

Le circuit RC

Cours de sciences physiques - niveau Terminale

Le flash d'un appareil photo met quelques secondes à se « recharger », puis libère toute son énergie en un éclair. Derrière ce comportement se cache un composant : le condensateur. Associé à une résistance, il forme le **circuit RC**, dont la tension évolue selon une exponentielle caractérisée par une durée précise, la constante de temps τ . Ce chapitre explique comment la prévoir, la mesurer et l'utiliser.

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

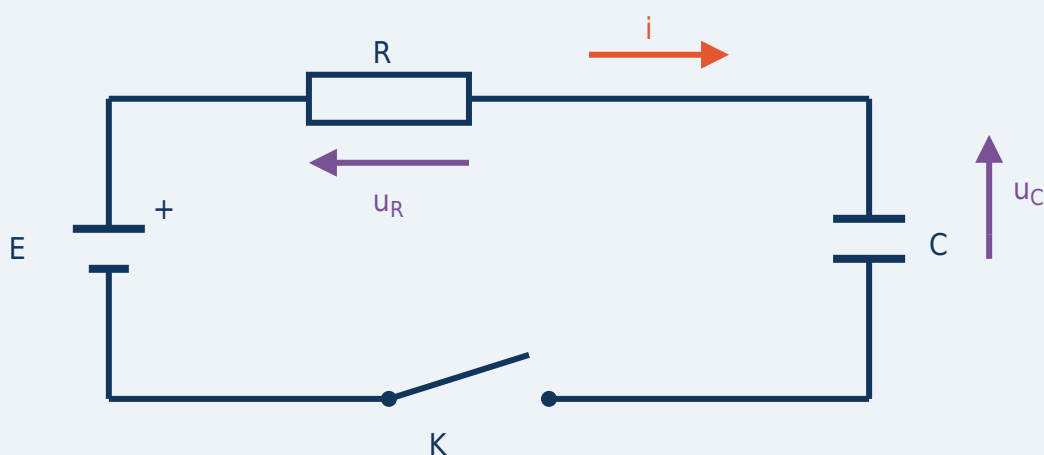
Le circuit RC : un condensateur et une résistance en série

Un **condensateur** est formé de deux armatures conductrices séparées par un isolant. Lorsqu'un courant l'alimente, une armature se charge positivement (charge $+q$) et l'autre négativement (charge $-q$) : on dit qu'il se charge. Sa grandeur caractéristique est la **capacité C**, exprimée en farads (F) ; on utilise surtout le microfarad ($1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$).

FORMULES À RETENIR

$$q = C \times u_c \quad \text{et} \quad i = dq \div dt = C \times du_c \div dt$$

q en coulombs (C), u_c en volts (V), C en farads (F), i en ampères (A), avec i et u_c fléchés en sens contraires (convention récepteur).



Circuit RC série : le courant i circule dans le sens horaire pendant la charge ; u_R et u_c sont fléchées en sens

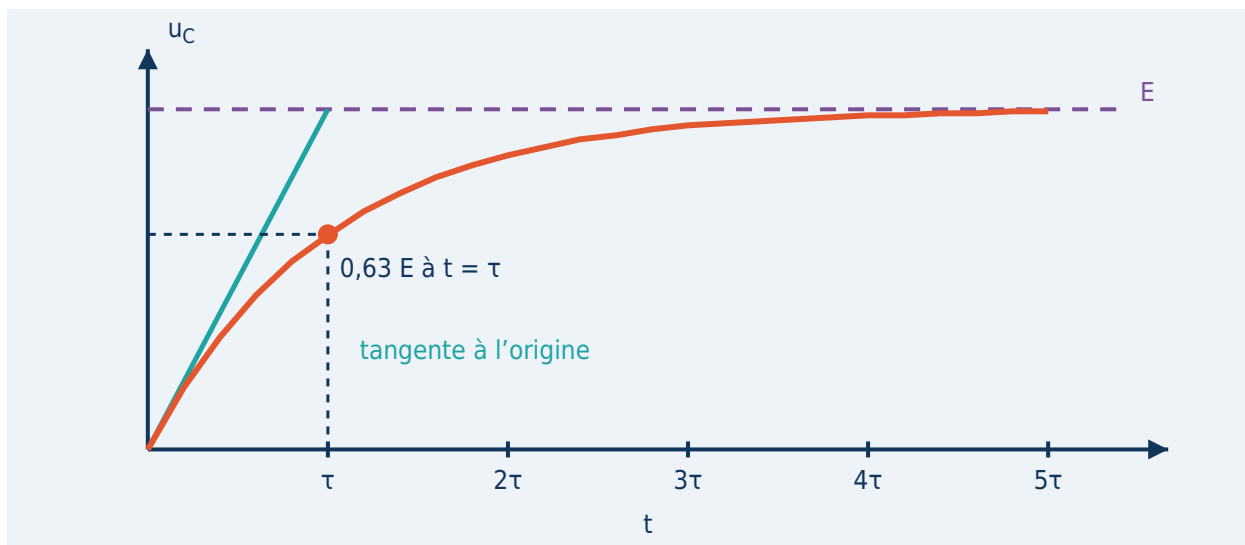
La charge du condensateur

À $t = 0$, on ferme l'interrupteur ; le condensateur est initialement déchargé ($u_C(0) = 0$). La loi des mailles donne $E = u_R + u_C$. Avec $u_R = R \times i$ et $i = C \times du_C \div dt$, on obtient l'équation différentielle du premier ordre :

$$R \times C \times du_C \div dt + u_C = E$$

PROPRIÉTÉ

La solution avec $u_C(0) = 0$ est $u_C(t) = E \times (1 - e^{-t/\tau})$ avec $\tau = R \times C$. Le courant vaut alors $i(t) = (E \div R) \times e^{-t/\tau}$: il est maximal à $t = 0$ ($i = E \div R$) puis décroît vers zéro. La tension u_C tend vers E .



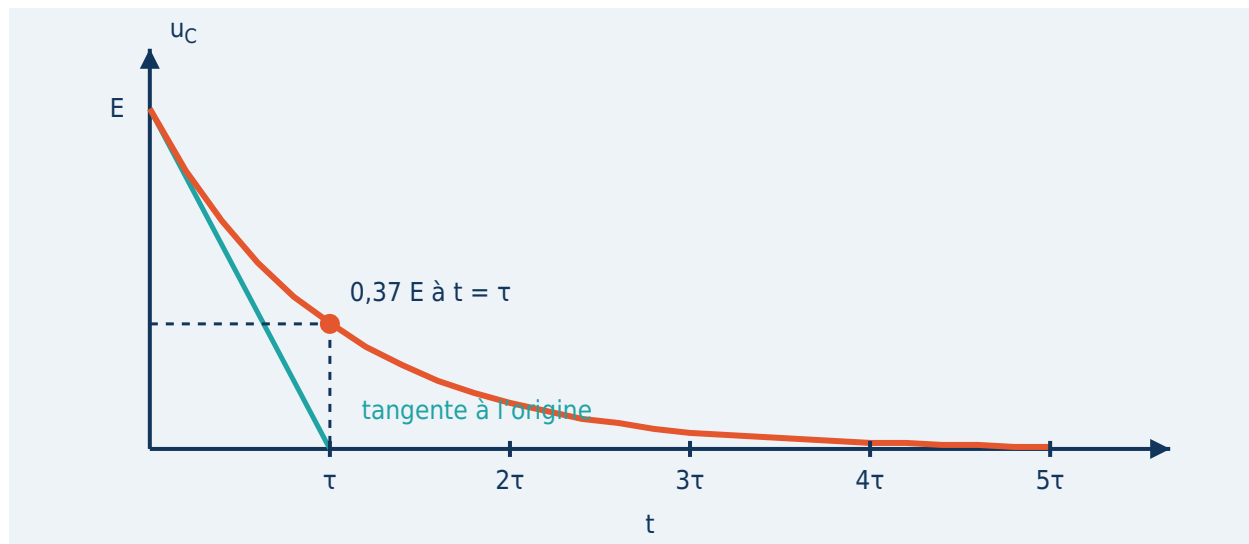
La tangente à l'origine coupe l'asymptote $u_C = E$ à $t = \tau$; à cet instant, $u_C = 0,63 E$.

APPLICATION NUMÉRIQUE

On prend $E = 6,0 \text{ V}$, $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$. Alors $\tau = R \times C = 10 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6} = \mathbf{1,0 \text{ s}}$. À $t = \tau$: $u_C = 6,0 \times (1 - e^{-1}) \approx \mathbf{3,8 \text{ V}}$. À $t = 5\tau = 5,0 \text{ s}$: $u_C = 6,0 \times (1 - e^{-5}) \approx 5,96 \text{ V}$, soit 99 % de E . Le courant initial est $i(0) = E \div R = 0,60 \text{ mA}$.

La décharge du condensateur

Le condensateur chargé ($u_C(0) = E$) est ensuite relié à la seule résistance. La loi des mailles s'écrit alors $u_R + u_C = 0$, soit $R \times C \times du_C \div dt + u_C = 0$. La solution est $u_C(t) = E \times e^{-t/\tau}$, avec le même $\tau = R \times C$.



À $t = \tau$, la tension a perdu 63 % de sa valeur initiale : $u_C = 0,37 E$.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Avec $E = 6,0 \text{ V}$ et $\tau = 1,0 \text{ s}$, la tension à $t = 2,0 \text{ s}$ vaut $u_C = 6,0 \times e^{-2} \approx \mathbf{0,81 \text{ V}}$. Elle est passée sous 1 % de E après 5τ . On peut aussi calculer la durée pour atteindre une tension donnée : $t = -\tau \times \ln(u_C \div E)$.

La constante de temps τ

$\tau = R \times C$ se mesure en secondes : un ohm multiplié par un farad donne une seconde. Plus R ou C est grand, plus τ est grand et plus la charge ou la décharge est lente. Pour la déterminer expérimentalement, on dispose de trois méthodes :

- lire la durée pour laquelle u_C atteint **63 %** de E à la charge, ou **37 %** de E à la décharge ;
- tracer la **tangente à l'origine** et chercher son intersection avec l'asymptote (charge) ou l'axe du temps (décharge) ;
- en décharge, tracer $\ln(u_C)$ en fonction de t : on obtient une droite de coefficient directeur $-1 \div \tau$.

POUR RETENIR

Après **5τ** , le régime transitoire est terminé à 99 % près : la tension aux bornes du condensateur est devenue, selon le cas, égale à E ou nulle.

Énergie stockée et continuité de la tension

Un condensateur chargé stocke de l'énergie électrique :

FORMULE À RETENIR

$$E_c = \frac{1}{2} \times C \times u_c^2$$

E_c en joules (J), C en farads (F), u_c en volts (V).

Pour $C = 100 \mu\text{F}$ et $u_c = 6,0 \text{ V}$, $E_c = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times 6,0^2 = \mathbf{1,8 \times 10^{-3} \text{ J}}$. Cette énergie ne peut pas changer instantanément (il faudrait une puissance infinie), donc **la tension u_c est une fonction continue du temps**. À l'inverse, l'intensité i peut présenter une discontinuité : c'est ce qui se passe à la fermeture de l'interrupteur.

ERREUR FRÉQUENTE

Ne pas confondre $\tau = R \times C$, durée caractéristique, avec la durée totale de charge (environ 5τ). Autre piège : en régime permanent, le courant est nul et le condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert ; $u_R = 0$ et $u_c = E$.

L'essentiel à retenir

- $q = C \times u_c$ et $i = C \times du_c \div dt$; la capacité se mesure en farads.
- Charge : $R C du_c \div dt + u_c = E$, d'où $u_c = E \times (1 - e^{-t/\tau})$; décharge : $u_c = E \times e^{-t/\tau}$.
- La constante de temps $\tau = R \times C$ s'exprime en secondes ; elle vaut 63 % de la montée (ou de la chute) de la tension.
- Le régime permanent est atteint après environ 5τ .
- $E_c = \frac{1}{2} C u_c^2$; u_c est continue, i ne l'est pas forcément.