'un condensateur de capacité C et d'un conducteur ohmique de résistance R constitue un dipôle RC. On parle alors de **circuit RC** série.

[Capsule vidéo]

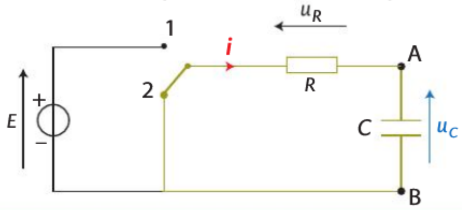
<table>
<tr><th>CAS DE LA CHARGE</th><th>CAS DE LA DÉCHARGE</th></tr>
<tr><th colspan="2">Schéma du circuit électrique</th></tr>
<tr><td>

Un condensateur est initialement déchargé ($u_C = 0$ V), et l'interrupteur est en position 2.
À la date $t = 0$ s, l'interrupteur est basculé en position 1.



</td><td>

Un condensateur est initialement chargé tel que $u_C = E$, et l'interrupteur est en position 1.
À la date $t = 0$ s, l'interrupteur est basculé en position 2.



</td></tr>
<tr><th colspan="2">Établissement de l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ notée plus simplement u_C</th></tr>
<tr><td>

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 :

$$R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

qui s'écrit aussi : $\frac{du_C}{dt} = \frac{-1}{R \times C} \times u_C + \frac{E}{R \times C}$

C'est l'**équation différentielle** vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur lors de sa **charge**.

</td><td>

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 :

$$R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

qui s'écrit aussi : $\frac{du_C}{dt} = \frac{-1}{R \times C} \times u_C$

C'est l'**équation différentielle** vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur lors de sa **décharge**.

</td></tr>
<tr><th colspan="2">Détermination de la solution de l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C</th></tr>
<tr><td colspan="2">

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 une constante d'intégration réelle. Ici, la fonction y est la tension u_C, la variable x est le temps t, la constante a est $-\frac{1}{R \times C}$, la constante b est $\frac{E}{R \times C}$ (charge) ou zéro (décharge).

</td></tr>
<tr><td>

Les solutions de l'équation différentielle sont donc de la forme :

$$u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$$

</td><td>

Les solutions de l'équation différentielle sont donc de la forme :

$$u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$$

</td></tr>
<tr><th colspan="2">Pour déterminer la constante d'intégration K, il faut utiliser les conditions initiales de la charge ou de la décharge du dipôle RC.</th></tr>
<tr><td>

Le condensateur est ici initialement déchargé ($q_A(0) = 0$).
À $t = 0$ s, la tension aux bornes du condensateur est donc nulle :

$$u_C(0) = \frac{q_A(0)}{C} = 0$$

Il vient ainsi : $0 = K \times e^{-\frac{0}{R \times C}} + E$. Or $e^0 = 1$, d'où $K = -E$.
La solution de l'équation différentielle est donc :

$u_C = -E \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$, d'où : $u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$

</td><td>

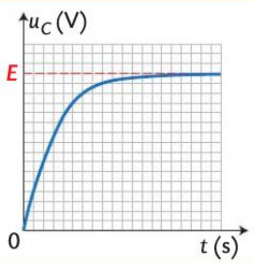
Le condensateur est ici initialement chargé ($u_C(0) = E$).
À $t = 0$ s, la tension aux bornes du condensateur est donc E :

$$u_C(0) = E$$

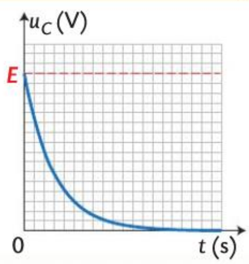
Il vient ainsi : $E = K \times e^{-\frac{0}{R \times C}}$. Or $e^0 = 1$, d'où $K = E$.
La solution de l'équation différentielle est donc :

$$u_C = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$$

</td></tr>
<tr><th colspan="2">Allure de la courbe donnant la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps</th></tr>
<tr><td>



</td><td>



</td></tr>
</table>

➢ *Constante de temps τ d'un circuit RC*

Le produit R · C est appelé **constante de temps** du circuit RC série, il est généralement noté τ. Il est homogène à un temps et s'exprime en seconde (s).

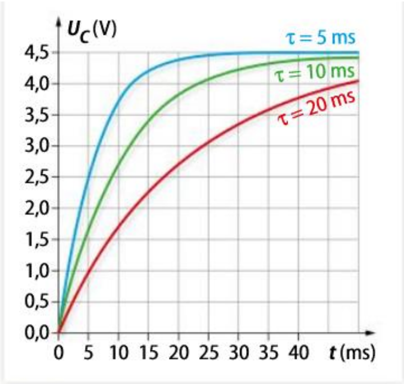


FIG. 11 Influence de la constante de temps sur la charge d'un condensateur.

Analyse dimensionnelle du produit RC :

La résistance R s'exprime en ohm (Ω).

D'après la loi d'Ohm, $R = \frac{u}{i}$, il vient $1\ \Omega = 1\ \mathrm{V \cdot A^{-1}}$.

La capacité C s'exprime en farad (F).

D'après la relation $i = C \times \frac{du_C}{dt}$, on déduit $1\ \mathrm{F} = 1\ \mathrm{A \cdot s \cdot V^{-1}}$.

Donc le produit $R \times C$ s'exprime en $\mathrm{V \cdot A^{-1}} \times \mathrm{A \cdot s \cdot V^{-1}} = \mathrm{s}$.

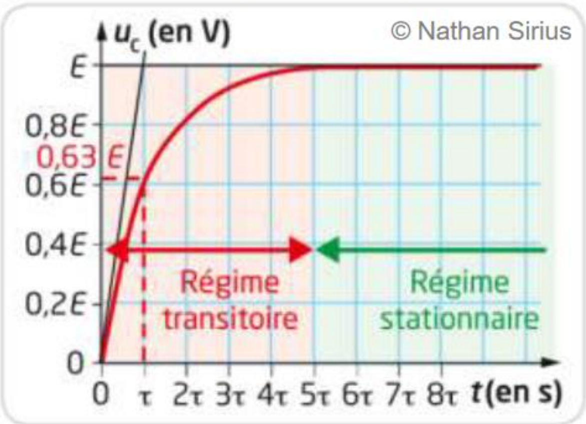
La valeur de la constante de temps τ permet d'évaluer la durée de charge ou de décharge du condensateur. On considère qu'un condensateur est totalement chargé ou déchargé au bout de 5τ**.**

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

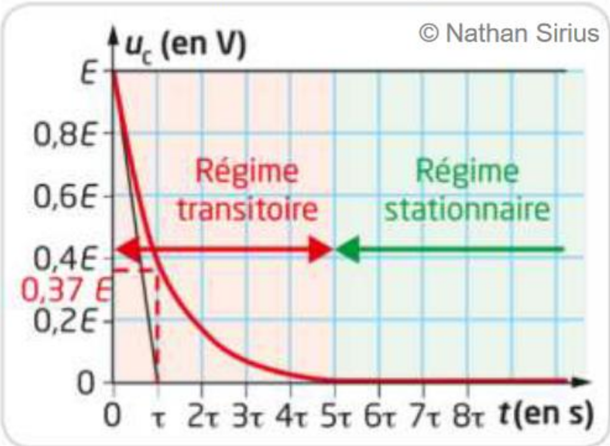
Méthode 1 : Tangente à l'origine
Le point d'intersection de la tangente à l'origine et de l'asymptote a pour abscisse τ.

Méthode 2 : 63% pour la charge

37% pour la décharge



Pour une durée égale à τ, la tension u_C atteint 63% de sa valeur maximale.



Pour une durée égale à τ, la tension u_C atteint 37% de sa valeur maximale.

AS-TU BIEN COMPRIS ?

POUR T'ENTRAINER QCM p 433

QCM

Capsule bilan

1 L'intensité du courant électrique

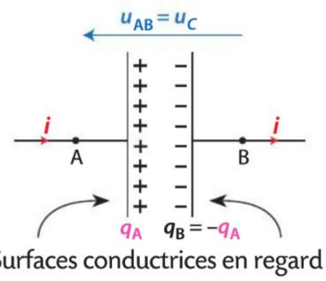
L'intensité i du courant électrique est un **débit de charges électriques** quel que soit le régime de fonctionnement.

Pour une portion de conducteur électrique, l'intensité du courant est la dérivée de la charge électrique par rapport au temps :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

i en A ; q en C ; t en s

2 Le condensateur



$$q_A = C \times u_C$$

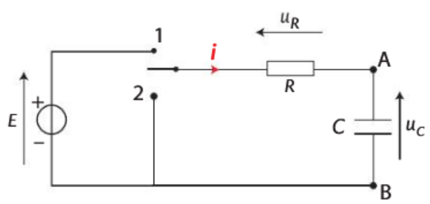
q_A en C ; u_C en V ; Capacité C en F

$$i = \frac{dq_A}{dt}$$

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

3 Le modèle du circuit *RC* série

Circuit d'étude



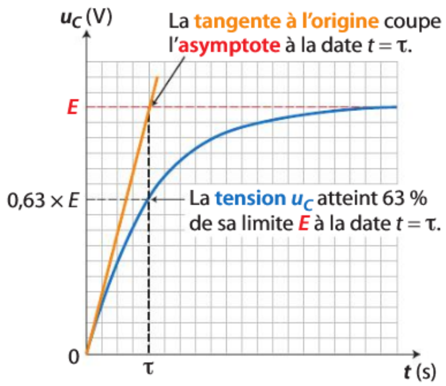
Établissement de l'équation différentielle vérifiée par u_C

- Application de la loi des mailles
- Application de la loi d'Ohm
- Utilisation de la relation :
  $q_A = C \times u_C$
- Présentation de l'équation différentielle sous la forme :
  $y' = a \times y + b$ (où $a \neq 0$)

Résolution de l'équation différentielle

- Rappel de la forme des solutions de l'équation différentielle $u_C = f(t)$
- Utilisation des conditions initiales pour trouver la constante d'intégration

Tangente à $t = 0$ s ou tension à $t = \tau$



Détermination du temps caractéristique $\tau = R \times C$ par exploitation graphique de la solution de l'équation différentielle

Linéarisation de la courbe