Chapitre 18 : Le condensateur

1. Intensité

Un courant électrique est dû à une circulation de charges électriques dans un circuit électrique et l'**intensité** du courant représente le débit des charges électriques en un point du circuit : elle mesure la quantité d'électricité, ou de charges électriques, Q (en coulomb, symbole : C) qui traverse la section du conducteur par unité de temps.

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

L'unité de mesure de l'intensité du courant est l'ampère (symbole : A) : un ampère correspond à un débit de charges électriques de 1 coulomb par seconde soit au passage de 6,241 509 629 152 65 x 10^{18} électrons par seconde.

Si le débit de charges électriques varie au cours du temps alors l'expression précédente est valable uniquement pour une courte durée dt, la quantité d'électricité est alors infiniment petite. On écrira alors :

$$i = \frac{\delta \mathrm{q}}{\mathrm{dt}}$$

Pour une durée infinitésimale (dt $\rightarrow$ 0), cette expression tend vers la dérivée :

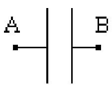
$$i = \frac{\mathrm{dq}}{\mathrm{dt}}$$

2. Le condensateur

2.1. Définition

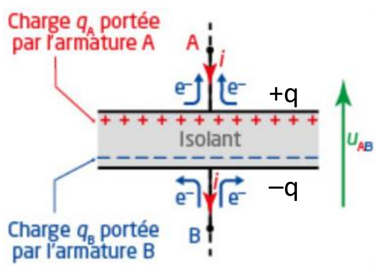
Un **condensateur** est constitué de deux armatures conductrices en regard, séparées par un isolant (air, papier, céramique) appelé diélectrique : il accumule de l'énergie lorsqu'il se charge et la restitue quand il se décharge.

Symbole électrique du condensateur :



Le condensateur est caractérisé par le coefficient de proportionnalité entre charge et tension, appelé **capacité électrique C** et exprimé en farads (symbole : F).

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 :

q = C × 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)

$\Rightarrow$ Pour une tension électrique donnée, plus la capacité C du condensateur est grande et plus il emmagasine de charges électriques sur ses armatures.

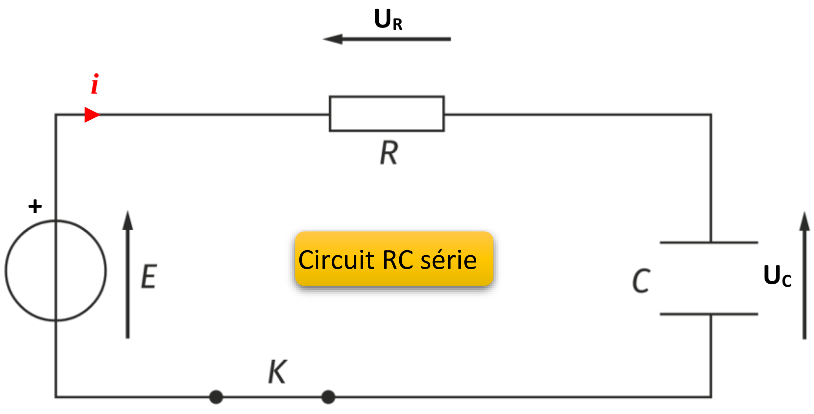
En convention récepteur, la relation caractéristique d'un condensateur idéal est :

$i = \frac{\mathrm{dq}}{\mathrm{dt}} = \mathrm{C} \times \frac{\mathrm{dU_{AB}}}{\mathrm{dt}}$	i = intensité du courant électrique qui passe par le condensateur, en ampères (A) U_{AB} = tension aux bornes du condensateur, en volts (V) C = capacité électrique du condensateur, en farads (F)

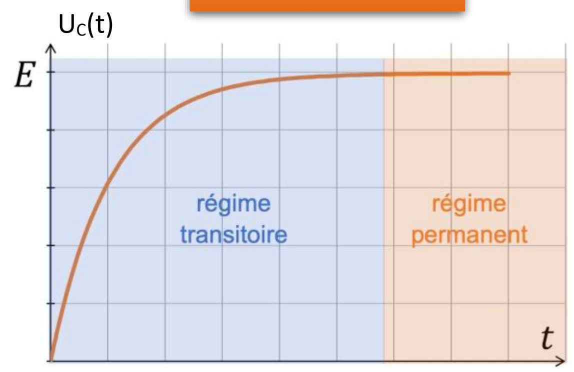
2.2. Charge d'un condensateur

On soumet le condensateur à un échelon de tension E (source idéale de tension).

Montage expérimental :



$$U_C = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$ (avec τ = RC)



Démonstration :

❶ La loi des mailles (loi d'additivité des tensions) permet d'écrire :

$$E - U_R - U_C = 0$$

D'après ce qui précède : $E - R \times i - U_C = 0 \Leftrightarrow E - R \times C \times \frac{dU_C}{dt} - U_C = 0$

Soit :

$$\boxed{\frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{RC} \times U_C = \frac{E}{RC}}$$

(Équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant)

❷ Résolution :

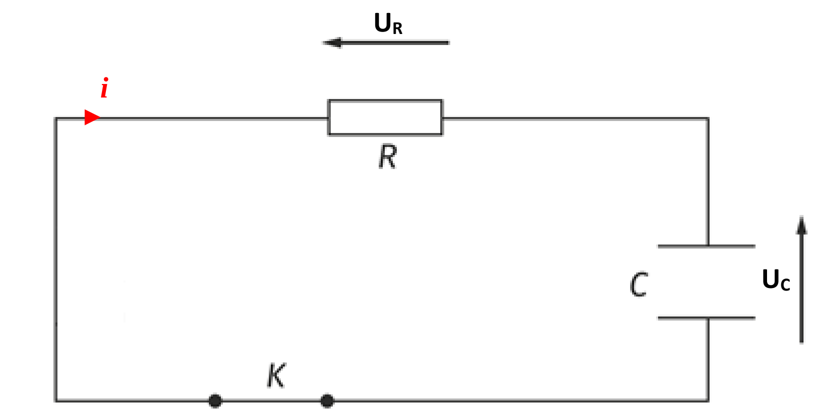
Solution générale de l'équation sans second membre :	$U_C = A \times e^{-\frac{t}{RC}}$
Solution particulière de l'équation avec second membre :	$U_C = \frac{\frac{E}{RC}}{\frac{1}{RC}} = E$
Solution générale :	$U_C = A \times e^{-\frac{t}{\tau}} + E$

❸ Détermination de la constante :

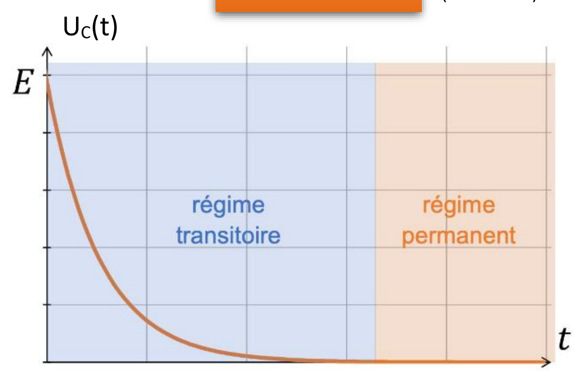
$$\text{À } t = 0,\ U_C = 0 = A + E \Rightarrow A = -E$$

2.3. Décharge d'un condensateur

Montage expérimental :



$$U_C = E\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$ (avec τ = RC)



Démonstration :

➊ La loi des mailles (loi d'additivité des tensions) permet d'écrire :

$$U_C + U_R = 0$$

D'après ce qui précède : $U_C + R \times i = 0 \Leftrightarrow U_C + R \times C \times \frac{dU_C}{dt} = 0$

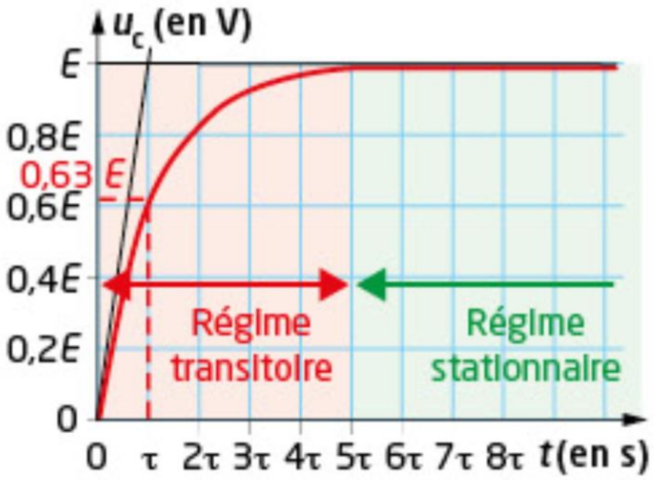
Soit :

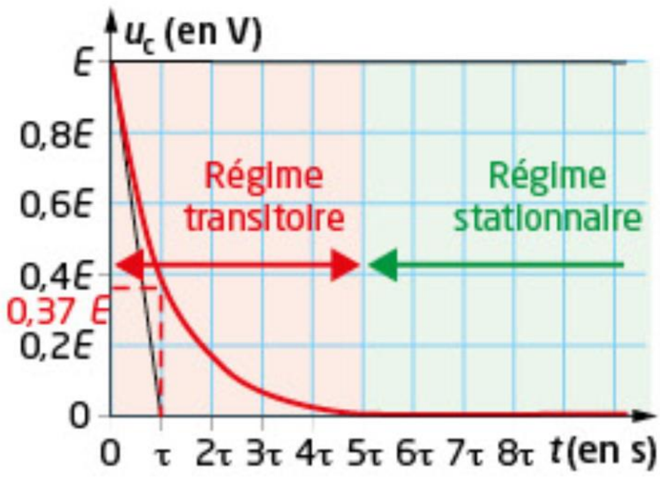
$\boxed{\frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{RC} \times U_C = 0}$ (équation différentielle linéaire du premier ordre sans second membre)

2.4. Temps caractéristique

La charge ou la décharge d'un condensateur à travers une résistance R est caractérisée par son **temps caractéristique** (ou constante de temps). Il se note τ et s'exprime en seconde (symbole : s).

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer τ :





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

Méthode 3 : 5τ

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

Démonstrations :

- **Méthode 1**

	Charge	**Décharge**
Expression de la tension :	$U_C = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$	$U_C = E \times e^{-\frac{t}{RC}}$
Dérivée de la tension :	$\frac{dU_C}{dt} = \frac{E}{RC}e^{-\frac{t}{RC}}$	$\frac{dU_C}{dt} = -\frac{E}{RC}e^{-\frac{t}{RC}}$
Dérivée de la tension au temps $t = 0$:	$\frac{dU_C(t=0)}{dt} = \frac{E}{RC} = \frac{E}{\tau}$	$\frac{dU_C(t=0)}{dt} = -\frac{E}{RC} = -\frac{E}{\tau}$

- **Méthode 2**

Charge	U_C (t = τ) = E(1 – e^{-1}) ≅ 0,63 × E	Pour *t* = τ, U_C = 63% de E
Décharge	U_C (t = τ) = E × e^{-1} ≅ 0,37 × E	Pour *t* = τ, U_C = 37% de E

- **Méthode 3**

Charge	U_C (t = 5τ) = E(1 – e^{-5}) ≅ 0,99 × E	Pour *t* = τ, U_C ≅ E
Décharge	U_C (t = 5τ) = E × e^{-5} ≅ 0,007 × E	Pour *t* = τ, U_C ≅ 0 V