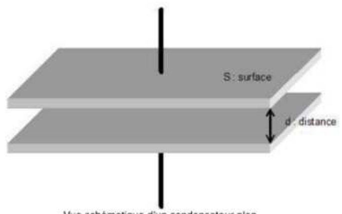
Thème 4 : Ondes et signaux
Partie 3. Etudier la dynamique d'un système électrique
CHAP 22-COURS Condensateur-dipôle RC

1. STRUCTURE D'UN CONDENSATEUR

Un condensateur plan est constitué de deux électrodes fixes de surface S séparées par un isolant électrique (encore appelé diélectrique).



Vue schématique d'un condensateur plan

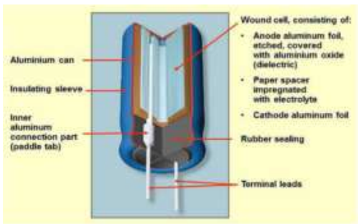
2. UTILISATION DU CONDENSATEUR

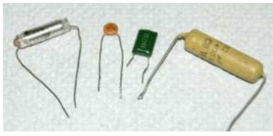
- Le condensateur est utilisé principalement pour :

- Stabiliser une alimentation électrique (il se décharge lors des chutes de tension et se charge lors des pics de tension) ;
- Traiter des signaux périodiques (filtrage…) ;
- Séparer le courant alternatif du courant continu, ce dernier étant bloqué par le condensateur ;
- Stocker de l'énergie, auquel cas on parle de supercondensateur.

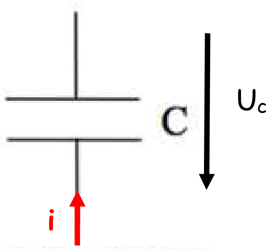
- On les trouve dans tous les dispositifs électroniques : carte mère des ordinateurs, TV, téléphones, etc.…

Réalisation pratique




3. SYMBOLE D'UN CONDENSATEUR ET CONVENTIONS



Symbole d'un condensateur

U_C : tension aux bornes du condensateur (V)

Rq : U_C et i sont dans le sens opposés car le condensateur est un récepteur

4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CONDENSATEUR

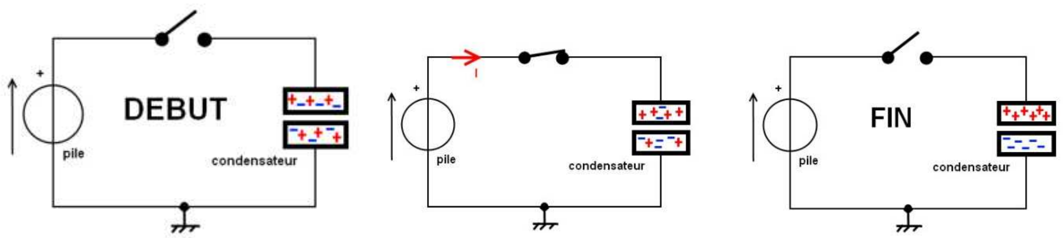
- Quand on le branche sur un générateur continu, il se charge ;
- Quand il est chargé, on le débranche du générateur et on le connecte à une résistance, il se décharge.

Simple non ?

4.1. Charge du condensateur

Le montage est composé d'un générateur de tension continue (une pile), un interrupteur, et un condensateur C.

cf gif animé sur
https://openclassrooms.com/fr/courses/724810-lelectronique-de-zero/723277-le-condensateur-en-regime-continu#/id/r-722694
(ou installer gifviewer_1.6.6_setup)



Explications

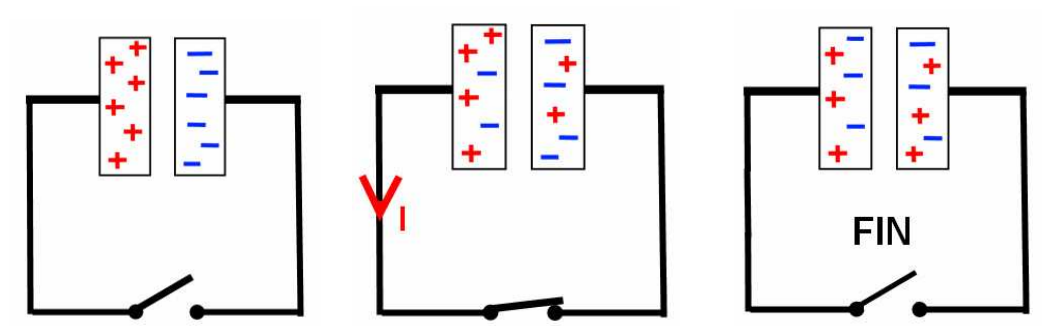
1- On ferme l'interrupteur entre le générateur de tension continue et le condensateur. Ce qui a pour effet de laisser circuler le courant dans le montage.
2- Le condensateur commence à se charger, un courant i va du pôle plus du générateur vers le condensateur, mais attention, ce courant ne traversera pas d'une armature à l'autre car ces armatures sont électriquement isolées (il y a un isolant entre les deux).
Rappel : les électrons circulent dans le sens opposé au sens conventionnel du courant. Dans le cas représenté ci-dessus, les électrons quittent la plaque supérieure qui se charge positivement (défaut d'e-) et vont s'accumuler sur la plaque inférieure qui se charge négativement (excès d'e-).
3- Le condensateur a fini de se charger, alors le courant i disparait (i=0). On dit aussi que le condensateur est arrivé à saturation.
4- On ouvre l'interrupteur, plus aucun courant ne circule et le condensateur reste chargé.

Rq :Cette opération se fait tellement vite, qu'au moment où vous fermez l'interrupteur, le condensateur est déjà presque entièrement chargé !

4.2. Décharge d'un condensateur

- La décharge du condensateur ne peut s'effectuer que si le condensateur est initialement chargé.
- Autrement dit, il faut que les charges soient rangées (les "plus" d'un côté, les "moins" de l'autre) dans ses armatures.
- Le principe de la décharge d'un condensateur est identique à celui de sa charge. Sauf que le montage est différent :

cf gif animé sur
https://openclassrooms.com/fr/courses/724810-lelectronique-de-zero/723277-le-condensateur-en-regime-continu#/id/r-722732



Explications
- Quand on décharge un condensateur, on peut le faire à travers un fil électrique ou bien à travers une résistance.
- Les électrons qui étaient accumulés sur la plaque chargée négativement vont se déplacer pour venir neutraliser les charges positives, créant un courant de décharge.
- Lorsque les charges (positives et négatives) sont de nouveaux réparties de façon homogène, le courant disparait (i=0). Le condensateur est déchargé.

5. CAPACITE D'UN CONDENSATEUR

5.1. Définition
- La capacité d'un condensateur mesure son aptitude à accumuler les charges sous l'effet d'une tension électrique.
- Ce qui veut dire que plus la capacité d'un condensateur est grande, plus il peut accumuler de charges électriques sous l'effet d'une même tension.

Unité
La capacité est notée **C** avec comme unité les **Farad** du nom de Michael Faraday.
On note cette unité avec un **F** majuscule.

Ordre de grandeur du Farad

Nom	Symbole	Puissance de 10	Commentaires
Farad	F	10^{0}	Pas utilisé en électronique faibles signaux
milli Farad	mF	10^{-3}	Peu utilisé (filtres)
micro Farad	µF	10^{-6}	Le plus utilisé
nano Farad	nF	10^{-9}	Beaucoup utilisé
pico Farad	pF	10^{-12}	Souvent utilisé
femto Farad	fF	10^{-15}	Pas utilisé (électronique HF)

5.2 Relation entre la géométrie du condensateur plan et sa capacité
La capacité C d'un condensateur plan dépend de la superficie S des armatures, de la distance d qui les sépare et de la nature de l'isolant électrique.

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d}$$

où S est la superficie des armatures en m², d leur écartement en m, ε_0 la permittivité diélectrique du vide ($\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}$ F.m^{-1}) et ε_r la permittivité diélectrique de l'isolant sans unité :

Vide	1
Quartz	3,8
Papier	4
Porcelaine	6,5
Eau pure	80
Dioxyde de titane (TiO_2)	85

Doc. 11 Permittivité relative de quelques milieux.

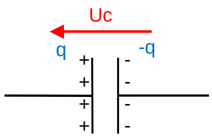
Rq : C est proportionnelle à la surface S et inversement proportionnelle à la distance d.

5.3. Relation entre la tension aux bornes du condensateur et sa capacité.

L'accumulation des charges sur les armatures du condensateur provoque une différence de potentielle électrique, c'est-à-dire une tension aux bornes du condensateur et inversement.
La charge accumulée est proportionnelle à la tension.

$$u_C = \frac{q}{C} \quad \Leftrightarrow \quad q = C.u_C$$

u_c : Tension aux bornes du condensateur (V)
q : charge du condensateur sur la plaque chargée positivement (Coulomb, C)
C : Capacité du condensateur (F)



5.4. Relation entre l'intensité du courant et la charge du condensateur

L'intensité mesure le débit de charge électrique au cours du temps, c'est donc la dérivée de la charge du condensateur par rapport au temps :

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

i : Intensité dans le circuit (A)
q : charge du condensateur (Coulomb, C)

5.5. Relation entre l'intensité du courant i dans le circuit et la tension aux bornes du condensateur

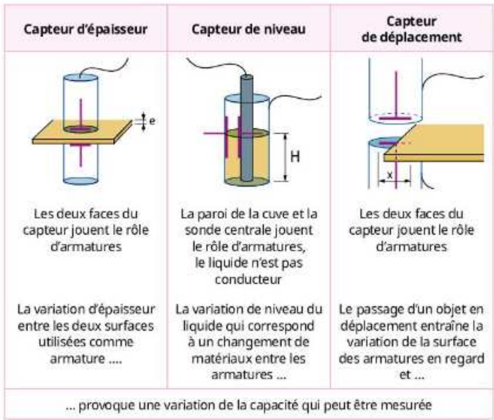
$$i = C.\frac{d(u_C)}{dt}$$

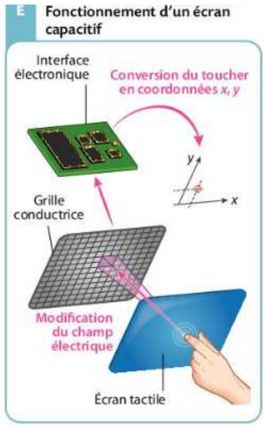
i : Intensité dans le circuit (A)
u_c : Tension aux bornes du condensateur (V)
C : Capacité du condensateur (F)

- **Relation à savoir établir**

6. CAPTEURS CAPACITIFS

- Un capteur capacitif utilise la mesure de la variation de la capacité, de la charge des surfaces conductrices ou du champ électrique à l'intérieur du condensateur.
- Ces dispositifs technologiques permettent de réaliser des mesures de déplacement, de distance, d'épaisseur et de position.





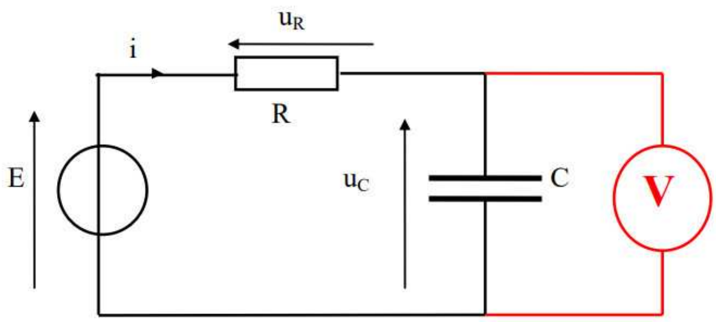
- Les écrans tactiles fonctionnent sur le même principe que les capteurs capacitifs : Une grille conductrice chargée, insérée entre 2 plaques de verre, joue le rôle de 1ère armature et le doigt de l'utilisateur est la 2ème armature. L'apparition locale de ce condensateur est détecté et la position du doigt est alors repérée sur l'écran.

6. CHARGE D'UN CONDENSATEUR A TRAVERS UNE RESISTANCE

Visualisation charge et décharge
http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/chargecondo.html

6.1. Évolution de la tension aux bornes du condensateur.

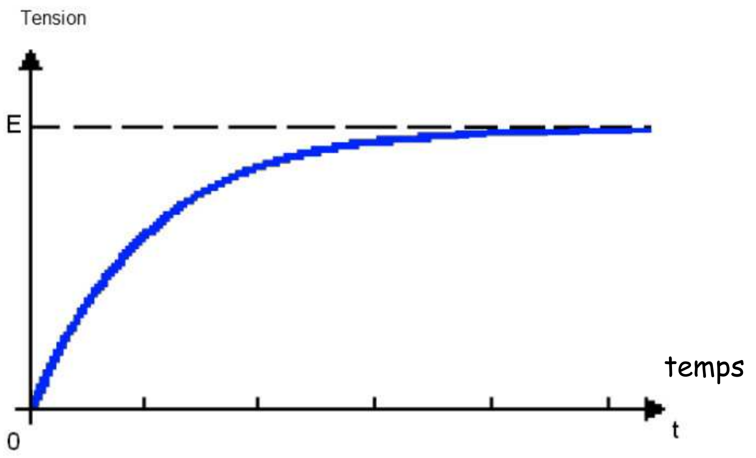
Dans le montage de la figure ci-dessous, un condensateur, préalablement déchargé, est alimenté par un générateur, de f.e.m. E et de résistance interne négligeable, à travers une résistance de valeur R.



Montage pour le relevé de la courbe de charge d'un condensateur

6.2. Courbe de charge du condensateur

La tension u_c aux bornes du condensateur est relevée à intervalles de temps réguliers. La courbe de la figure ci-dessous représente les variations de u_C en fonction du temps



- La courbe de charge d'un condensateur est une exponentielle.
- La tension u_C augmente jusqu'à atteindre la valeur constante E (tension du générateur)
- On dit que le condensateur se charge
- Cette charge ne se fait pas instantanément, on dit qu'on a un phénomène transitoire car la tension aux bornes du condensateur passe progressivement de 0 à E
- Quand, la tension u_C ne varie plus, le condensateur est chargé.

- La durée de charge d'un condensateur de capacité C à travers un élément résistif de résistance R est fonction du produit R.C.
- **Le produit R.C est appelé constante de temps du circuit** et représenté par la lettre grecque tau (τ)

$$\tau = R.C$$

R : Résistance en ohm (Ω)
C : Capacité du condensateur (F)
τ : constante de temps (s)

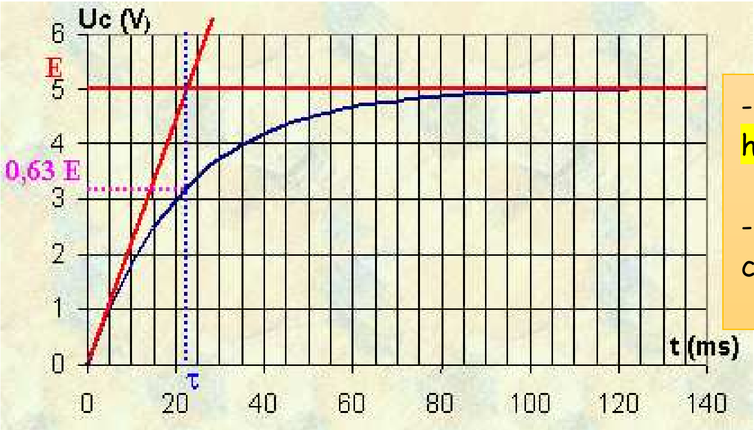
- Plus la constante de temps est grande, plus la charge du condensateur est lente.

6.4. Durée du régime transitoire

- Théoriquement, la charge d'un condensateur ne se termine jamais.
- On estime qu'au bout de 5.τ, le condensateur est chargé ou déchargé

temps (s)	1τ	2τ	3τ	4τ	5τ
u_C (t)	**63% de E**	**86% de E**	**95% de E**	**98% de E**	**99% de E**

6.5. Détermination expérimentale de τ



- La tangente à l'origine coupe l'asymptote horizontale au point d'abscisse τ.

ou

- τ représente le temps au bout duquel le condensateur est chargé à 63 % (0,63.E)

6.6. Etude théorique de la charge

a) Equation différentielle de charge

$$\boxed{\frac{d(u_C)}{dt} = -\frac{1}{R.C}.u_C + \frac{E}{R.C}}$$

➢ **Relation à savoir établir**

b) Solution de l'équation différentielle

Solution mathématique :

y

y' $\quad \frac{d(u_C)}{dt} = -\frac{1}{R.C}.u_C + \frac{E}{R.C}$

b

a

On obtient une équation différentielle de la forme : y' = ay + b

Avec a = + $\frac{1}{R.C}$ et b = + $\frac{E}{R.C}$

Une telle équation admet comme solution : $\quad y = k.e^{(a.t)} - \frac{b}{a}$

ici $\quad u_c = k.e^{\left(-\frac{1}{R.C}.t\right)} - \frac{+\frac{E}{R.C}}{-\frac{1}{R.C}}$

$u_c = k.e^{\left(-\frac{1}{R.C}.t\right)} + E$

Calcul de k :

k est obtenu en prenant en compte les conditions initiales, càd à t = 0

➢ **Savoir appliquer les C.I. à la charge pour obtenir k = - E**

D'où :

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

⇔

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

Remarque:

Si on pose **τ = R.C** on obtient :

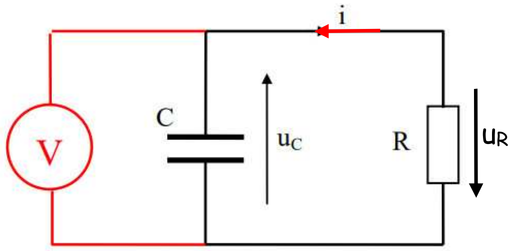
$$u_C = E.\left[1 - e^{\left(-\frac{t}{\tau}\right)}\right]$$

- **Vérifier que pour t= 0 on retrouve $u_c = 0$ et pour t →+ ∞, $u_c = E$**

7. DECHARGE D'UN CONDENSATEUR A TRAVERS UNE RESISTANCE:

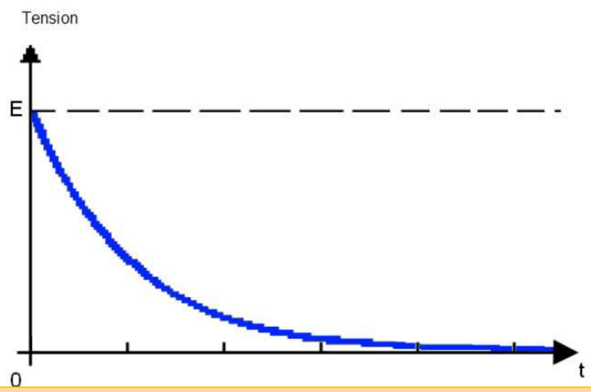
7.1. Évolution de la tension aux bornes du condensateur:

Un condensateur, préalablement chargé sous une tension E, est relié à un élément résistif R selon le schéma ci-dessous :



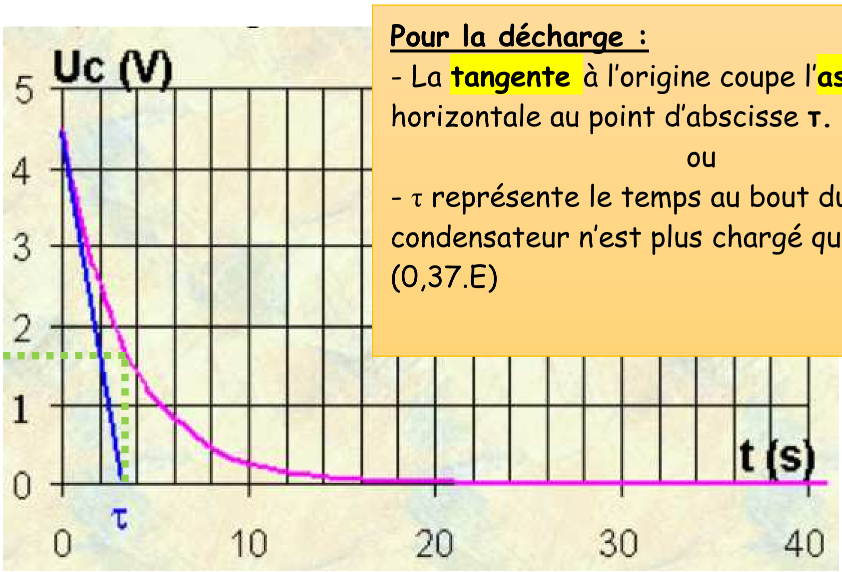
Montage pour le relevé de la courbe de décharge d'un condensateur.

7.2. Courbe de décharge du condensateur



- La courbe de décharge d'un condensateur est une exponentielle décroissante.
- Au début de la décharge, la tension u_C est maximale et égale à E.
- Théoriquement, la décharge d'un condensateur ne se termine jamais.
- Pratiquement, au bout d'une durée égale à 5 fois la constante de temps, le condensateur est complètement déchargé, la tension à ses bornes est nulle.

7.3. Détermination expérimentale de τ



0,37.E

Pour la décharge :

- La **tangente** à l'origine coupe l'**asymptote** horizontale au point d'abscisse **τ**.

ou

- τ représente le temps au bout duquel le condensateur n'est plus chargé qu'à **37** % (0,37.E)

a) Equation différentielle de la décharge

$$\frac{d(u_C)}{dt} + \frac{1}{R.C}.u_C = 0$$

- Relation à savoir établir

b) Solution de l'équation différentielle

Solution mathématique :

y

y'

$$\frac{d(u_C)}{dt} = -\frac{1}{R.C}.u_C$$

a

On obtient une équation différentielle de la forme : y' = ay

Avec $a = -\frac{1}{R.C}$

Une telle équation admet comme solution : **$y = k.e^{(a.t)}$**

Ici $u_c = k.e^{\left(-\frac{1}{R.C}.t\right)}$

Calcul de k :

k est obtenu en prenant en compte les conditions initiales, càd à t = 0

- Savoir appliquer les C.I. à la décharge pour obtenir k = E

D'où : $$\boxed{u_c = E.e^{\left(-\frac{1}{R.C}.t\right)}}$$

Rq :

Si on pose **τ = R.C** on obtient : $$\boxed{u_c = E.e^{\left(-\frac{1}{\tau}.t\right)}}$$

- **Vérifier que pour t= 0 on retrouve u_c = E et pour t →+ ∞, u_c = 0**