

SCIENCES PHYSIQUES

Cahier de révision

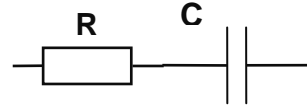
Remerciements aux Mrs :
Sfaxi salah : Lycée pilote sfax
Cherchari Med : lycée sadiki Tunis

Bac 2016
Sc.techniques

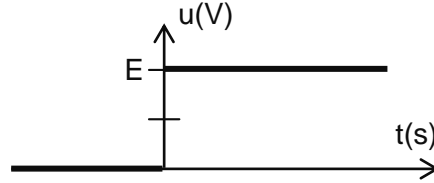


Circuit RC

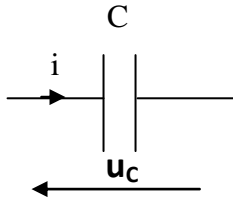
Le dipôle RC est constitué d'un condensateur associé en série avec un résistor (conducteur ohmique).



Echelon de tension
La tension aux bornes du dipôle RC
Pour $t < 0$; $u = 0$
Pour $t \geq 0$; $u = E$.



- La tension aux bornes d'un condensateur de capacité C est :



$$u_C(t) = \frac{q}{C}$$

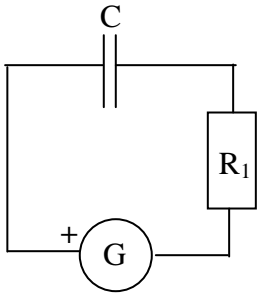
$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

- L'énergie emmagasinée par un condensateur chargé est dite : énergie électrostatique notée E_e

$$E_e = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2 \quad \text{unité (Joule)}$$

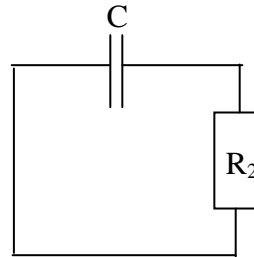
Charge d'un condensateur C	décharge d'un condensateur C
-----------------------------------	-------------------------------------

Montage électrique



R_1 : résistance de charge

Montage électrique



R_2 : résistance de décharge

Equation différentielle en $u_C(t)$

Loi des mailles $u_C + u_{R1} = E$

or $u_{R1} = R_1 \cdot i = R_1 \cdot \frac{dq}{dt} = R_1 \cdot \frac{dCu_C}{dt} = R_1 C \frac{du_C}{dt}$

donc $R_1 C \frac{du_C}{dt} + u_C = E$

$\Leftrightarrow \frac{du_C}{dt} + \frac{1}{R_1 C} u_C = \frac{E}{R_1 C}$

Loi des mailles $u_C + u_{R2} = 0$

or $u_{R2} = R_2 \cdot i = R_2 \cdot \frac{dq}{dt} = R_2 \cdot \frac{dCu_C}{dt} = R_2 C \frac{du_C}{dt}$

donc $R_2 C \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$

$\Leftrightarrow \frac{du_C}{dt} + \frac{1}{R_2 C} u_C = 0$

Solution de l'équation différentielle

$$u_c(t) = E(1 - e^{-t/\tau})$$

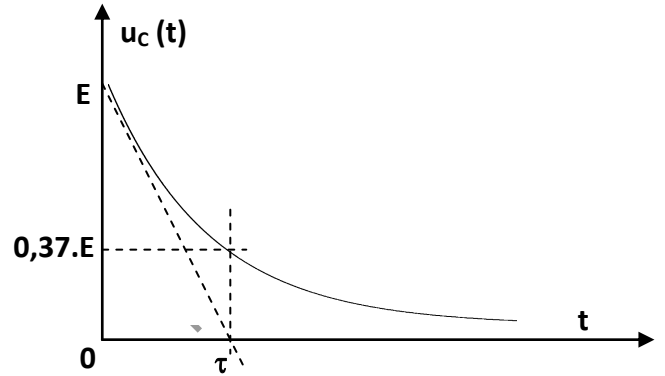
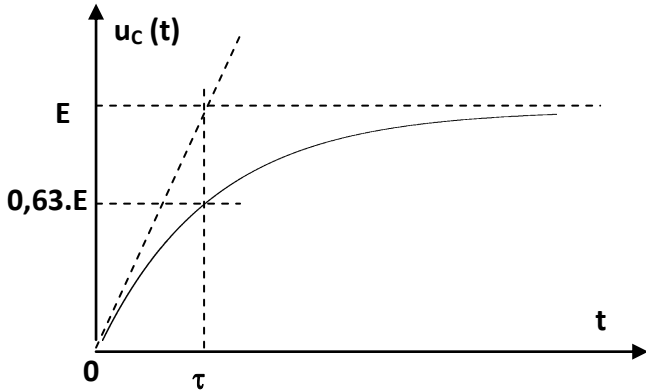
$$u_c(t) = E.e^{-t/\tau}$$

Expression de $q(t) = C \cdot u_c(t)$

$$q(t) = CE(1 - e^{-t/\tau})$$

$$q(t) = CE.e^{-t/\tau}$$

Courbe $u_c = f(t)$

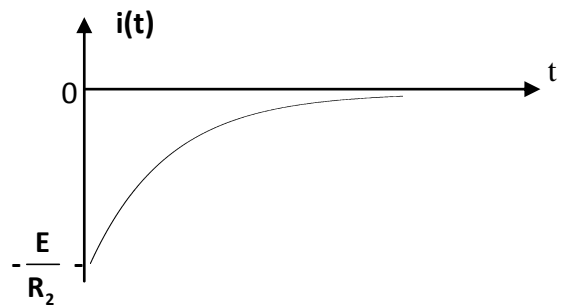
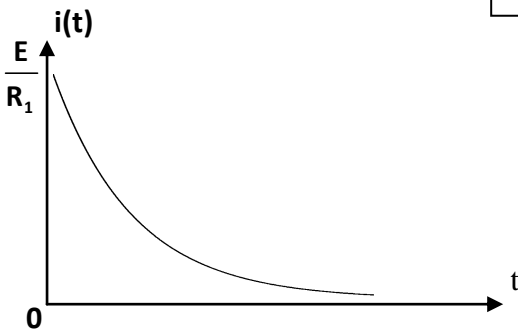


Expression de $i(t)$

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} [CE(1 - e^{-t/\tau})] \\ &= CE \frac{d}{dt} (1 - e^{-t/\tau}) = -CE \frac{d}{dt} (e^{-t/\tau}) = CE \\ &= \frac{CE}{\tau} e^{-t/\tau} = \frac{E}{R_1} e^{-t/\tau} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} [CE.e^{-t/\tau}] \\ &= CE \frac{d}{dt} (e^{-t/\tau}) = -\frac{CE}{\tau} e^{-t/\tau} \\ &= -\frac{E}{R_2} e^{-t/\tau} \end{aligned}$$

Courbe $i = f(t)$



Constante de temps

$$\tau = R_1 C$$

$$\tau = R_2 C$$



Durée de charge d'un condensateur

On peut considérer qu'un condensateur est complètement chargé lorsque sa tension $u_c = 0,99E$ ce qui donne une durée de charge

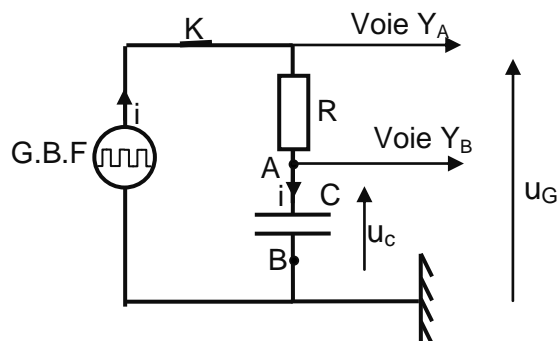
$$t_c \approx 5\tau = 5.RC$$

Le temps de charge augmente avec R et avec C.

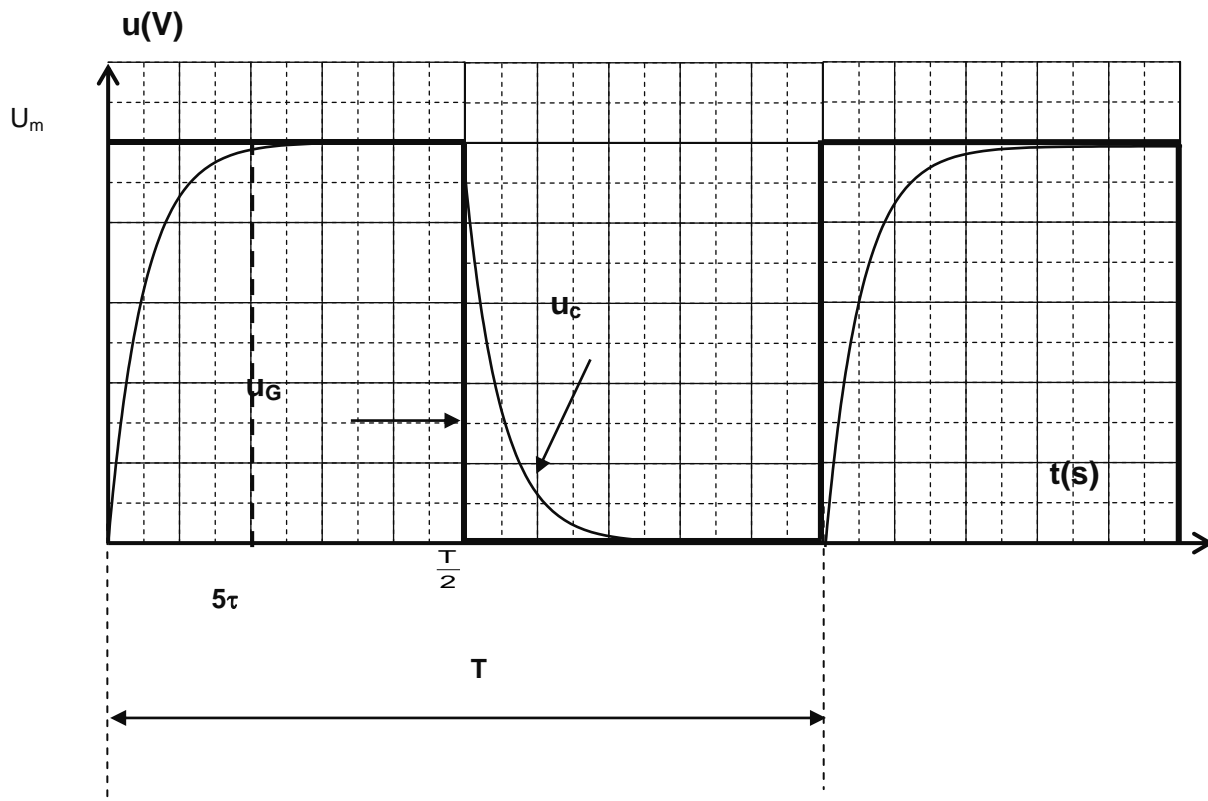
Pour $t < 5\tau$, on a le régime transitoire.

Pour $t \geq 5\tau$, on a le régime permanent

- la réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension est la charge progressive du condensateur : c'est un phénomène transitoire.
- Charge d'un condensateur par une tension créneaux.

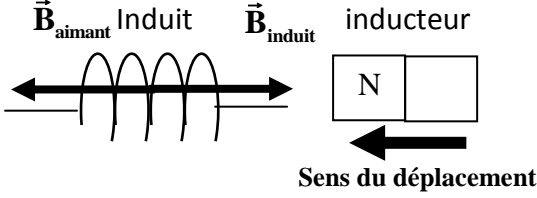

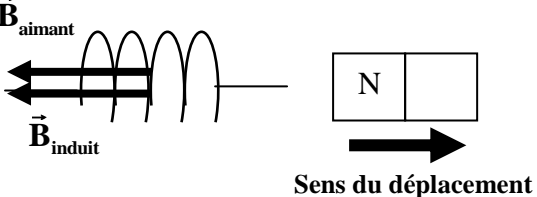


Pour $5\tau < \frac{T}{2}$, pendant une demi-période la tension u_c peut atteindre sa valeur finale donc on observe les courbes suivantes (les deux voies ont la même sensibilité verticale) :



Le circuit RL

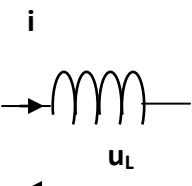
- Dipôle RL : association série d'une bobine d'inductance L et d'un résistor R.

INDUCTION MAGNETIQUE	AUTO-INDUCTION MAGNETIQUE
	
	<p style="text-align: center;">La bobine joue à la fois l'inducteur et l'induit</p> <ul style="list-style-type: none"> • lorsque la bobine est à la fois l'inducteur et l'induit le phénomène s'appelle auto-induction. • Une bobine traversée par un courant électrique variable est le siège d'une auto-induction. <p>L'auto-induction traduit l'opposition d'une bobine à toute variation de courant. La f.é.m d'auto-induction e</p> <div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 10px auto; padding: 5px;"> $e = -L \frac{di}{dt}$ </div>
<p>Toute variation de champ magnétique à proximité d'une bobine en circuit fermé produit un courant induit. Le phénomène s'appelle induction magnétique. L'élément qui crée le champ magnétique est l'inducteur et la bobine est l'induit.</p>	

La loi de LENZ

Le courant induit s'oppose par ses effets à la cause qui lui donne naissance.

- Une bobine parcourue par un courant électrique emmagasine une énergie magnétique.
- La tension aux bornes de la bobine (L, r) est :



$$u_L(t) = L \frac{di}{dt} + r \cdot i$$

L'énergie magnétique

$$E_L = \frac{1}{2} L \cdot i^2 \text{ (joule)}$$

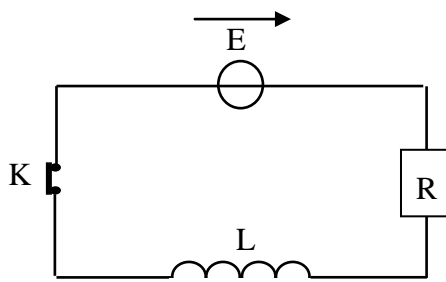
L : inductance de la bobine qui s'exprime en Henry (H)

<p>Bobine purement inductive ou idéale</p> <p>$r = 0$</p>	<p>en régime permanent $i = I_{\max} = \text{constante}$</p> $u_L(t) = L \frac{dI_{\max}}{dt} + r I_{\max} = R I_{\max}$ <p>en régime permanent, la bobine joue le rôle d'un résistor de résistance r</p>
---	--

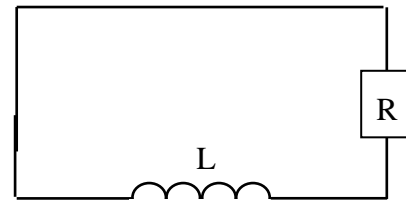
Etablissement du courant électrique

Rupture du courant

Montage électrique



Montage électrique



Equation différentielle en $i(t)$

Loi des mailles $u_L + u_R = E$

$$L \cdot \frac{di}{dt} + r \cdot i + R \cdot i = E \Leftrightarrow L \cdot \frac{di}{dt} + (r + R)i = E$$

$$\Leftrightarrow \frac{di}{dt} + \frac{R+r}{L} \cdot i = \frac{E}{L}$$

Loi des mailles $u_L + u_R = 0$

$$L \cdot \frac{di}{dt} + r \cdot i + R \cdot i = 0 \Leftrightarrow L \cdot \frac{di}{dt} + (r + R)i = 0$$

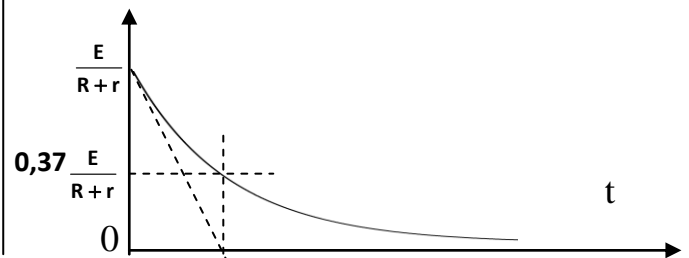
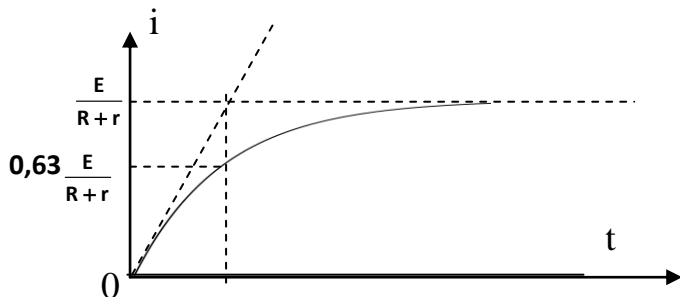
$$\Leftrightarrow \frac{di}{dt} + \frac{R+r}{L} \cdot i = 0$$

Solution de l'équation différentielle

$$i(t) = \frac{E}{R+r} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$i(t) = \frac{E}{R+r} \cdot e^{-t/\tau}$$

Courbe $i = f(t)$



La constante de temps τ est une grandeur caractéristique du dipôle RL, elle nous renseigne sur la rapidité avec laquelle s'effectue l'établissement du courant dans le circuit.

Constante de temps

$$\tau = \frac{L}{R+r}$$



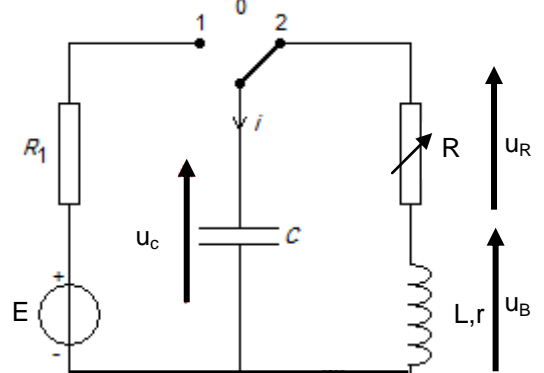
LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES LIBRES AMORTIES

Production des oscillations libres amorties

On place l'interrupteur sur la position 1 pour charger le condensateur puis on le place sur la position 2 pour avoir les oscillations électriques libres amorties (en cas de résistance R faible).

Avant la décharge, la charge initiale du condensateur est $Q_0=C.E$

Cette décharge s'appelle décharge oscillante car elle s'effectue dans une bobine.



Avec $R=30\ \Omega$ (faible), on obtient le graphe suivant :



influence de l'amortissement

On répète la même expérience en augmentant la valeur de la résistance R, on obtient les graphes suivants :

$R=50\ \Omega$		Régime pseudopériodique
$R=100\ \Omega$		Régime apériodique
$R=200\ \Omega$		Régime apériodique

Remarque : le régime critique correspond au passage le plus rapide de u_C vers sa valeur nulle et sans oscillations.

Equation différentielle

D'après la loi des mailles(K est en position 2) :

$$u_B + u_R + u_C = 0 \Leftrightarrow L \frac{di}{dt} + ri + Ri + u_c = 0 \Leftrightarrow L \frac{di}{dt} + ri + Ri + \frac{q}{C} = 0 \Leftrightarrow L \frac{di}{dt} + (R+r)i + \frac{q}{C} = 0 \text{ avec}$$
$$i = \frac{dq}{dt} \text{ et } \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \text{ donc : } \boxed{L \frac{d^2q}{dt^2} + (R+r) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0} \text{ ou } \boxed{\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{(R+r)}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0}$$

c'est l'équation différentielle qui régit les variations de la charge $q(t)$ du condensateur en régime libre amorti.

Remarque : on peut établir l'équation différentielle régissant les variations de la tension u_c aux bornes du condensateur en remplaçant $q = Cu_c$

$$L \frac{d^2(Cu_c)}{dt^2} + (R+r) \frac{d(Cu_c)}{dt} + \frac{Cu_c}{C} = 0 \Leftrightarrow LC \frac{d^2u_c}{dt^2} + (R+r)C \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

Non conservation de l'énergie totale d'un circuit RLC série

L'énergie totale $E = E_c + E_L$ avec

E_c : énergie électrique emmagasinée dans le condensateur.

E_L : énergie magnétique emmagasinée dans la bobine.

$$\boxed{E = \frac{1}{2}cu_c^2 + \frac{1}{2}Li^2}$$

De même ici pour voir comment varie l'énergie totale E , on doit calculer sa dérivée :

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{2}C \frac{d(u_c^2)}{dt} + \frac{1}{2}L \frac{d(i^2)}{dt}$$

avec $u_c(t)$ et $i(t)$ sont deux fonctions de temps(et non pas des valeurs constantes).

$$\boxed{\text{Rappel : dérivée d'une fonction carré : } (f^2(t))' = \frac{d(f^2)}{dt} = 2f(t)f'(t)}$$

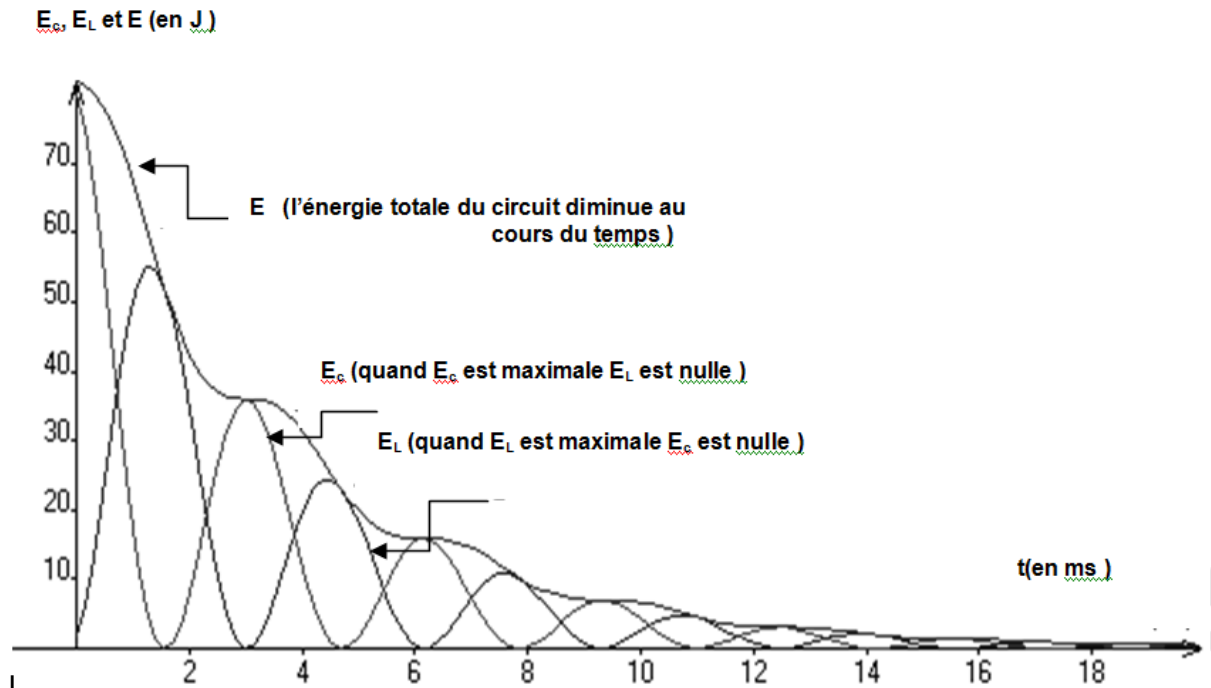
$$\frac{d(u_c^2)}{dt} = 2u_c \frac{du_c}{dt} \text{ et } \frac{d(i^2)}{dt} = 2i \frac{di}{dt} \quad \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2}C2u_c \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{2}L2i \frac{di}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = u_c C \frac{du_c}{dt} + Li \frac{di}{dt} \text{ or } C \frac{du_c}{dt} = i \text{ donc } \frac{dE}{dt} = u_c i + Li \frac{di}{dt} = i(u_c + L \frac{di}{dt})$$

d'après la loi des mailles $u_c + L \frac{di}{dt} = -(R+r)i$

$$\boxed{\frac{dE}{dt} = i(-(R+r)i) = -(R+r)i^2} \Leftrightarrow \frac{dE}{dt} < 0 \text{ donc } E \text{ est décroissante.}$$

⇔



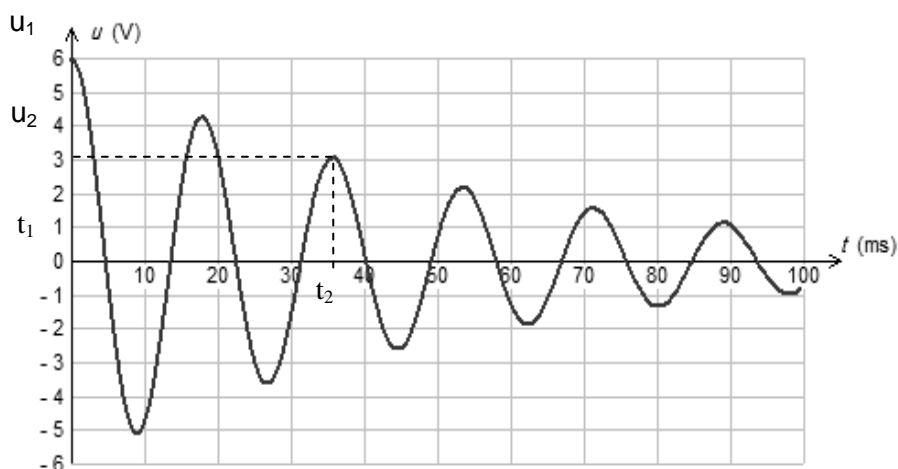
L'énergie totale d'un circuit RLC série diminue au cours du temps.

Calcul de l'énergie perdue pendant une durée $\Delta t = t_2 - t_1$

Exemple : on prend $t_1 = 0$ s et $t_2 = 35$ ms. En ces deux dates, u_c est maximale donc E_e est maximale d'où E_L est nulle (car lorsque u_c est maximale $\frac{du_c}{dt} = 0$ or $i = C \frac{du_c}{dt}$ donc $i=0$ d'où $E_L = 0$).

A t_1 , $E_1 = E_e(t=t_1) = \frac{1}{2} C u_1^2$ et à $t=t_2$ on a $E_2 = E_e(t=t_2) = \frac{1}{2} C u_2^2$ donc l'énergie dissipée par effet joule dans $(R + r)$ ou perdue est égale à

$$E_{\text{dissipée}} = E_1 - E_2 = \frac{1}{2} C (u_1^2 - u_2^2).$$



LES OSCILLATIONS LIBRES NON AMORTIES

Production des oscillations électriques libres non amorties

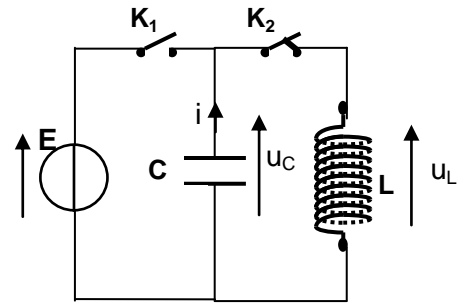
L'interrupteur K_1 est fermé, K_2 est ouvert

On considère le circuit électrique schématisé ci-dessous, lorsque le condensateur se charge complètement, sa charge est maximale Q_{\max} . D'après la loi des mailles :

$$u_G - u_C = 0$$

$$E - \frac{Q_{\max}}{C} = 0$$

$$\boxed{Q_{\max} = CE}$$

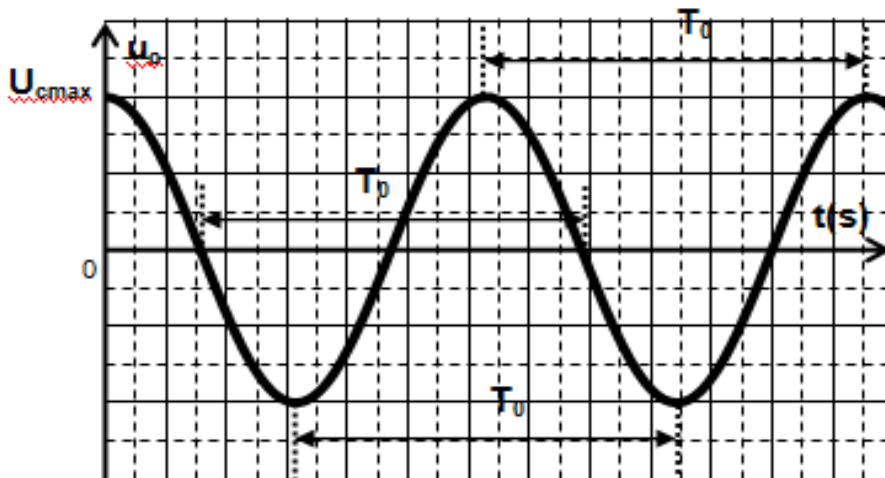


L'énergie électrique emmagasinée par le condensateur est

$$\boxed{E_e = \frac{1}{2} \frac{Q_{\max}^2}{C} = \frac{1}{2} CE^2 \text{ avec } E : \text{f.e.m}}$$

L'interrupteur K_1 est ouvert, K_2 est fermé

Le condensateur se décharge dans une inductance pure, on obtient des oscillations électriques libres non amorties (oscillations sinusoïdales). Voici les variations de la tension u_C aux bornes du condensateur :



Avec T_0 est la période propre du circuit LC.

Equation différentielle

d'après la loi des mailles (K_1 est ouvert et K_2 est fermé) : la décharge du condensateur dans une inductance pure.

$$u_C + u_L = 0 \Leftrightarrow \frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = 0 \text{ or } i = \frac{dq}{dt} \text{ donc } \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \Leftrightarrow \frac{q}{C} + L \frac{d^2q}{dt^2} = 0$$

$$\boxed{\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{LC} = 0}$$

Equation différentielle des oscillations électriques libres non amorties de pulsation propre ω_0 tel que

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \text{ et de période propre } \boxed{T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}}$$

Solution de l'équation différentielle

L'équation différentielle précédente a pour solution :

$$q(t) = Q_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_q) \quad \text{avec :}$$

Q_{\max} : amplitude.

$\omega_0 t + \varphi_q$: phase de la charge $q(t)$ à la date t .

φ_q : phase initiale de la charge $q(t)$. (phase à $t=0$)

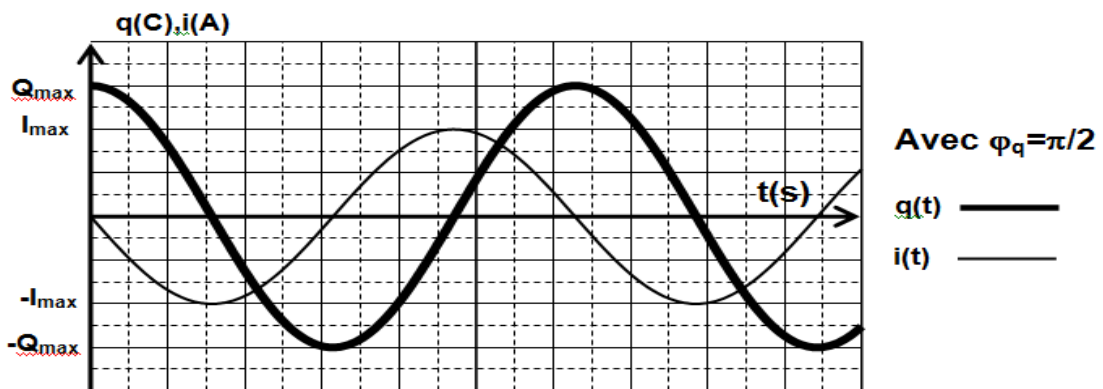
On peut avoir de même l'expression de $i(t) = \frac{dq}{dt}$:

Expression de $i(t)$

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \Leftrightarrow i(t) = \omega_0 Q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_q) = \omega_0 Q_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_q + \pi/2).$$

Or $i(t)$ comme toute fonction sinusoidale elle s'écrit sous la forme

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_i)$$



$$\text{Donc } \begin{cases} I_{\max} = \omega_0 Q_{\max} \\ \varphi_i = \varphi_q + \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

D'après le graphe, on remarque que lorsque :

$$q = \pm Q_{\max} ; i = 0 \quad \text{et} \quad i = \pm I_{\max} ; q = 0 \quad \text{càd lorsque :}$$

le condensateur est complètement chargé, la bobine est vide.

le condensateur est vide, le courant dans la bobine atteint sa valeur maximale.

Conservation de l'énergie électrique

$E = E_e + E_L$, l'énergie électrique peut être notée E_e ou E_c .

$$E = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} \Leftrightarrow E = \frac{Q_{\max}^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_q) + L\omega_0^2 Q_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_q) \text{ or } \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$E = \frac{Q_{\max}^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_q) + L \frac{1}{LC} Q_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_q)$$

$$= \frac{Q_{\max}^2}{2C} \underbrace{(\sin^2(\omega_0 t + \varphi_q) + \cos^2(\omega_0 t + \varphi_q))}_1$$

1

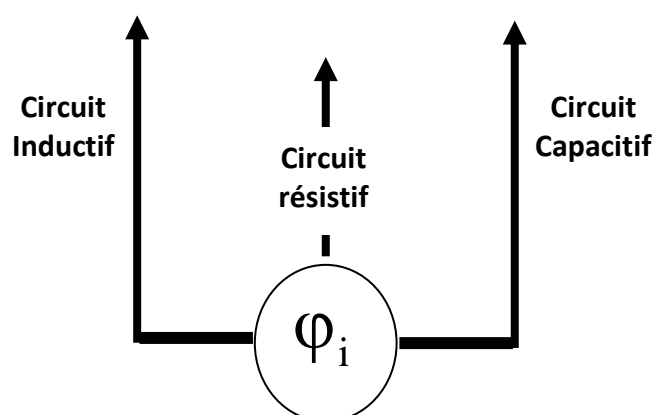
$$\boxed{E = \frac{1}{2C} Q_{\max}^2} \quad \text{or} \quad \frac{1}{C} = L\omega_0^2 \lim_{x \rightarrow \infty} \quad \text{donc} \quad E = \frac{L}{2} \omega_0^2 Q_{\max}^2 \quad \text{et comme} \quad I_{\max} = \omega_0 Q_{\max} \quad \text{d'où :} \quad \boxed{E = \frac{1}{2} LI_{\max}^2}$$

Oscillateur mécanique libre non amorti	Oscillateur électrique libre non amorti
Equation différentielle	
$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$	$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$
$w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$w_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$
Solution de l'équation différentielle	
$x(t) = X_m \sin(w_0t + \varphi_x)$	$q(t) = Q_m \sin(w_0t + \varphi_q)$
<u>A la Résonance de vitesse</u> $w = w_0$ F et v sont en phase	<u>Résonance d'intensité</u> $w = w_0$ u et i sont en phase
Oscillateur mécanique libre amorti	Oscillateur électrique libre amorti
Equation différentielle	
$m \frac{d^2x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = 0$	$L \frac{d^2q}{dt^2} + R_T \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C}q = 0$
Solution de l'équation différentielle : pas demandée	
Oscillateur mécanique forcé	Oscillateur électrique forcé
Equation différentielle	
$m \frac{d^2x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = F_m \sin(\omega t + \varphi_F)$	$L \frac{d^2q}{dt^2} + R_T \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C}q = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$
F(t) est toujours en avance de phase par rapport à x(t)	u(t) est toujours en avance de phase par rapport à q(t)

$X_m = \frac{F_m}{\sqrt{h^2 \omega^2 + (k - m\omega^2)^2}}$ <p>A la résonance d'élongation</p> $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{h^2}{2m^2}}$ <p>Condition sur h : $h < m\omega_0 \cdot \sqrt{2}$</p>	$Q_m = \frac{U_m}{\sqrt{R_T^2 \omega^2 + \left(\frac{1}{C} - L\omega^2\right)^2}}$ <p>A la résonance de charge</p> $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{R_T^2}{2L^2}}$ <p>Condition sur R_T : $R_T < L\omega_0 \cdot \sqrt{2}$</p>
<p>Equation différentielle en v(t)</p> $m \frac{dv}{dt} + h \cdot v + k \int v \cdot dt = F_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_F)$ $V_m = \frac{F_m}{\sqrt{h^2 + \left(\frac{k}{\omega} - m\omega\right)^2}}$	<p>Equation différentielle en i(t)</p> $L \frac{di}{dt} + R_T \cdot i + \frac{1}{C} \int i \cdot dt = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_u)$ $I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R_T^2 + \left(\frac{1}{C\omega} - L\omega\right)^2}}$
<p>Puissance mécanique moyenne</p> $P_m = \frac{F_m V_m}{2} \cos(\varphi_v - \varphi_F)$ <p>Résonance de puissance moyenne F et v sont en phase</p>	<p>Puissance électrique moyenne</p> $P_m = \frac{U_m I_m}{2} \cos(\varphi_i - \varphi_u) = UI \cos(\varphi_i - \varphi_u)$ <p>Résonance de puissance moyenne u et i sont en phase</p>

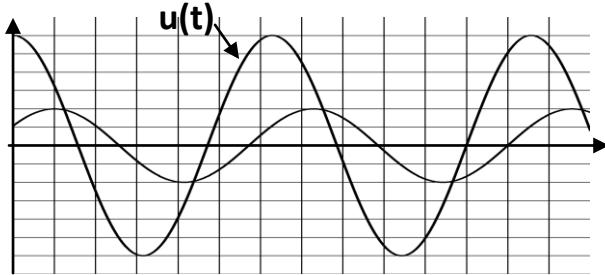
Pour les oscillateurs électriques forcés, on a toujours

$$\varphi_{uC} < \dots < \varphi_u < \dots < \varphi_{uL}$$

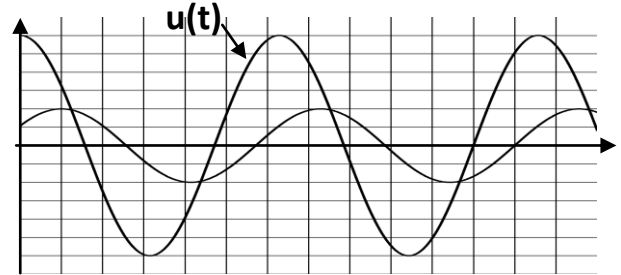


Des astuces pour résoudre un exercice sur les oscillateurs électriques forcés

Si les courbes fournies sont
 $u(t)$ et $u_R(t)$



Si les courbes fournies sont
 $u(t)$ et $u_C(t)$



Pour identifier les courbes il suffit de
comparer les impédances Z et Z_R

On a toujours $Z > Z_R \Leftrightarrow U_m > U_{Rm}$

La courbe qui possède l'amplitude la plus
grande est celle aux bornes du GBF
(attention aux sensibilités verticales)

à partir de la courbe $u_R(t)$ on peut
déterminer la valeur de $I_m = \frac{U_{Rm}}{R}$

on peut déterminer facilement la valeur de
l'impédance du circuit $Z = \frac{U_m}{I_m}$

On peut connaître la nature du circuit
(inductif , capacitif ou résistif)
par le calcul de $|\Delta\varphi| = |\varphi_u - \varphi_{uR}| = |\varphi_u - \varphi_i|$

la résistance interne de la bobine peut être
déterminée à partir de la valeur de
l'impédance électrique à la résonance
d'intensité ou par la construction de Fresnel

$$\cos \Delta\varphi = \frac{R+r}{Z}$$

la détermination des grandeurs électriques
inconnues (R, r, C, \dots) nous permet de
calculer le facteur de surtension Q

la courbe qui est en avance de phase est celle
aux bornes du GBF

à partir de la courbe $u_C(t)$ on peut déterminer
la valeur de I_m

$$U_{Cm} = \frac{I_m}{C \cdot \omega} \Leftrightarrow I_m = C \cdot \omega \cdot U_{Cm}$$

on peut déterminer facilement la valeur de
l'impédance du circuit $Z = \frac{U_m}{I_m}$

On peut connaître la nature du circuit
(inductif , capacitif ou résistif)
par le calcul de $|\Delta\varphi| = |\varphi_u - \varphi_{uC}|$

$$\varphi_{uC} = \varphi_i - \frac{\pi}{2}$$

on peut déterminer facilement la valeur du
facteur de surtension avec ou sans utiliser les
grandeurs électriques (R, r, C, \dots)

$$Q = \frac{U_{Cm}}{U_m} = \frac{L\omega_0}{R+r} = \frac{1}{R+r} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

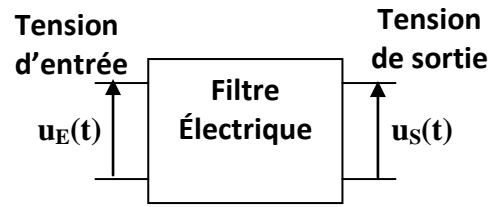
Si $Q > 1$: phénomène de surtension

Le voltmètre indique une tension efficace $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

L'ampèremètre indique une intensité efficace $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

LES FILTRES ELECTRIQUES

Un filtre de fréquence est un quadripôle linéaire (2 bornes d'entrées, et 2 bornes de sorties), qui ne laisse passer que les signaux compris dans un domaine de fréquence limité, appelé la bande passante.



Transmittance d'un filtre T

$T = \frac{U_{sm}}{U_{em}}$	<ul style="list-style-type: none"> - Si $T = 1$: transmission sans atténuation. - Si $T < 1$: il y a atténuation du signal d'entrée - Si $T > 1$: il y a amplification du signal d'entrée. <p style="text-align: center;">gain d'un filtre</p>
-----------------------------	--

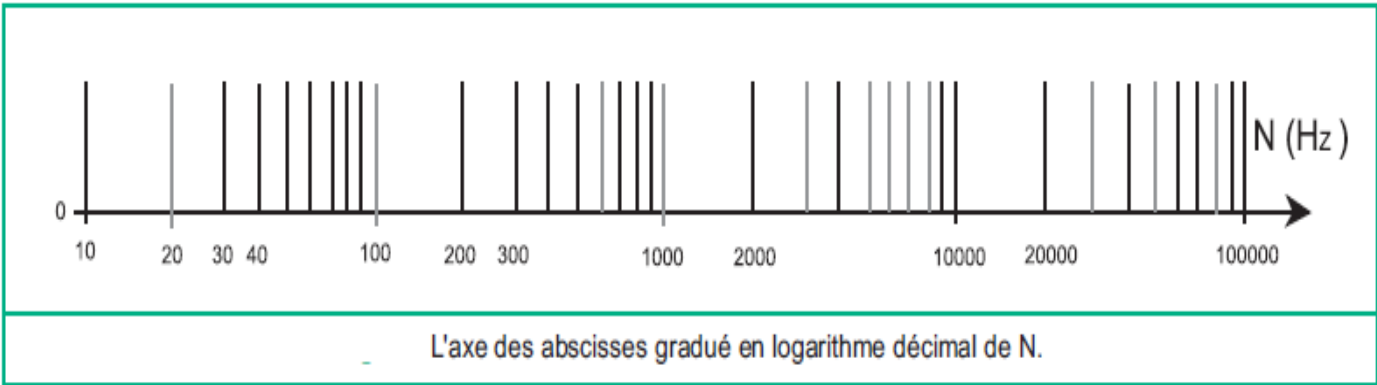
le gain d'un filtre , noté G , est donné par la relation :

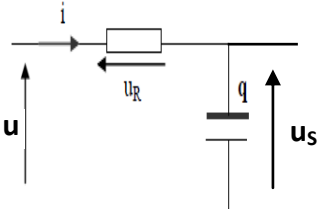
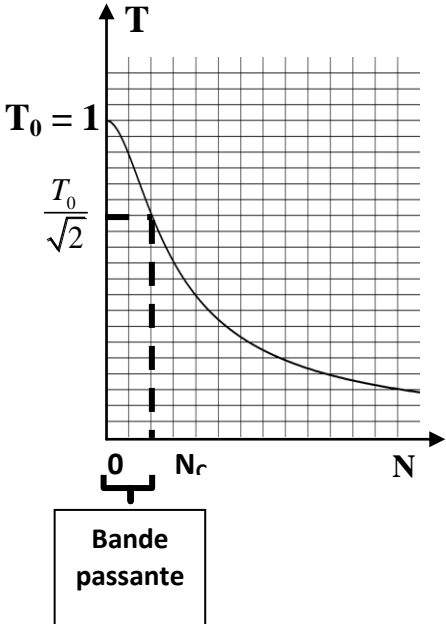
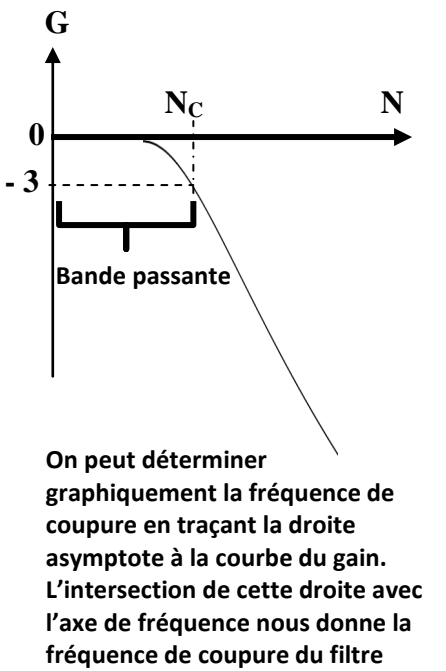
$G = 20 \cdot \log(T)$	qui s'exprime en décibel (dB)
------------------------	---------------------------------

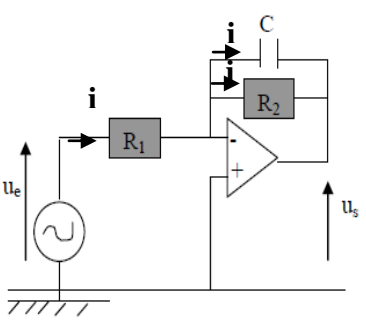
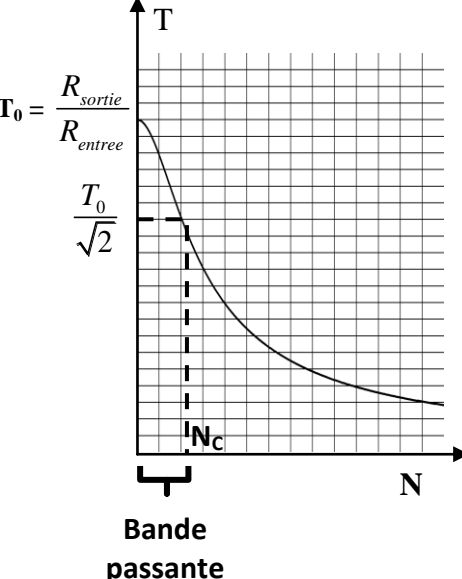
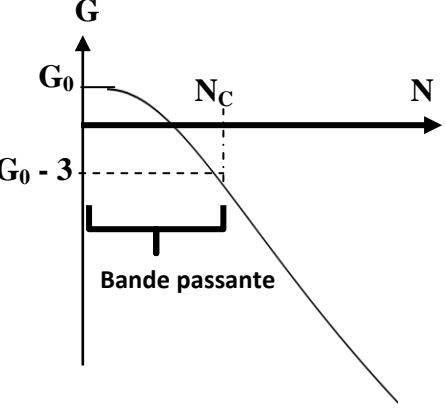
Un filtre est dit passant si :

$$T \geq \frac{T_0}{\sqrt{2}} \quad \text{ou bien} \quad G \geq G_0 - 3 \text{ dB}$$

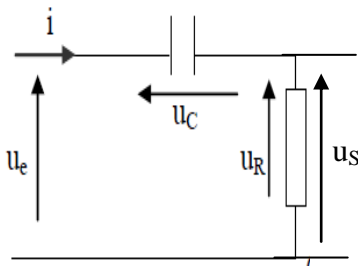
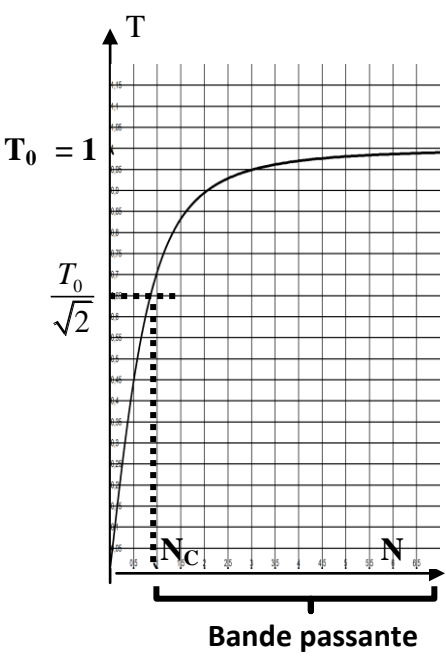
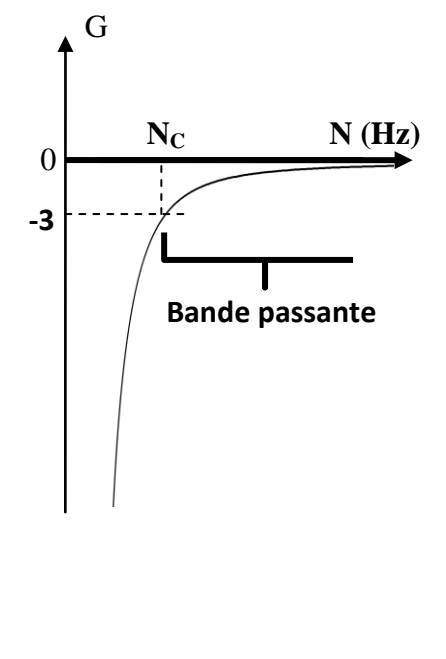
La courbe $T = f(N)$ ou $G = g(N)$ représente la réponse du filtre où N représente la fréquence du signal d'entrée



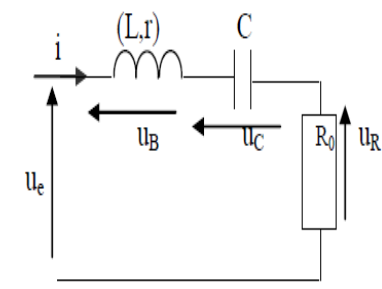
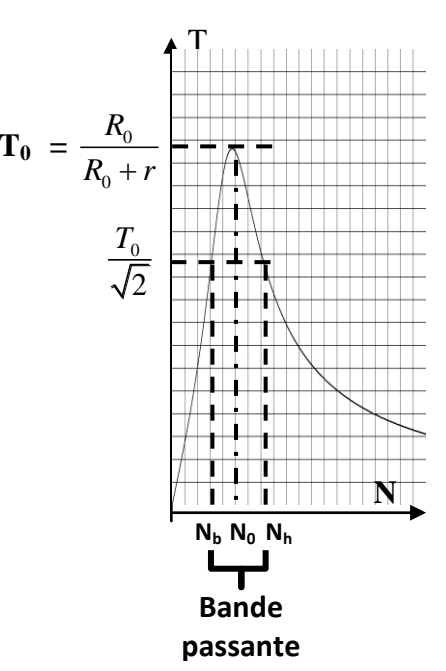
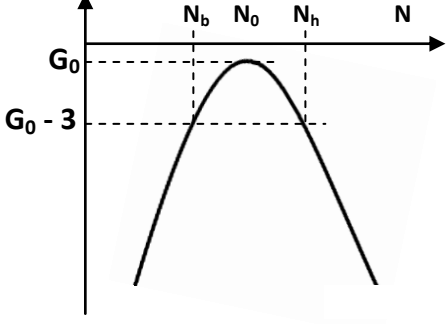
Filtre passe-bas passif		
Schéma du circuit électrique	$T = f(N)$	$G = g(N)$
		 <p>On peut déterminer graphiquement la fréquence de coupure en traçant la droite asymptote à la courbe du gain. L'intersection de cette droite avec l'axe de fréquence nous donne la fréquence de coupure du filtre</p>
<p>Transmittance T</p> $T = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi NRC)^2}}$ <p>$T_0 = 1$</p> <p>$u_e(t)$ est toujours en avance de phase par rapport à $u_s(t)$</p>		

Filtre passe-bas actif		
Schéma du circuit électrique	$T = f(N)$	$G = g(N)$
		 <p>On peut déterminer graphiquement la fréquence de coupure en traçant la droite asymptote à la courbe du gain. L'intersection de cette droite avec la droite horizontale $G = G_{max}$ nous donne la fréquence de coupure du filtre</p>
<p>Transmittance T</p> $T = \frac{R_{sortie}}{R_{entree} \sqrt{1+(2\pi NRC)^2}}$ <p>$T_0 = \frac{R_{sortie}}{R_{entree}}$</p>		

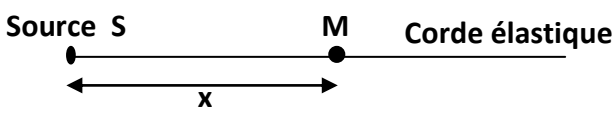
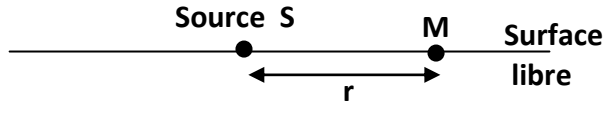
Filtre passe-haut

Schéma du circuit électrique	T = f(N)	G = g(N)
 <p style="text-align: center;">Transmittance T</p> $T = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(2\pi NRC)^2}}}$ <p style="text-align: center;">$T_0 = 1$</p>	 <p style="text-align: center;">$T_0 = 1$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{T_0}{\sqrt{2}}$</p> <p style="text-align: center;">N_C N</p> <p style="text-align: center;">Bande passante</p>	 <p style="text-align: center;">N_C N (Hz)</p> <p style="text-align: center;">0</p> <p style="text-align: center;">-3</p> <p style="text-align: center;">Bande passante</p>

Filtre passe-bande

Schéma du circuit électrique	T = f(N)	G = g(N)
 <p style="text-align: center;">Transmittance T</p> $T = \frac{R_0}{\sqrt{(R_0 + r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$ <p style="text-align: center;">$T = \frac{R_0}{Z}$</p>	 <p style="text-align: center;">$T_0 = \frac{R_0}{R_0 + r}$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{T_0}{\sqrt{2}}$</p> <p style="text-align: center;">N_b N_0 N_h N</p> <p style="text-align: center;">Bande passante</p>	 <p style="text-align: center;">N_b N_0 N_h N</p> <p style="text-align: center;">G_0</p> <p style="text-align: center;">$G_0 - 3$</p> <p style="text-align: center;">La largeur de la bande passante est donnée par la différence $N_h - N_b$ des fréquences de coupures.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $N_h - N_b = \frac{N_0}{Q} = \frac{R + r}{2\pi L}$ </div> <p style="text-align: center;">N_0 : fréquence à la résonance d'intensité</p> <p style="text-align: center;">Q : facteur de qualité</p>

ondes progressives

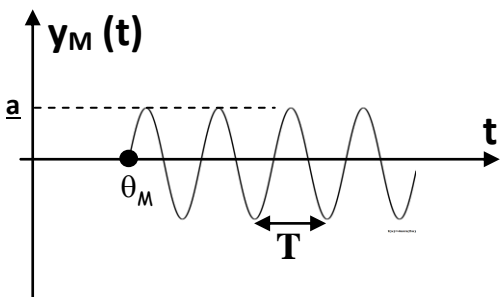
Corde élastique	surface libre d'un liquide
	
M reproduit le mouvement de la source avec un retard horaire $\theta_M = \frac{x}{C}$	M reproduit le mouvement de la source avec un retard horaire $\theta_M = \frac{r}{C}$
$y_M(t, x) = y_S(t - \theta)$	$y_M(t, r) = y_S(t - \theta)$
$y_M(t) = a \sin(\omega(t - \theta) + \varphi_S)$ $= a \sin(\omega t - \omega\theta + \varphi_S)$ $= a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{T C} + \varphi_S\right)$	$y_M(t) = a \sin(\omega(t - \theta) + \varphi_S)$ $= a \sin(\omega t - \omega\theta + \varphi_S)$ $= a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi r}{T C} + \varphi_S\right)$
$y_M(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_S\right)$ si $t \geq \theta$	$y_M(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda} + \varphi_S\right)$ si $t \geq \theta$

L'onde présente une double périodicité:

une périodicité temporelle de période T (exprimée en secondes).

une périodicité spatiale ou longueur d'onde λ (exprimée en mètres).

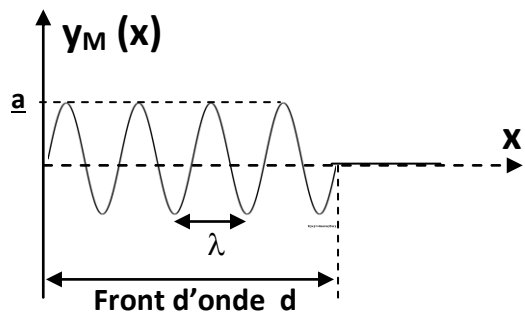
<h2>Sinusoïde des temps</h2> <p>La position du point est fixe</p>	<h2>Sinusoïde des espaces</h2> <p>Ou aspect (cas d'une corde) Ou coupe (cas d'un liquide) Le temps est fixe</p>
---	---



T : période temporelle

Longueur d'onde (λ)
C'est la distance parcourue par l'onde progressive pendant la durée T

$$\lambda = C.T = \frac{C}{N}$$



λ : période spatiale

Front d'onde (d)
C'est la distance parcourue par l'onde progressive pendant la durée t

$$d = C.t$$

En observant la sinusoïde des temps on peut savoir directement la valeur de φ_S :
 Lorsque la sinusoïde commence, à l'instant θ , en se dirigeant dans le sens positif $\varphi_S = 0 \text{ rad}$.
 Lorsque la sinusoïde commence, à l'instant θ , en se dirigeant dans le sens négatif $\varphi_S = \pi \text{ rad}$.

En observant la sinusoïde des espaces on peut savoir directement la valeur de φ_S :
 Lorsque le front d'onde se termine par un minimum ou creux (cas d'un liquide) $\varphi_S = \pi \text{ rad}$
 Lorsque le front d'onde se termine par un maximum ou crête (cas d'un liquide) $\varphi_S = 0 \text{ rad}$

Effet d'une lumière stroboscopique

N : fréquence des vibrations

Ne : fréquence du stroboscope

<p>Si $\frac{N}{N_e} = K$ Immobilité apparente</p>	<p>Si $\frac{N}{N_e}$ est légèrement supérieur à K Mouvement ralenti dans le sens réel</p>	<p>Si $\frac{N}{N_e}$ est légèrement inférieur à K Mouvement ralenti dans le sens inverse</p>
--	--	---

K est un entier non nul

Vibration des points remarquables

<p>Point vibrant en phase par rapport à la source</p> <p>$x \text{ ou } r = k \cdot \lambda$</p> <p>$k \in \mathbb{Z}^*$</p>	<p>Point vibrant en opposition phase par rapport à la source</p> <p>$x \text{ ou } r = \frac{\lambda}{2} + k \cdot \lambda$</p> <p>$k \in \mathbb{Z}$</p>	<p>Point vibrant en quadrature avance de phase par rapport à la source</p> <p>$x \text{ ou } r = -\frac{\lambda}{4} + k \cdot \lambda$</p> <p>$k \in \mathbb{Z}^*$</p>	<p>Point vibrant en quadrature retard de phase par rapport à la source</p> <p>$x \text{ ou } r = \frac{\lambda}{4} + k \cdot \lambda$</p> <p>$k \in \mathbb{Z}$</p>
--	---	--	---

Partie Chimie

Equilibre chimique

Toute réaction limitée aboutit à un état d'équilibre dynamique (ou chimique).

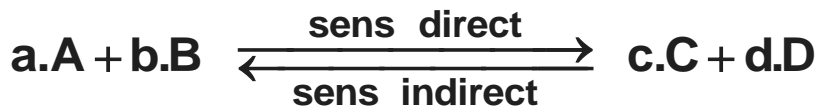
Un système chimique est en équilibre dynamique si, en dehors de toute intervention du milieu extérieur, les réactifs et les produits sont présents dans le système et leurs quantités de matière ne changent pas au cours du temps.



Taux d'avancement final $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$	
Une réaction est dite totale	si $x_f = x_{\max}$ ou $\tau_f = 1$
Une réaction est dite limitée	si $x_f < x_{\max}$ ou $\tau_f < 1$

Loi d'action de masse

Soit la réaction chimique suivante :



Fonction des concentrations π
$\pi = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$

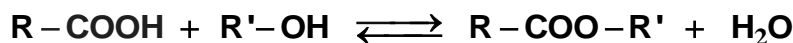
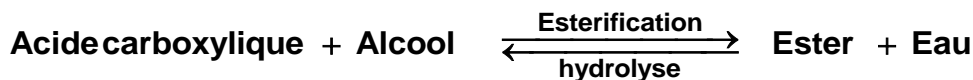
Constante d'équilibre K
$K = \left(\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \right)_{\text{éq}}$

Si $\pi < K$ Le sens direct est spontané
Si $\pi = K$ équilibre dynamique
Si $\pi > K$ Le sens indirect est spontané

La constante d'équilibre K ne dépend que de la température

Remarque : Pour la fonction usuelle des concentrations (utilisée lors de la résolution des exercices), on ne fait pas figurer les concentrations des liquides purs, des solides purs ou des solvants. Leurs concentrations seront remplacées par 1.

L'estérification est une réaction chimique entre un acide carboxylique R-COOH et un alcool R'-OH pour donner un ester R-COO-R' et de l'eau.



Rappel :

Alcool $C_nH_{2n+1}OH$	Acide carboxylique $C_nH_{2n+1}COOH$
CH_3-OH : méthanol	H-COOH Acide méthanoïque
C_2H_5-OH : éthanol	CH_3-COOH Acide éthanoïque ou acide acétique
$C_2H_5-CH_2-OH$: propan-1-ol	C_2H_5-COOH Acide propanoïque

lente, limitée et athermique.

Tableaux d'avancement en fonction de l'avancement x (en mol)

Eq de la réaction		a.A + b.B \rightleftharpoons c.C + d.D			
A t = 0 s	0	n ₁	n ₂	0	0
A t > 0 s	x	n ₁ - a.x	n ₂ - b.x	c.x	d.x
A t _{final}	x _f	n ₁ - a.x _f	n ₂ - b.x _f	c.x _f	d.x _f

Tableaux d'avancement en fonction de l'avancement volumique y (en mol.L⁻¹)

Si les réactifs et les produits d'un système chimique constituent une seule phase et si la transformation se produit à volume constant V, on peut définir l'avancement volumique y :

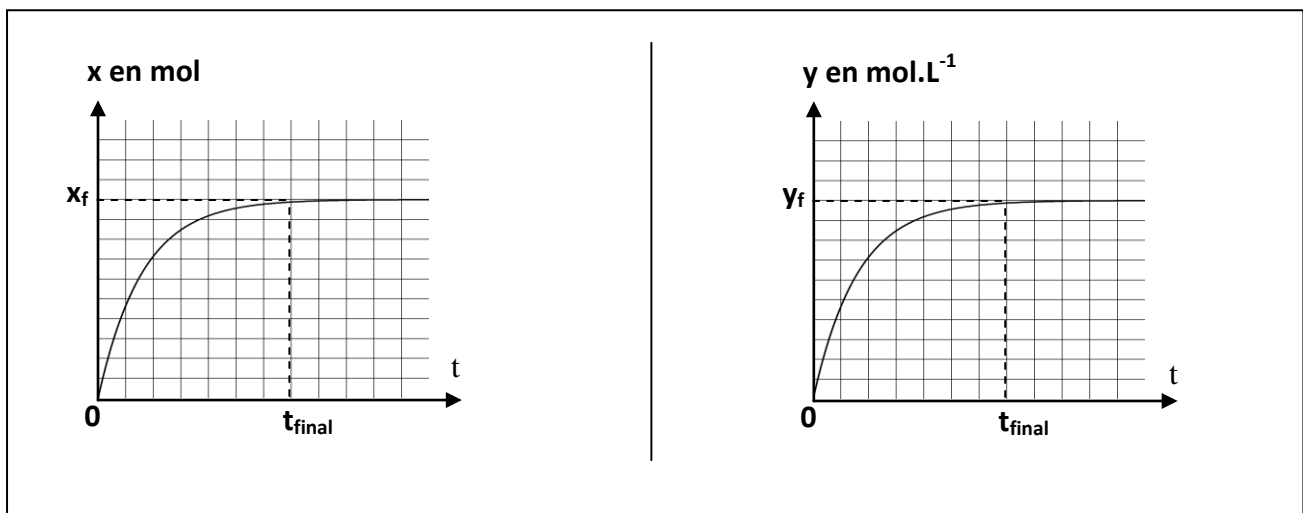
$$y = \frac{x}{V}$$

Eq de la réaction		a.A + b.B \rightleftharpoons c.C + d.D			
A t = 0 s	0	C ₁	C ₂	0	0
A t > 0 s	y	C ₁ - a.y	C ₂ - b.y	c.y	d.y
A t _{final}	y _f	C ₁ - a.y _f	C ₂ - b.y _f	c.y _f	d.y _f

L'avancement maximal et le réactif limitant

Lorsqu'une réaction est considérée totale, elle ne s'arrête qu'en l'absence d'au moins un réactif : le réactif ayant totalement disparu en fin de réaction est nommé réactif limitant

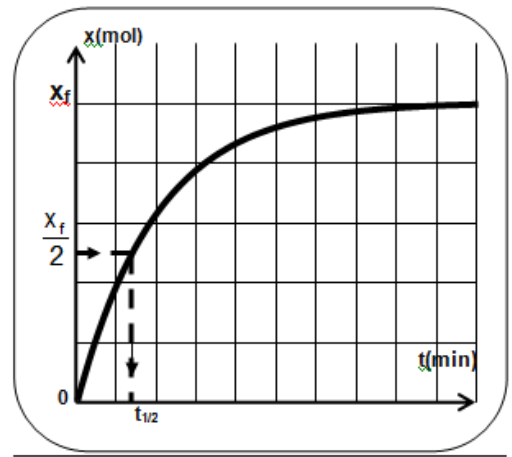
courbes d'évolution



Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$

Le temps de demi-réaction, noté $t_{1/2}$, correspond au temps nécessaire pour que l'avancement x soit parvenu à la moitié de sa valeur finale.

$$\text{Pour } t = t_{1/2} \text{ on a } x = \frac{x_f}{2}$$



Le temps de demi-réaction est déterminé graphiquement.
A l'aide de la courbe représentant l'avancement $x=f(t)$.

$t_{1/2}$ est l'abscisse du point d'ordonnée $\frac{x_f}{2}$

Lois de modération

Les facteurs d'équilibre sont :

- * Concentration de l'un des constituants.
- * Température (Si la réaction n'est pas athermique)
- * La pression (Si le système chimique renferme au moins un gaz)

Effet de la variation d'une concentration à température constante sur un système chimique en équilibre

Toute augmentation (diminution) de la concentration de l'un des constituants, à température constante, d'un système chimique initialement en équilibre, favorise la réaction qui tend à diminuer (augmenter) cette concentration

Effet de la variation de température à pression constante sur un système chimique fermé en équilibre

- Une réaction athermique est une réaction au cours de laquelle la température reste constante.
- Une réaction exothermique est une réaction au cours de laquelle la température augmente.
- Une réaction endothermique est une réaction au cours de laquelle la température diminue.

Effet de la variation de température à pression constante sur un système chimique fermé en équilibre

Toute augmentation de la température, à pression constante, d'un système chimique fermé initialement en équilibre, favorise la réaction endothermique .

Toute diminution de la température, à pression constante, d'un système chimique fermé initialement en équilibre, favorise la réaction exothermique.

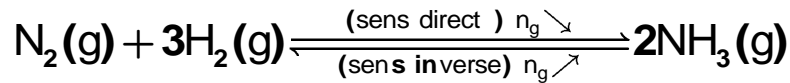
Effet de la variation de pression à température constante sur un système chimique fermé en équilibre

Toute augmentation (diminution) de la pression, à température constante, d'un système chimique fermé initialement en équilibre, favorise la réaction qui tend à diminuer (augmenter) le nombre total de moles gazeuses.



Remarque : Comment connaître la réaction qui tend à augmenter ou à diminuer le nombre de moles total de gaz ?

On va répondre par un exemple : On considère la réaction de diazote et de dihydrogène.



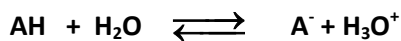
Attention : dans l'exemple précédent

Le sens direct s'appelle : synthèse.

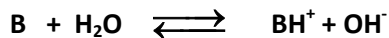
Le sens inverse s'appelle : Décomposition ou dissociation.

ACIDE - BASE

Un monoacide est une espèce chimique capable de céder un proton H^+ au cours d'une réaction chimique.



Une monobase est une espèce chimique capable de capter un proton H^+ au cours d'une réaction chimique.



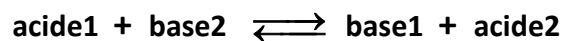
Un ampholyte (ou amphotère) est une espèce chimique qui, dans un couple, se présente comme un acide et dans un autre comme une base.

Exemple :

H_2O est un ampholyte on le trouve dans $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$ comme une base et dans $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-$ comme un acide

Loi d'action de masse appliquée aux réactions acide-base :

Soient les deux couples acide-base suivant : acide1 / base1 et acide2 / base2



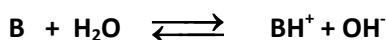
la constante d'équilibre de cette réaction est : $K = \frac{[\text{base1}] \cdot [\text{acide2}]}{[\text{base2}] \cdot [\text{acide1}]}$

Si $K > 1$: Le sens direct est spontané \Leftrightarrow (acide 1) est plus fort que (acide 2)
(base 2) est plus forte que (base 1)

Si $K = 1$: équilibre dynamique.

Si $K < 1$: Le sens indirect est spontané \Leftrightarrow (acide 2) est plus fort que (acide 1)
(base 1) est plus forte que (base 2)

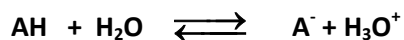
Constante De basicité K_b :



la constante d'acidité est :

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$$

Constante d'acidité K_a :



la constante d'acidité est :

$$K_a = \frac{[\text{A}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{AH}]}$$

Le couple acide-base ayant K_b la plus grande ou pK_b la plus petite présente la base la plus forte et l'acide le plus faible

Le couple acide-base ayant K_a la plus grande ou pK_a la plus petite présente l'acide le plus fort et la base la plus faible

$$pK_b = -\log(K_b)$$

$$K_b = 10^{-pK_b}$$

$$pK_a = -\log(K_a)$$

$$K_a = 10^{-pK_a}$$

$$K_a \cdot K_b = K_e$$

$$pK_a + pK_b = pK_e$$

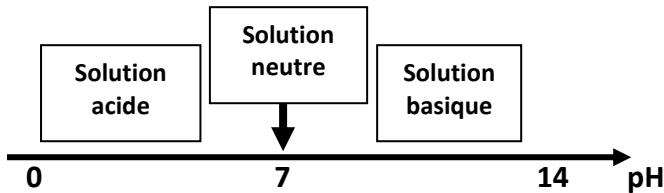
pH d'une solution aqueuse

La formule de pH est applicable uniquement pour les solutions de concentration molaire

$$10^{-6} \text{ mol.L}^{-1} \leq C \leq 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$



- milieu acide : $[\text{OH}^-]$ est négligeable devant $[\text{H}_3\text{O}^+]$
- milieu basique : $[\text{H}_3\text{O}^+]$ est négligeable devant $[\text{OH}^-]$
- milieu neutre : $[\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$

pH d'une solution aqueuse d'acide FORT

$$\text{pH} = -\log C_A$$

pH d'une solution aqueuse de base FORTE

$$\text{pH} = \text{pK}_e + \log C_B$$

On peut appliquer ces deux formules directement

le tableau d'avancement : il n'y a pas d'état intermédiaire car l'équilibre chimique s'établit instantanément.

Eq de la réaction		AH	+	H ₂ O	A ⁻	+	H ₃ O ⁺
A t = 0 s	0	C _A		excès	0		10 ^{-pK_e/2}
A t _{final}	y _f	C _A - y _f		excès	y _f		10 ^{-pK_e/2} + y _f

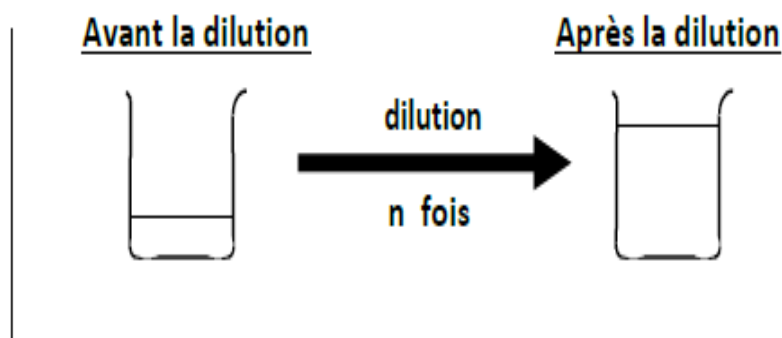
} 10^{-pH}

Eq de la réaction		B	+	H ₂ O	BH ⁺	+	OH ⁻
A t = 0 s	0	C _B		excès	0		10 ^{-pK_e/2}
A t _{final}	y _f	C _A - y _f		excès	y _f		10 ^{-pK_e/2} + y _f

} 10^{pH-pK_e}

Solution aqueuse	Acide fort	Base forte	Acide faible	Base faible
pH	$-\log C_A$ on peut appliquer cette formule directement	$pK_e + \log C_B$ on peut appliquer cette formule directement	Bac Sc et Maths	Bac Sc et Maths
Dissociation dans l'eau	totale $[H_3O^+] = C_A$	totale $[OH^-] = C_B$	faible $[H_3O^+] < C_A$	faible $[OH^-] < C_B$

Dilution des solutions acides et basiques



Volume	V	$V' = n.V = V + V_{\text{eau}}$
Concentration molaire	C	$C' = \frac{C}{n}$
pH	pH	pH'

Au cours de la dilution la quantité de matière ne change pas

$$C.V = C'.V'$$

Le taux d'avancement final le plus grand correspond à la solution (acide ou basique) la plus forte

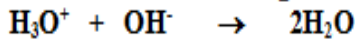
Pour des solutions aqueuses de même concentration molaire, le pH le plus proche de 7 correspond à la solution la plus faible.

une solution aqueuse acide ou basique est dite faiblement ionisée si $\tau_f < 0,05$

Dosage Acide – Base

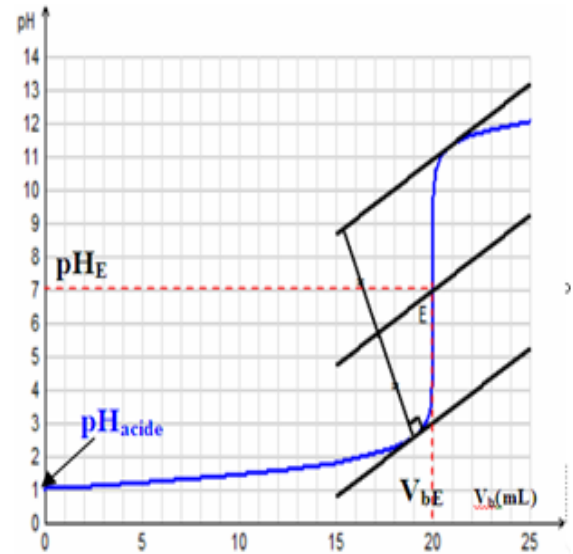
Dosage Acide fort – Base forte

- Faible variation de pH avant et après l'équivalence.
- Saut brusque de pH au voisinage du point d'équivalence.
- La courbe admet un point d'inflexion, c'est le point d'équivalence E
- $\text{pH}_E = 7$ la solution est neutre à l'équivalence
- Equation de la réaction du dosage



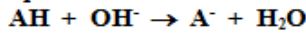
Cette réaction est totale car :

$$K = \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]} = 10^{14} \quad | \quad 25^\circ\text{C} \quad \text{donc } K \gg 10^4$$



Dosage Acide faible – Base forte

- Faible variation de pH avant et après l'équivalence.
- Saut brusque de pH au voisinage du point d'équivalence.
- La courbe admet deux points d'inflexion, le point d'équivalence E et le point de demi-équivalence $E_{1/2}$.
- $\text{pH}_E > 7$ la solution est basique à l'équivalence.
- Equation de la réaction du dosage

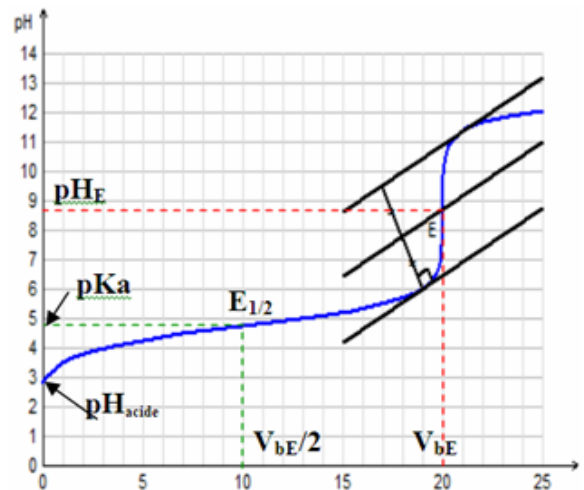


Cette réaction est totale car :

$$K = \frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}][\text{OH}^-]} = \frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}][\text{OH}^-]} \cdot \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{K_a}{K_e}$$

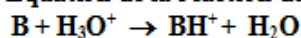
$$= 10^{pK_e - pK_a} = 1,57 \cdot 10^9 \quad \text{donc } K \gg 10^4$$

(dans notre cas le $\text{pK}_a = 4,8$.)



Dosage Acide fort – Base faible

- Faible variation de pH avant et après l'équivalence.
- Chute brusque de pH au voisinage du point d'équivalence.
- La courbe admet deux points d'inflexion, le point d'équivalence E et le point de demi-équivalence $E_{1/2}$.
- $\text{pH}_E < 7$ la solution est acide à l'équivalence
- Equation de la réaction du dosage

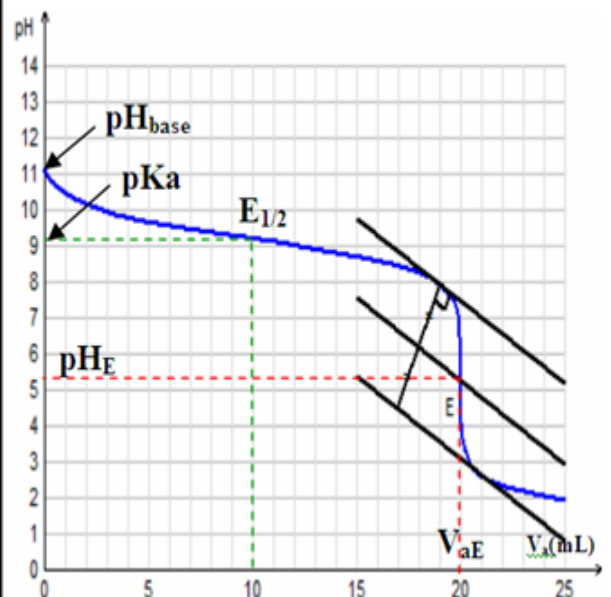


Cette réaction est totale car :

$$K = \frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}][\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}][\text{H}_3\text{O}^+]} \cdot \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{K_a} = 10^{pK_a}$$

$$= 1,57 \cdot 10^9 \quad \text{donc } K \gg 10^4$$

(dans notre cas le $\text{pK}_a = 9,2$.)



piles électrochimiques

Oxydant	Réducteur
C'est une entité chimique capable de capter un ou plusieurs électrons au cours d'une transformation chimique	C'est une entité chimique capable de libérer un ou plusieurs électrons au cours d'une transformation chimique
Oxydation	Réduction
C'est une réaction chimique au cours de la quelle il y a perte d'électrons	C'est une réaction chimique au cours de la quelle il y a gain d'électrons

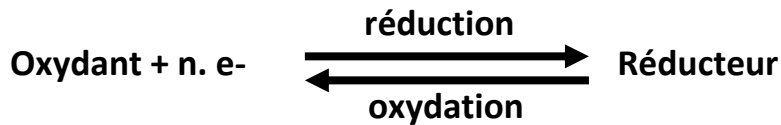
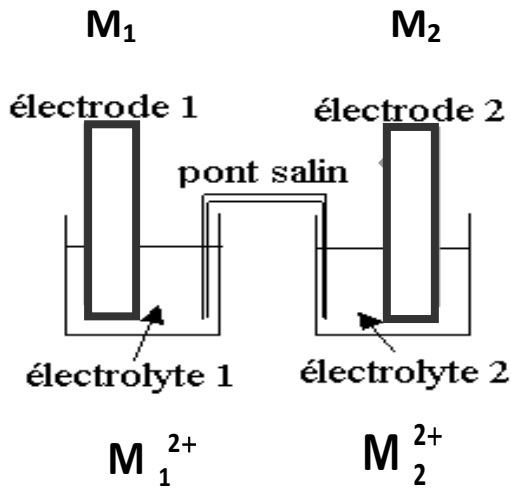


schéma général



Le pont salin assure

- la fermeture du circuit électrique.
- la neutralité électrique des solutions.

Symbole de la pile	$M_1 M_1^{2+} M_2^{2+} M_2$
Equation chimique associée à la pile	$M_1 + M_2^{2+} \begin{array}{c} \xrightarrow{\text{direct}} \\ \xleftarrow{\text{indirect}} \end{array} M_1^{2+} + M_2$
La fonction des concentrations π	$\pi = \frac{[M_1^{2+}]}{[M_2^{2+}]}$
La force électromotrice (f.é.m) de la pile E	$E = V_{\text{droite}} - V_{\text{gauche}} = V_{M2} - V_{M1}$

Sens d'évolution spontané
f.é.m de la pile : $E = V_{\text{droite}} - V_{\text{Gauche}}$

Si $E > 0$: Le sens direct est spontané
 Si $E < 0$: Le sens indirect est spontané
 Si $E = 0$ V : équilibre dynamique
 Pile épuisée

La f.é.m de la pile

$$E = E^0 - \frac{0,06}{n} \log(\pi)$$

La constante d'équilibre

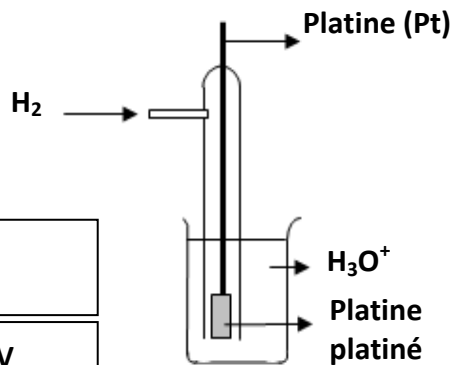
$$K = 10^{\frac{nE^0}{0,06}}$$

**Electrode normale
 à hydrogène : (E.N.H)**

Caractéristiques

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$P(\text{H}_2) = 1 \text{ atm et } E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^0 = 0 \text{ V}$$



Le couple Ox/red qui possède $E_{\text{ox/red}}^0$ la plus grande présente l'entité la plus oxydante et l'entité la moins réductrice

La pile Leclanché

est constituée des deux couples redox Zn^{2+}/Zn et $\text{MnO}_2/\text{MnO}_2\text{H}$ séparés par un électrolyte constitué d'une solution gélifiée de chlorure d'ammonium NH_4Cl et de chlorure de zinc ZnCl_2 .

La pile Mallory

est constituée des couples redox $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}/\text{Zn}$ et $\text{MnO}_2/\text{MnO}_2\text{H}$. L'électrolyte est une solution d'hydroxyde de potassium gélifiée.

La pile à oxyde d'argent

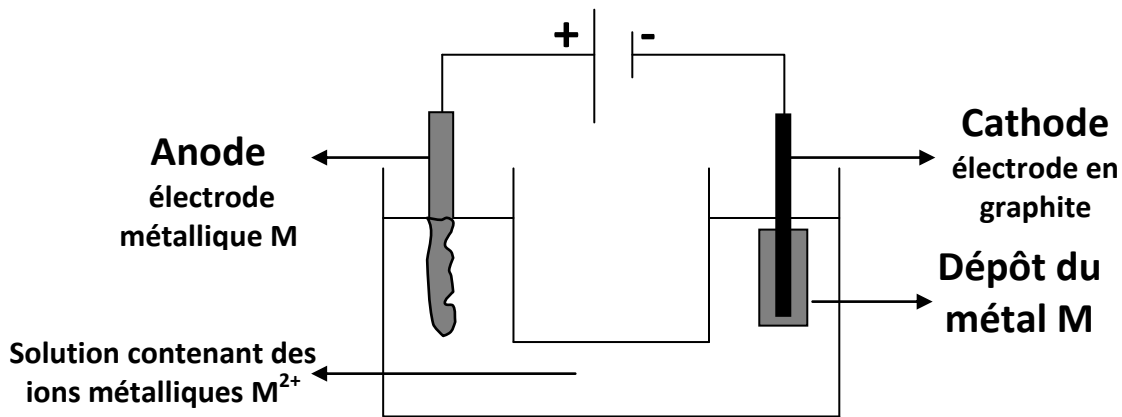
est constituée des couples redox $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}/\text{Zn}$ et $\text{Ag}_2\text{O}/\text{Ag}$ séparés par un électrolyte constitué d'une solution gélifiée d'hydroxyde de potassium.

ELECTROLYSE

Réaction chimique spontanée :
 Une réaction est dite spontanée si elle se déroule sans intervention extérieure c'est-à-dire elle est spontanée dans un sens et impossible dans un autre

Réaction chimique imposée :
 Une réaction est dite imposée si elle se déroule avec intervention extérieure (existence d'un générateur)

Electrolyse d'une solution à électrode attaquable :



Au niveau de l'anode	Au niveau de la cathode	La réaction d'électrolyse
Oxydation	Réduction	Réaction redox
$M \rightarrow M^{2+} + 2.e^{-}$	$M^{2+} + 2.e^{-} \rightarrow M$	$M^{2+} + 2.e^{-} \rightarrow M$ $M \rightarrow M^{2+} + 2.e^{-}$ <hr style="width: 50%; margin: auto;"/> $M + M^{2+} \rightarrow M^{2+} + M$

n : nombre de moles du métal déposé.

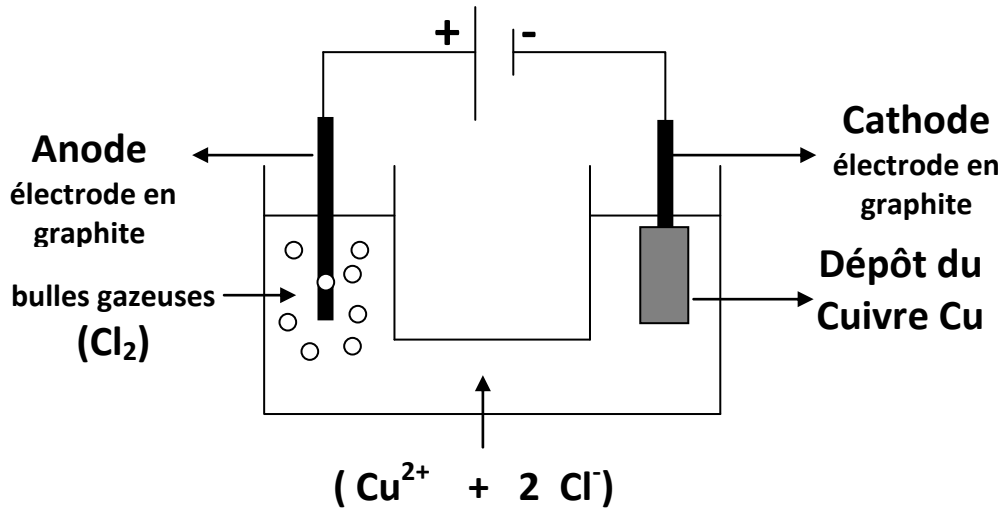
$$n = \frac{m}{M} = \frac{Q}{2.F}$$

Q : quantité d'électricité consommée au cours de la réaction $Q = I.t$
Attention le temps est en seconde

F : constante de Faraday
 $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$m = \frac{I.t.M}{2.F}$$

Electrolyse d'une solution à électrode inattaquable :



Au niveau de l'anode	Au niveau de la cathode	La réaction d'électrolyse
Oxydation	Réduction	Réaction redox
$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2.e^-$	$\text{Cu}^{2+} + 2.e^- \rightarrow \text{Cu}$	$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2.e^-$ $\text{Cu}^{2+} + 2.e^- \rightarrow \text{Cu}$ <hr/> $\text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cu} + \text{Cl}_2$

Les accumulateurs sont des piles rechargeables

ACCUMULATEUR PLOMB-ACIDE

Une batterie au plomb est constituée d'un ensemble d'accumulateurs plomb-acide disposés en série (six accumulateurs pour les batteries de 12 V et trois accumulateurs pour les batteries de 6 V). Un élément d'accumulateur possède une tension nominale de 2 V,

