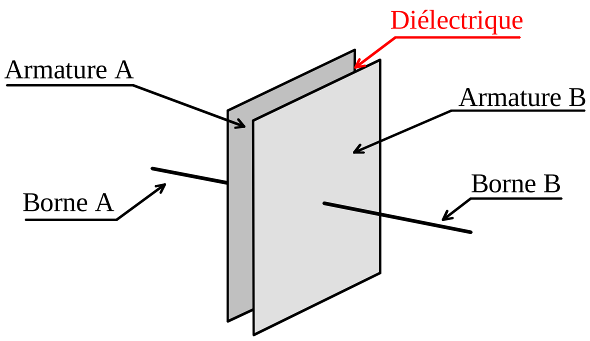
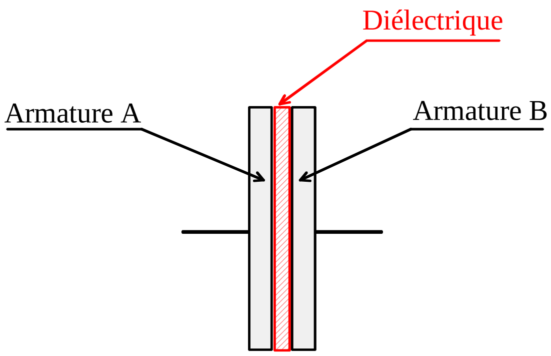
CONDENSATEUR

I- Notions de base :

1°) Constitution :

Un condensateur simple est constitué de deux armatures métalliques séparées par un isolant d'épaisseur constante. L'isolant qui sépare les deux armatures est appelé le 'diélectrique'. L'épaisseur du diélectrique est toujours très petite.



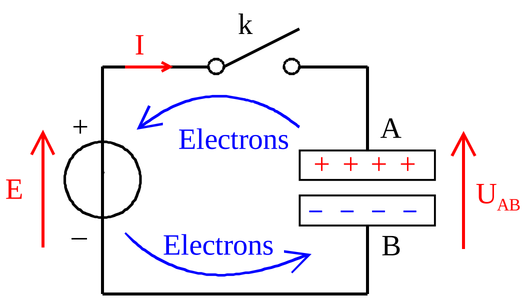


Le diélectrique peut être :

- gazeux (air, etc…),
- liquide (huile, électrolyte, etc…),
- solide (papier, mica, etc…).

2°) Charge et décharge d'un condensateur :

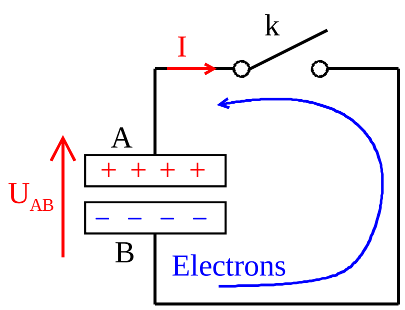
a) Charge du condensateur :



Au départ, le condensateur est totalement déchargé, la tension U_{AB} à ses bornes est nulle. Fermons l'interrupteur k. Les électrons circulent de la borne – du générateur vers l'armature B. Ces électrons repoussent ceux de l'armature A qui retournent à la borne + du générateur, laissant ainsi des trous (absence d'électrons) ayant une charge positive. On dit que le condensateur se charge.

↳ Lorsque la tension à ses bornes vaut $U_{AB} = E$, la circulation d'électrons cesse, on dit que le condensateur est complètement chargé.

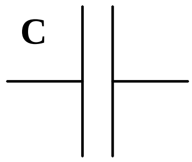
b) Décharge du condensateur :



Relions par un conducteur les bornes des armatures A et B du condensateur chargé en fermant l'interrupteur k. Les électrons accumulés sur l'armature B circulent vers l'armature A où ils neutralisent les charges positives.
On dit que le condensateur se décharge.

↳ Lorsqu'il est complètement déchargé, la tension à ses bornes vaut $U_{AB} = 0V$.

3°) Symbole du condensateur :



4°) Capacité d'un condensateur :

Lorsque le condensateur se charge, il emmagasine une quantité d'électricité notée Q exprimée en Coulomb (C).
La tension U_C mesurée entre ses deux armatures est proportionnelle à la quantité d'électricité emmagasinée. Ce coefficient de proportionnalité noté C est appelé 'capacité du condensateur' et est exprimé en Farad (F). On a :

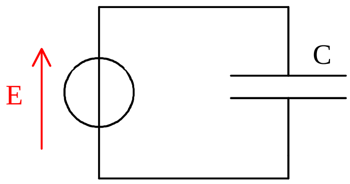
$$\boxed{Q = C\,U_C}$$

Q la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur exprimée en Coulomb (notée C),
C la capacité du condensateur exprimée en Farad (notée F),
U_C la tension aux bornes du condensateur exprimée en volt (notée V).

Remarque :
1 Farad (noté 1F) correspond à une capacité très grande. De ce fait, on trouve pour des condensateurs usuels des valeurs de capacité exprimées en sous multiples du Farad :

- le microfarad : $1\mu F = 10^{-6}\,F$
- le nanofarad : $1nF = 10^{-9}\,F$
- le picofarad : $1pF = 10^{-12}\,F$

Application :



Calculer la quantité d'électricité emmagasinée par un condensateur d'une capacité C = 53µF branché aux bornes d'un générateur de tension E = 12V.

5°) Énergie emmagasinée dans un condensateur : (Pour information)

Un condensateur chargé a emmagasiné de l'énergie électrique. Cette énergie, exprimée en Joules, est fonction de la tension appliquée aux bornes du condensateur et de sa capacité. Elle vaut :

$$\boxed{W = \frac{1}{2} C U_C^{\,2}}$$

Avec :

- W : Énergie électrique emmagasinée par le condensateur exprimée en Joules (abrégé J),
- C : Capacité du condensateur exprimée en Farad (abrégé F),
- U_C : Tension aux bornes du condensateur exprimée en Volt (V).

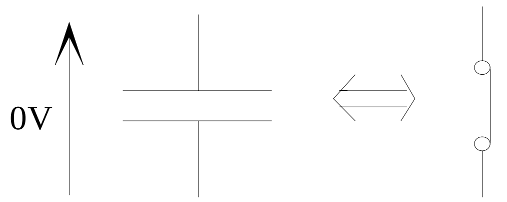
Application :
Calculer l'énergie emmagasinée dans un condensateur d'une capacité de 47µF branché aux bornes d'un générateur de tension E = 12V :

$$W = \frac{1}{2}\,C\,E^2 = \frac{1}{2}\,47.10^{-6} \times 12^2 \Rightarrow \boxed{W = 3{,}384\ mJ}$$

6°) Modèles électriques simples d'un condensateur :

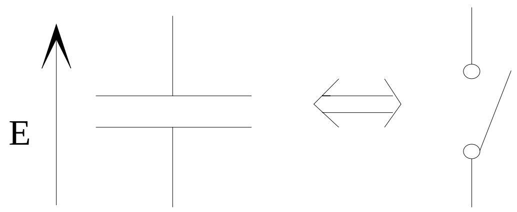
a) Condensateur totalement déchargé :

Lorsqu'un condensateur est totalement déchargé, la tension entre ses bornes est nulle. Il se comporte comme un interrupteur fermé (ou un circuit fermé).



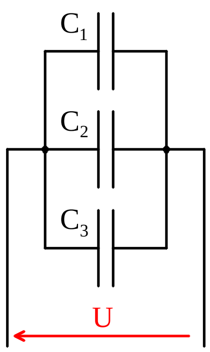
b) Condensateur totalement chargé :

Lorsque le condensateur est totalement chargé (la tension à ses bornes est égale à celle du générateur qui l'alimente), il ne permet plus la circulation de courant. Le condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert (ou un circuit ouvert).



II- Groupement de condensateurs :

1°) Groupement en parallèle :



Soit
- Q_1 la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur C_1,
- Q_2 la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur C_2,
- Q_3 la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur C_3.

On a $Q_1 = C_1 U$
$Q_2 = C_2 U$
$Q_3 = C_3 U$

La quantité d'électricité totale Q emmagasinée par le groupement vaut :

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= C_1 U + C_2 U + C_3 U \\ &= (C_1 + C_2 + C_3)\, U \end{aligned}$$

En appelant C_{EQ} la capacité équivalente du groupement, on a :

$$Q = C_{EQ}\, U$$

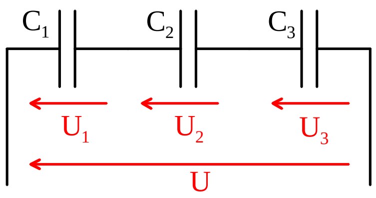
Or $Q = (C_1 + C_2 + C_3)\, U$ $\Rightarrow$ $\boxed{C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3}$

Conclusion :

↳ Si on branche n condensateurs en parallèle, la capacité équivalente C_{EQ} du groupement vaut :

$$\boxed{C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \ldots + C_n}$$

2°) Groupement en série :



Soit

Q_1 la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur C_1,

Q_2 la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur C_2,

Q_3 la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur C_3.

En admettant que la quantité d'électricité Q emmagasinée par le groupement est la même que celle emmagasinée dans chaque condensateurs, on a :

On a $Q = C_1 U_1 \Rightarrow U_1 = \dfrac{Q}{C_1}$

$Q = C_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \dfrac{Q}{C_2}$

$Q = C_3 U_3 \Rightarrow U_3 = \dfrac{Q}{C_3}$

En appelant C_{EQ} la capacité équivalente du groupement, on a :

$$\begin{aligned} Q &= C_{EQ}\, U \\ &= C_{EQ}\,(U_1 + U_2 + U_3) \\ &= C_{EQ}\left(\frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}+\frac{Q}{C_3}\right) \\ &= Q\, C_{EQ}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\right) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \quad 1 = C_{EQ}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\right) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{1}{C_{EQ}} = \left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\right)}$$

Conclusion :

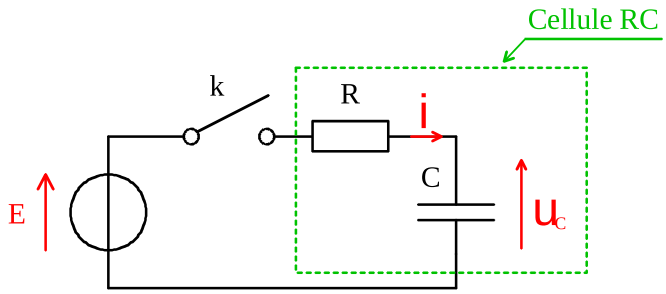
↳ Si on branche n condensateurs en série, la capacité équivalente C_{EQ} du groupement se calcule à partir de la relation :

$$\boxed{\frac{1}{C_{EQ}} = \left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}+\ \cdots\ +\frac{1}{C_n}\right)}$$

III - Charges d'un condensateur à travers une résistance :

1) Tension aux bornes d'un condensateur :

Considérons le schéma structurel suivant avec C = 1000µF, R = 10kΩ et E = 10V :

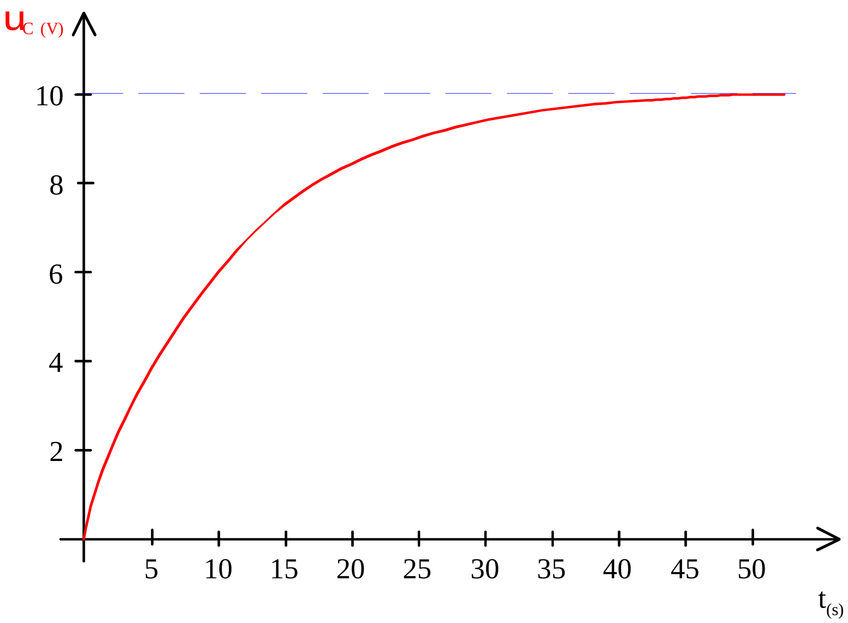


A la mise sous tension du dispositif, le condensateur est totalement déchargé, la tension à ses bornes vaut u_C = 0V.

On ferme l'interrupteur k, le condensateur se charge à travers la résistance R.
Relevons à intervalles réguliers la tension u_C aux bornes du condensateur, nous constatons qu'elle augmente graduellement suivant le tableau ci-dessous :

$t_{(s)}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$Uc_{(V)}$	0	3,93	6,32	7,77	8,65	9,18	9,50	9,70	9,82	9,89	9,93	9,96	9,98

Traçons la représentation graphique des variations de la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps :



Le condensateur se charge suivant une courbe 'exponentielle'. Au bout d'un certain temps, la tension aux bornes du condensateur ne varie plus, le condensateur est totalement chargé.

2) Temps de charge :

Le temps de charge d'un condensateur de capacité C à travers une résistance R est fonction du produit $R \times C$.
Le produit RC est appelé 'Constante de temps' de la cellule RC et est noté par la lettre grecque 'τ' minuscule (lire tau).

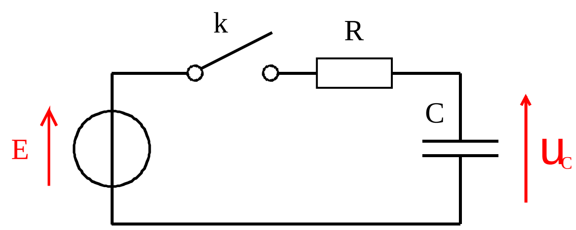
On a $\boxed{\tau = RC}$

Avec τ la constante de temps exprimée en seconde (s),
R la valeur de la résistance exprimée en ohm (Ω),
C la valeur de la capacité du condensateur exprimée en farad (F).

Le temps de charge du condensateur est le temps au bout duquel la tension à ses bornes aura atteint un maximum fixé par la valeur de la source de tension qui l'alimente.
Le condensateur sera chargé à 99% de sa charge maximale théorique (considéré totalement chargé) au bout d'un temps valant cinq fois la constante de temps τ.

Application :

On considère le montage suivant :



On donne E = 7V, R = 15KΩ et C = 120nF.

a) Calculer la constante de temps τ du circuit.
b) Au bout de combien de temps le condensateur C aura-t-il atteint sa charge maximale ?
c) Quelle sera alors la tension u_C à ses bornes ?

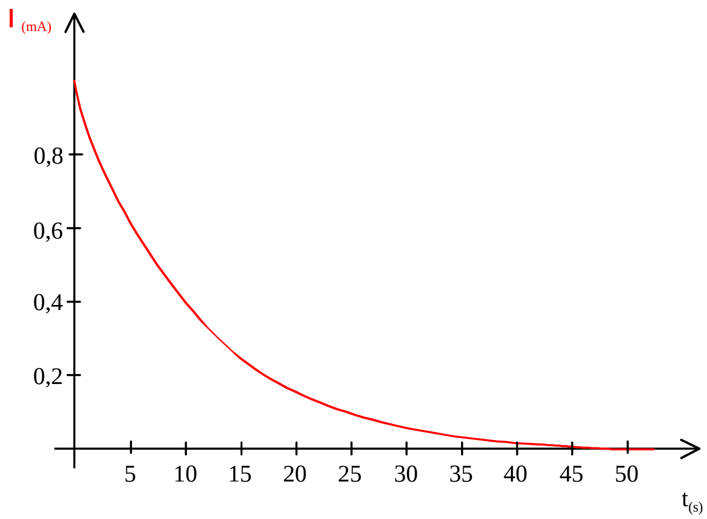
3) Courant de charge :

En appliquant la loi des mailles, on a : $i = \frac{E - u_C}{R}$. Or u_C varie de manière exponentielle.

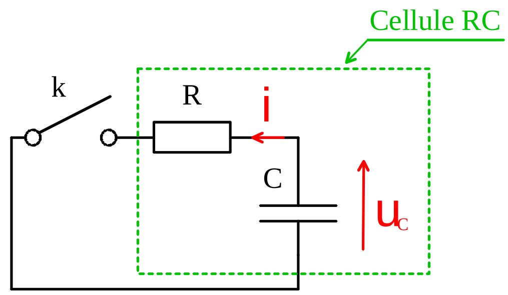
En début de charge, la tension u_C aux bornes du condensateur est nulle, le courant de charge est maximal et vaut $i = \frac{E}{R}$.

En fin de charge, la tension u_C aux bornes du condensateur est proche de celle du générateur : $u_C \approx E$, d'où $i = 0$.

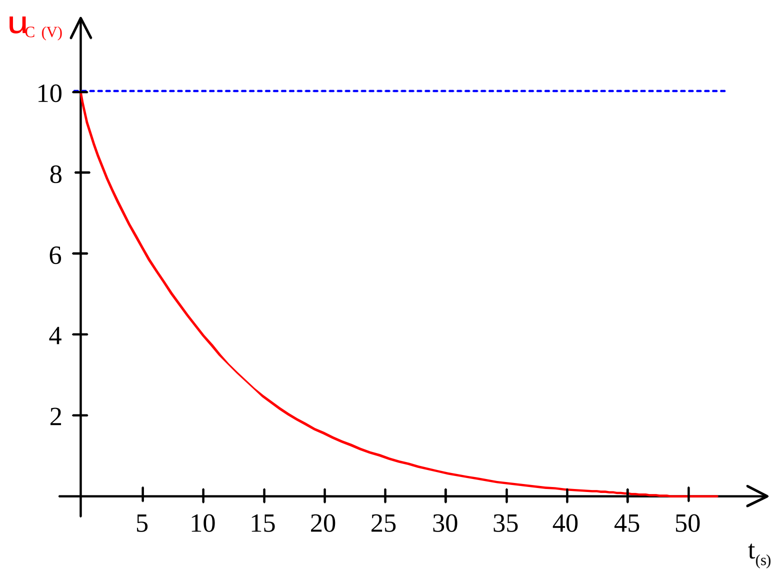
Le courant de charge suit une courbe exponentielle décroissante :



IV- <u>Décharge d'un condensateur à travers une résistance</u> :



Au départ (à l'instant t = 0), le condensateur est chargé. La tension à ses bornes vaut u_C = 10V. On ferme l'interrupteur k. Le condensateur se décharge à travers la résistance R suivant une courbe exponentielle.

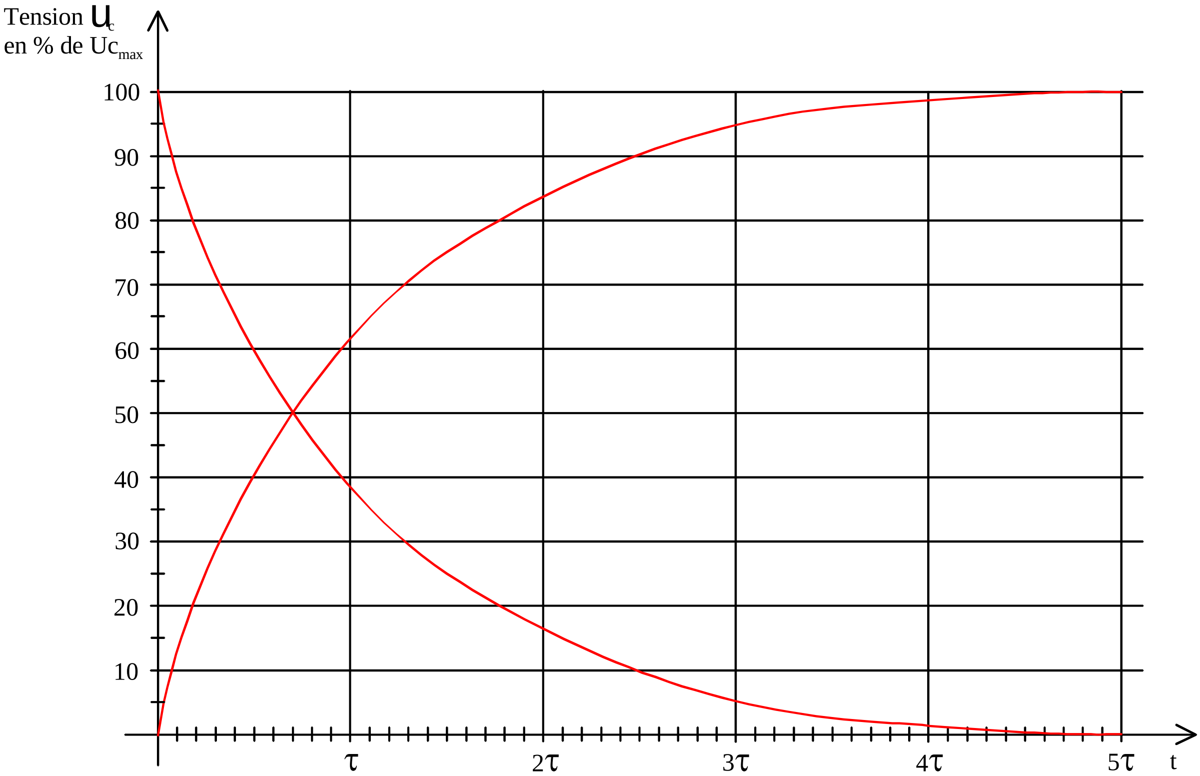


Le condensateur sera déchargé à 99% (considéré totalement déchargé) au bout de cinq fois la constante de temps τ.

V- Détermination de la tension aux bornes d'un condensateur à travers une résistance :

1) Graphiquement en utilisant la courbe universelle de charge et de décharge :

L'axe des abscisses est gradué en nombre de fois la constante de temps τ = RC. L'axe des ordonnées est gradué en pourcentage de la tension maximale aux bornes du condensateur.



Application :
Un condensateur de capacité C = 47µF se charge à travers une résistance R = 33KΩ. La cellule RC est alimentée par une source de tension continue E = 12V. Déterminer la tension aux bornes du condensateur au bout d'un temps t = 2,5s (2,5s après avoir fermé l'interrupteur K, le condensateur étant initialement totalement déchargé).

2) Par calcul :

* En charge, à l'instant t = 0, le condensateur étant totalement déchargé, on démontre que

$$\boxed{U_C(t) = Uc_{max}\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)}$$

avec :

- $U_C(t)$ la tension aux bornes du condensateur à l'instant t.
- Uc_{max} la tension aux bornes du condensateur lorsque ce dernier est totalement chargé.
- τ la constante de temps de la cellule RC.

- De même en décharge, en appelant Uc_{max} la tension aux bornes du condensateur à l'instant t = 0, on démontre que :

$$U_C(t) = Uc_{max} \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

VI- Expression générale de la valeur instantanée de la tension aux bornes d'un condensateur :

Quel que soit l'état du condensateur (en charge ou en décharge), la valeur de la tension instantanée à ses bornes est donnée par la relation suivante :

$$\boxed{u_C(t) = V_f + (V_i - V_f)\ e^{\frac{-t}{\tau}}}$$

avec :

- $u_C(t)$ la tension aux bornes du condensateur à l'instant t.
- V_i la tension initiale aux bornes du condensateur au début de la durée considéré,
- V_f la tension finale aux bornes du condensateur si celui-ci poursuivait sa charge (ou sa décharge) jusqu'à son terme. Cette valeur est aussi appelée 'Tension asymptotique'.

⇨ Cette relation est souvent donnée sous la forme : $\boxed{u_C(t) = A + B\ e^{\frac{-t}{\tau}}}$

Par identification des différents termes entre les deux relations, on a :

$$\left|\begin{array}{l} A = V_f \\ B = (V_i - V_f) \end{array}\right.$$

VII- Condensateur en régime sinusoïdale :

1) Expérimentation :

Schéma

E est un générateur de tension sinusoïdale d'amplitude 2V et de fréquence 500Hz.
On observe l'existence d'une tension UR aux bornes de la résistance R.
Or UR = Ri, donc i n'est pas nul
⇨ le condensateur laisse passer le courant alternatif sinusoïdal.
On observe un décalage entre la tension du générateur et la tension UR aux bornes de la résistance. Ce décalage est appelé 'Déphasage'.
UR est en retard par rapport à e. En fait c'est le courant i qui est en retard par rapport à la tension e.
Le déphasage est exprimé par une valeur angulaire.
Le condensateur déphase le courant de 90° (soit un quart de période) ou de $\pi/2$ rad par rapport à la tension e.
On remarque de plus que plus la fréquence diminue, plus l'amplitude de U_R diminue.
Ce dispositif est un filtre passif passe haut : Il laisse passer les signaux à haute fréquence et atténue l'amplitude des signaux basse fréquence.