2eme année BAC

SP SVT SM

PROF : ELMOURABIT FAHD

Résumé physique chimie

Physique



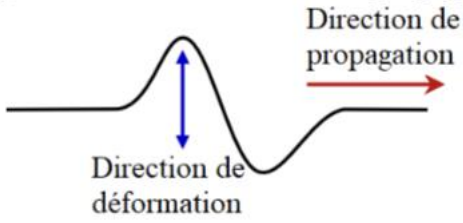
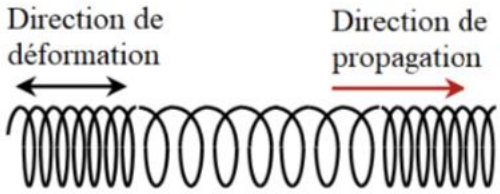
Les ondes mécaniques progressives

iv. Les ondes mécaniques

1) Définition

Onde mécanique : est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel élastique sans transport de la matière

2) Type d'ondes mécaniques progressives

Onde transversale	Onde longitudinale
La déformation du milieu matériel est perpendiculaire à la direction de propagation 	La déformation du milieu matériel est parallèle à la direction de propagation. 

3) Dimension d'onde

Onde monodimensionnelle	Onde bidimensionnelle	Onde tridimensionnelle
La propagation a lieu dans une seule direction	La propagation a lieu dans un plan (deux dimensions)	La propagation a lieu dans l'espace (trois dimensions)

4) L'onde sonore

L'onde sonore est une onde mécanique longitudinales tridimensionnelle sa propagation nécessite la présence d'un milieu matériel

5) Superposition de deux ondes

Deux ondes mécaniques peuvent se superposer sans se perturber

v. La célérité de propagation d'une onde

1) Définition

La célérité (vitesse de propagation) **V** d'une onde progressive dans un milieu monodimensionnelle est donnée par : $\mathbf{V} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{MM'}{\Delta t}$ avec $\begin{cases} V : \text{la vitesse de l'onde en (m/s)} \\ d : \text{la distance parcourue par l'onde en(m)} \\ \Delta t : \text{la durée de parcoure (s)} \end{cases}$

2) Facteurs influençant sur la vitesse de propagation

- **Influence de l'élasticité du milieu**

La célérité d'une onde augmente avec l'élasticité du milieu de propagation.

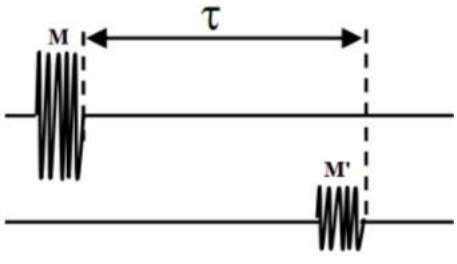
- **Influence de l'inertie du milieu**

Plus l'inertie du milieu est grande plus la célérité est faible.

3) Le retard temporel

Le mouvement du point **M'** reproduit le mouvement du point **M** mais avec un décalage dans le temps ou retard **τ** exprimé par la relation :

$\tau = \frac{MM'}{V}$ avec $\begin{cases} \tau : \text{le retard temporel en (s)} \\ MM' : \text{la distance entre M et M' en(m)} \\ V : \text{la vitesse de l'onde en (m/s)} \end{cases}$



La relation entre Y_M l'amplitude du point **M** et $Y_{M'}$ l'amplitude du point **M'** est : $\mathbf{Y_{M'}(t) = Y_M(t - \tau)}$

Les ondes mécaniques progressives périodiques

i. Onde mécanique progressive périodique

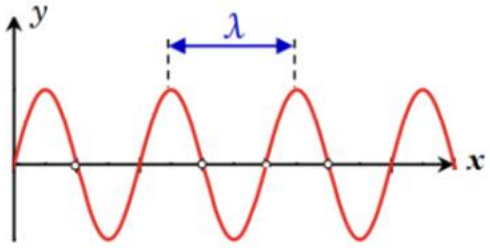
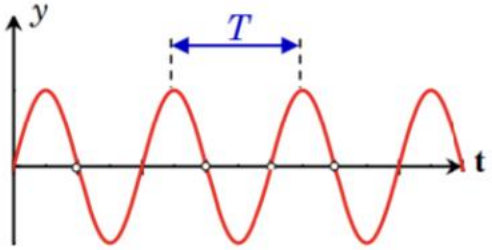
1) Onde mécanique progressive périodique

Une onde mécanique est périodique si la perturbation se répète identique à lui-même à des intervalles de temps identiques

2) Onde mécanique progressive sinusoïdale

Une onde progressive périodique est dite sinusoïdale si la perturbation crée par la source entraîne une variation sinusoïdale en fonction du temps

ii. Caractéristiques d'une onde progressive périodique

Périodicité spatiale (longueur d'onde λ)	Périodicité temporel (la période **T**)
la longueur d'onde est la distance séparant deux points consécutifs du milieu de la propagation présentant le même état vibratoire 	Le période est la durée qui sépare deux points consécutifs du milieu de propagation présentant le même état vibratoire 

Remarque : La fréquence est le nombre de périodes par unité de temps : $\mathbf{N = \frac{1}{T}}$

1) Vitesse de propagation d'une onde périodique

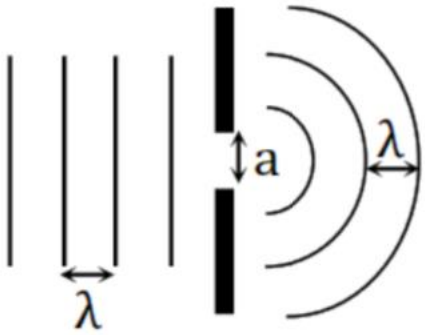
$$\mathbf{V = \frac{\lambda}{T} = N.\lambda}$$ Avec $\begin{cases} V : \text{la vitesse de l'onde en (m/s)} \\ \lambda : \text{la longueur d'onde en(m)} \\ T : \text{la période en (s)} \\ N : \text{la fréquence en (Hz)} \end{cases}$

2) Mouvements de deux points du milieu de propagation

- Deux points $\mathbf{M_1}$ et $\mathbf{M_2}$ d'un milieu vibrent en phase si : $\mathbf{M_1M_2 = k\,.\lambda}$
- Deux points $\mathbf{M_1}$ et $\mathbf{M_2}$ d'un milieu vibrent en opposition de phase si : $\mathbf{M_1M_2 = (2k+1).\frac{\lambda}{2}}$

iii. Phénomène de diffraction

- Lorsqu'une onde mécanique franchit un obstacle ou traverse une ouverture, il peut se produire le phénomène de diffraction
- Pour avoir ce phénomène, il faut que : $\mathbf{a \leq \lambda}$
- Les deux ondes incidente et diffractée ont même fréquence **N** et même vitesse **V** et même longueur d'onde λ



iv. Milieu dispersif

Un milieu est **dispersif** si la vitesse (célérité) de l'onde dans le milieu dépend de la fréquence de la source

v. Le stroboscope

Un stroboscope est un flash électronique capable d'émettre des éclairs à une fréquence réglable **Ns**, il permet d'étudier les phénomènes périodiques rapides, concèderons un mouvement périodique de période **T** :

Si T=k .Ts	Si T<Ts	Si T>Ts
l'onde est immobile	mouvement de l'onde est ralenti dans le sens direct	mouvement de l'onde est ralenti dans le sens inverse

Propagation d'une onde lumineuse

i. Onde lumineuse

1) Définitions

- **L'onde lumineuse** est la propagation d'une perturbation électromagnétique dans les milieux transparents
- **La lumière** est une onde électromagnétique dont célérité dans le vide est : $\mathbf{c=3.10^8\ m/s}$
- **Lumière monochromatique** : lumière constituée d'une seule radiation (une seule longueur d'onde)
- **Lumière polychromatique** : lumière constituée d'un ensemble de lumières monochromatiques

2) Vitesse de propagation d'une onde lumineuse

La célérité dans le vide	La célérité dans un milieu matériel
$\mathbf{C = \frac{\lambda_0}{T} = \nu.\lambda_0}$	$\mathbf{V = \frac{\lambda}{T} = \nu.\lambda}$
λ_0 : Longueur d'onde dans le vide	λ : Longueur d'onde un milieu matériel

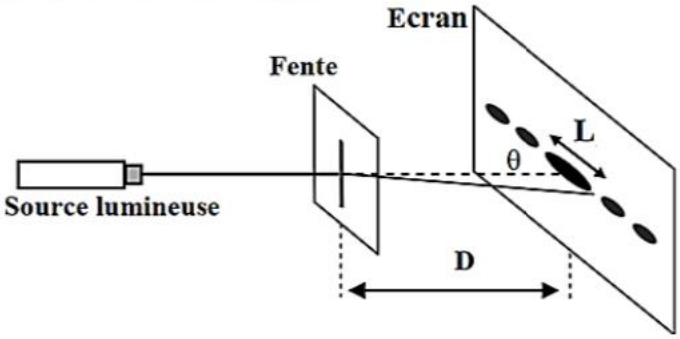
Remarque

- La fréquence de l'onde lumineuse ν ne dépend pas du milieu de propagation
- Domaine des ondes lumineuses visibles : $\lambda \in [400nm; 800nm]$

ii. Diffraction d'une onde lumineuse monochromatique

1) Aspect ondulatoire de la lumière

La lumière monochromatique subit le phénomène de diffraction par une fente ($a \leq \lambda$) ce qui montre que la lumière a un aspect ondulatoire



2) Ecart angulaire θ

L'écart angulaire du faisceau diffracté est l'angle entre le milieu de la tache centrale et la première extinction

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \theta : \text{L'écart angulaire en (rad)} \\ \lambda : \text{La longueur d'onde en (m)} \\ a : \text{La largeur de la fente en (m)} \end{cases}$$

- Pour un angle θ très petit ($\tan\theta \approx \theta$) on peut montrer que : $L = \frac{2.\lambda.D}{a}$

iii. Dispersion de la lumière

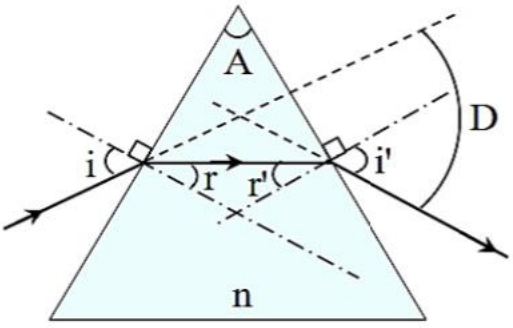
1) Indice de réfraction

On définit l'indice de réfraction **n** dans un milieu transparent pour une lumière monochromatique par :

$$n = \frac{C}{V} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} V : \text{La vitesse de la lumière dans un milieu d'indice n} \\ C : \text{La célérité de la lumière dans le vide} \end{cases}$$

2) Dispersion de la lumière blanche par un prisme

- La dispersion de la lumière est la décomposition de la lumière polychromatique en radiations de différentes couleurs
- Lorsque la lumière blanche travers le prisme, la lumière se décompose en plusieurs couleurs et chaque couleur subit une déviation **D**



3) Les formules de prisme

- Loi de la réfraction (1^{ér} face) : $\sin i' = n \sin r'$
- Loi de la réfraction (2^{éme} face) : $\sin i = n \sin r$
- L'angle du prisme : $A = r + r'$
- La déviation : $D = i + i' - A$

La décroissance radioactive

i. Stabilité et instabilité des noyaux

1) Composition du noyau

Le noyau d'un atome associé à un élément chimique **X** est représenté par le symbole :

$${}^{A}_{Z}X \quad \text{avec} \quad \begin{cases} A : \text{Nombre de nucléons} \\ Z : \text{Numéro atomique} \\ N = A - Z : \text{Le nombre de neutrons d'un noyau} \end{cases}$$

2) Isotopes

Deux noyaux isotopes ont le même nombre de protons mais des nombres de neutrons différents (**Z** identique mais **A** différents)

ii. La radioactivité

1) Définition

La radioactivité est une transformation naturelle, spontanée et imprévisible d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ instable en un noyau ${}^{A'}_{Z'}Y$ plus stable avec l'émission d'une ou de plusieurs particules (**α** , **β** et souvent un rayonnement **γ**)

2) Lois de conservation (lois de Soddy)

La réaction nucléaire obéit à des lois de conservation (lois de Soddy) :

- Conservation du nombre de charge **Z**
- Conservation du nombre des nucléons **A**

3) La radioactivité α, β^- et β^+

La radioactivité α

Transformation nucléaire d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ instable en un noyau ${}^{A'}_{Z'}Y$ plus stable avec l'émission d'un noyau d'Hélium ${}^{4}_{2}He$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

La radioactivité β^-

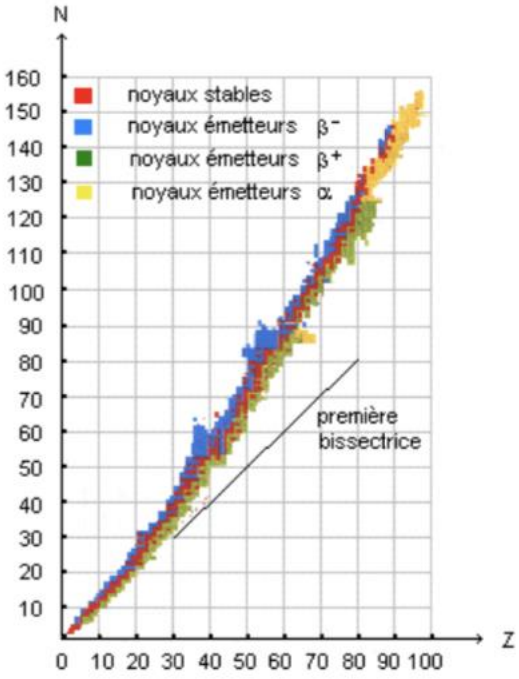
Transformation nucléaire d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ instable en un noyau ${}^{A'}_{Z'}Y$ plus stable avec l'émission d'un électron ${}^{0}_{-1}e$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$$

La radioactivité β^+

Transformation nucléaire d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ instable en un noyau ${}^{A'}_{Z'}Y$ plus stable avec l'émission d'un positron ${}^{0}_{+1}e$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$$



4) Emission gamma γ

Le noyau issu d'une désintégration **α** ou **β** est souvent dans un état excité, il se désexcite en libérant un rayonnement électromagnétique **γ** :

$${}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

5) Famille radioactive

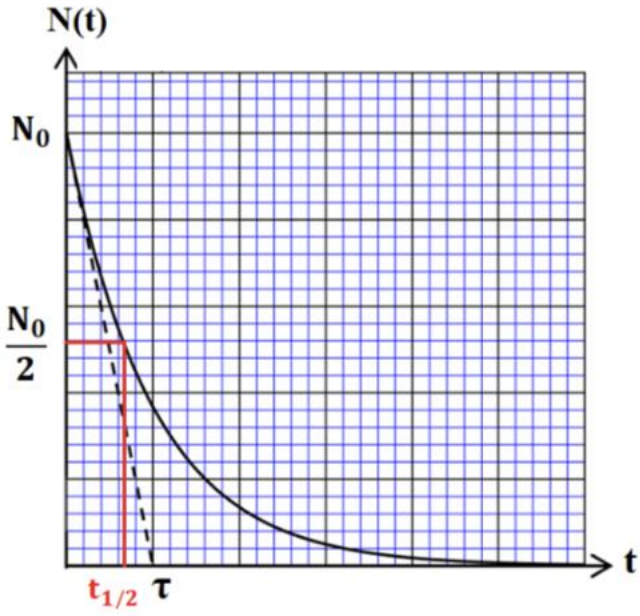
Une famille radioactive est une suite de nucléides descendant d'un même noyau (noyau père), par une suite de désintégrations successives jusqu' à l'obtention d'un noyau stable

iii. La décroissance radioactive

1) Loi de décroissance radioactive

Le nombre de noyaux **N(t)** d'un échantillon radioactif suit la loi de décroissance radioactive :

$$N(t) = N_0\, e^{-\lambda t} \quad \begin{cases} N(t): \text{nombre de noyaux à l'instant t} \\ N_0: \text{nombre de noyaux à t} = 0\ s \\ \lambda : \text{constante radioactive} \end{cases}$$



Remarque

On montre : $m = m_0\, e^{-\lambda t}$ et $n = n_0\, e^{-\lambda t}$

2) Constante du temps et demi vie

- Demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif est la durée au bout de laquelle le nombre des noyaux radioactifs se divise en deux.
- La constante de temps τ est donnée par la relation : $\tau = \frac{1}{\lambda}$

Remarque

La relation entre la demi-vie et la constante radioactive : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau . \ln 2$

3) Activité d'une source radioactive

- L'activité **a** mesure le nombre moyen de désintégrations par unité de temps elle s'exprimée en becquerels (Bq) : $a(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda . N(t)$
- **1Bq** correspond à une désintégration par seconde
- La loi de la décroissance radioactive en fonction de l'activité **a** :

$$a(t) = a_0\, e^{-\lambda t} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} a(t): \text{l'activité à l'instant t} \\ a_0 : \text{l'activité à t} = 0\ s \\ \lambda : \text{constante radioactive} \end{cases}$$

v. La datation par le carbone 14

Dès qu'un être vivant mort, le carbone **'14'** n'est plus renouvelé il se met à décroître.

Pour déterminer l'âge du matériau mort, on mesure l'activité **a(t)** du carbone **14** d'un échantillon de matériau mort et on mesure l'activité a_0 d'un même matériau vivant et on applique la formule :

$$a(t) = a_0\, e^{-\lambda t} \quad \Leftrightarrow \quad t = \frac{1}{\lambda} . \ln \frac{a_0}{a(t)}$$

Formules mathématiques	
$\frac{d(e^{ax})}{dx} = ae^x$	$\frac{d(\ln ax)}{dx} = \frac{a}{x}$
$e^0 = 1$	$\ln 1 = 0$
$e^{a+b} = e^a . e^b$	$\ln(a . b) = \ln a + \ln b$
$e^{a-b} = \frac{e^a}{e^b}$	$\ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$
$(e^a)^b = e^{a*b}$	$\ln(a^b) = b \ln a$
$e^{\ln a} = a$	$\ln(e^a) = a$

Noyaux, masse et énergie

i. Équivalence masse - énergie

1) Relation d'Einstein

Toute particule de masse **m** possède une énergie **E** donnée par la relation d'Einstein : $\mathbf{E = m.c^2}$

c : La célérité de la lumière dans le vide $\mathbf{c = 3.10^8 m/s}$

2) Unités de masse et d'énergie

L'unité de masse atomique : **u**	Unité d'énergie : **eV**
$\mathbf{1u \approx 1{,}6\times 10^{-27} kg}$	$\mathbf{1MeV = 10^6 eV = 1{,}6.10^{-13}\ J}$

Remarque : On utilise souvent : $\mathbf{1u = 931.5\ Mev.c^{-2}}$

ii. Energie de liaison du noyau

1) Défaut de masse du noyau Δm

Le défaut de masse **Δm** d'un noyau ${}^{A}_{Z}\mathbf{X}$ est la différence entre la somme des masses de ses nucléons pris séparément et la masse du noyau :

$$\mathbf{\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m({}^{A}_{Z}X)}$$

2) Énergie de liaison d'un noyau E_l

L'énergie de liaison $\boldsymbol{E_l}$ d'un noyau est l'énergie que le milieu extérieur doit fournir à un noyau ${}^{A}_{Z}\mathbf{X}$ pour le dissocier en nucléons séparés :

$$\mathbf{E_l = \Delta m.c^2 = \left[Z m_p + (A - Z) m_n - m({}^{A}_{Z}X)\right].c^2}$$

3) Energie de liaison par nucléon ξ

L'énergie de liaison par nucléon $\boldsymbol{\xi}$ est donnée par :

$$\boldsymbol{\xi = \frac{E_l}{A}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} E_l : \text{énergie de liaison} \\ A : \text{nombre de nucléons} \end{cases}$$

- Un noyau est d'autant **plus stable** que son énergie de liaison par nucléon est **grande**

iii. Réaction nucléaire

1) La fusion nucléaire

La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd. (Exemple : ${}^{3}_{1}\mathbf{H} + {}^{2}_{1}\mathbf{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathbf{He} + {}^{1}_{0}\mathbf{n}$)

2) La fission nucléaire

La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un neutron lent (neutron thermique) brise un noyau lourd pour former deux noyaux plus légers. (Exemple ${}^{1}_{0}\mathbf{n} + {}^{235}_{92}\mathbf{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\mathbf{Sr} + {}^{104}_{54}\mathbf{Xe} + 2.{}^{1}_{0}\mathbf{n}$)

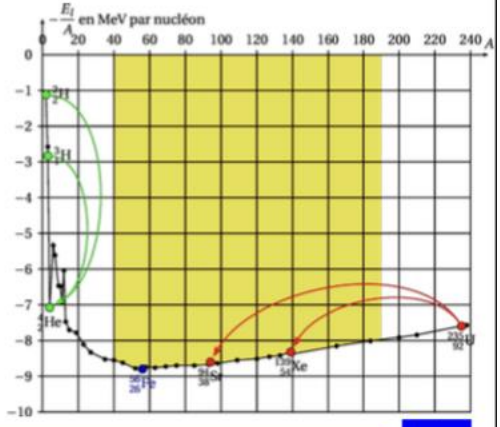
3) Energie d'une réaction nucléaire

L'énergie de la transformation nucléaire est donnée par la relation suivante :

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = \left[\sum m_{(produits)} - \sum m_{(réactifs)}\right]c^2$$

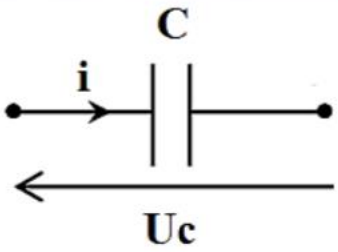
iv. Stabilité des noyaux et courbe d'Aston

- La courbe d'Aston représente $\frac{-E_l}{A}$ en fonction de **A**, permet de comparer la stabilité des noyaux atomiques est de prévoir la nature de réaction nucléaire qui peut se produire.
- La partie jaune de la courbe d'Aston ci-contre contient les noyaux stables



Dipôle RC

i. Le condensateur



1) Définition

Le condensateur est un dipôle constitué de deux armatures conductrices séparées par un isolant, chaque condensateur est caractérisé par sa capacité **C** en Farad (**F**)

2) Relation charge – tension

La charge **q** d'un condensateur, est liée à la tension U_C par la relation :

$$q = C.U_C \qquad \text{Avec} \quad \begin{cases} U_C : \text{tension aux bornes de condensateur en(V)} \\ q : \text{la charge du condensateur en(C)} \end{cases}$$

3) Charge électrique et intensité du courant

L'intensité du courant **i(t)** traversant un condensateur est la variation de la charge **q** au cours du temps **t**.

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

Remarque : dans le cas d'un courant constant la relation devient : $I_0 = \frac{C.U_C}{\Delta t}$

4) Association des condensateurs

Association en série	Association en dérivation
$\frac{1}{C_{éq}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i}$	$C_{éq} = \sum_{i=1}^{N} C_i$

5) Energie électrique stockée dans un condensateur

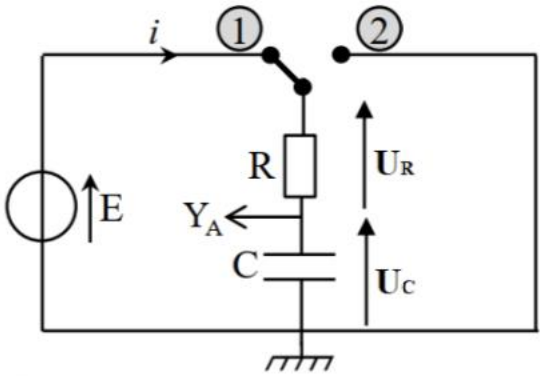
L'énergie E_e stockée dans un condensateur, est donnée par : $E_e = \frac{1}{2}.C.U_C^2 = \frac{1}{2}.\frac{q^2}{C}$

ii. Charge et décharge d'un condensateur

1) Charge du condensateur

a) Etude expérimental

On réalise le montage expérimental ci-contre, à l'instant **t=0 s** on place l'interrupteur dans la position (1) et on visualise la variation de la tension $U_C(t)$ aux bornes du condensateur en fonction de temps, on obtient la courbe de la figure ci-dessous



b) Etude théorique

- **L'équation différentielle vérifie par $U_C(t)$**

En appliquant la loi d'additivité des tensions

$$U_C + U_R = E \quad \Leftrightarrow \quad U_C + R.i = E$$

$$U_C + R.C\frac{dU_C}{dt} = E \quad (1)$$

- **Détermination de $U_C(t)$**

La solution de l'équation différentielle est sous la forme

$$U_C(t) = A\,e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

En remplaçant $U_C(t)$ dans (1) et en utilisant les conditions initiales : $A = -B = E$ et $\tau = RC$

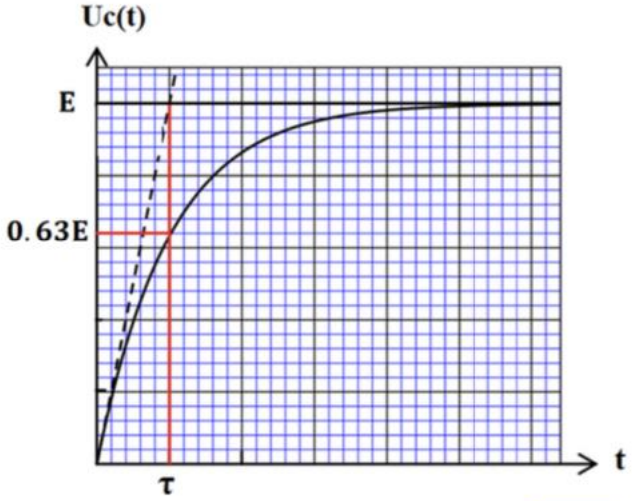
$$U_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

- **Détermination de $q(t)$**

$$q(t) = C.U_C(t) = C.E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

- **Détermination de $i(t)$**

$$i(t) = C.\frac{dU_C}{dt} = \frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$$

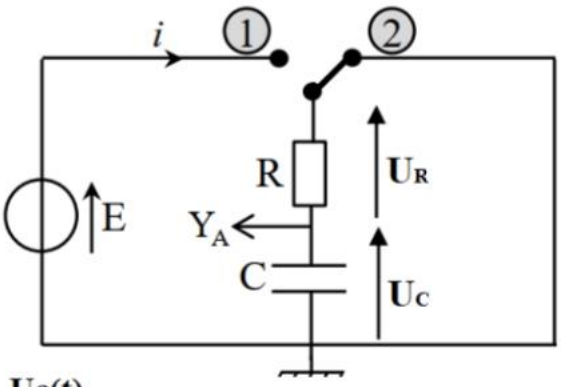


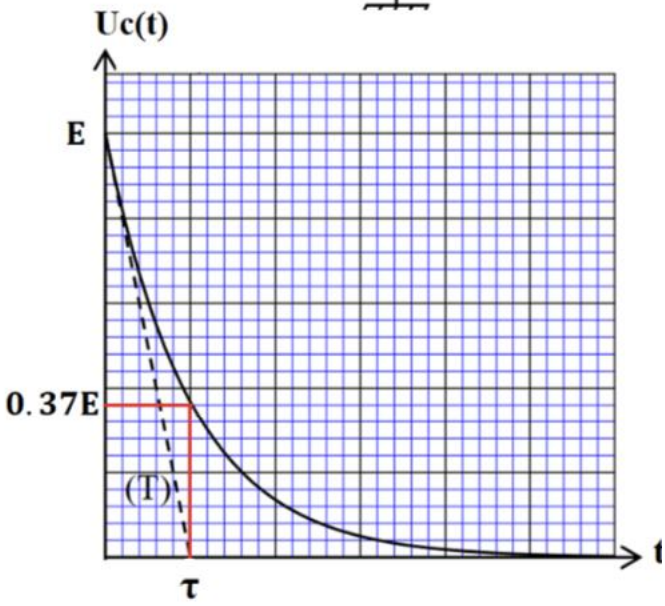
2) Décharge du condensateur

a) Etude expérimentale

Apres avoir chargée le condensateur on bascule l'interrupteur vers la position (2) (montage ci-contre)

On visualise la variation de la tension $\mathbf{U_C(t)}$ aux bornes du condensateur en fonction de temps, on obtient la courbe de la figure ci-dessous





b) Etude théorique

- **L'équation différentielle vérifie par $\mathbf{U_C(t)}$**

En appliquant la loi d'additivité des tensions

$$U_C + U_R = 0$$
$$U_C + R.i = 0$$

$$\mathbf{U_C + R.C\frac{dU_C}{dt} = 0} \quad (2)$$

- **Détermination de $\mathbf{U_C(t)}$**

La solution de l'équation différentielle est sous la forme

$$U_C(t) = A\, e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

En remplaçant $U_C(t)$ dans (2) et en utilisant les conditions initiales : $A = E$ et $B = 0$ et $\tau = RC$

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

- **Détermination de $\mathbf{q(t)}$**

$$\mathbf{q(t) = C.U_C(t) = C.Ee^{-\frac{t}{\tau}}}$$

- **Détermination de $\mathbf{i(t)}$**

$$\mathbf{i(t) = C.\frac{dU_C}{dt} = -\frac{E}{R}\, e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

- $\tau = \mathbf{RC}$: la constante du temps du dipôle **RC**

3) La constante du temps

a) Détermination de la constante de temps

Cas de la charge	Cas de la décharge
$\mathbf{U_C(\tau) = 0.63\ E}$	$\mathbf{U_C(\tau) = 0.37\ E}$

Remarque

- La durée de la charge et de la décharge est $\Delta t \approx 5\tau$
- La durée de la charge et de la décharge augmente lorsque la capacité **C** et/ou la résistance **R** augmente

b) Analyse dimensionnel du constant de temps τ

On a $\tau = RC \Leftrightarrow [\tau] = [R].[C]$

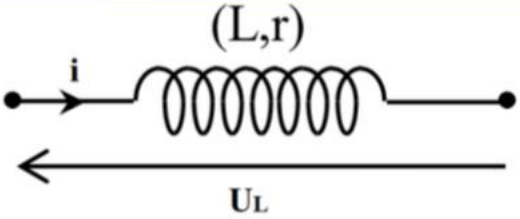
On a $U = R.I \Leftrightarrow [R] = \frac{[U]}{[I]}$

On a $i(t) = C.\frac{dU_C}{dt} \Leftrightarrow [C] = \frac{[I].[t]}{[U]}$

$$[\tau] = [R].[C] = \frac{[U]}{[I]}.\frac{[I].[t]}{[U]} \Leftrightarrow [\tau] = [t]$$

Dipôle RL

i. La bobine



1) Définition

Une bobine est un dipôle passif, formée d'un enroulement cylindrique, d'un fil électrique recouvert par un isolant, la bobine est caractérisée par son inductance **L,** exprimé en Henry **(H)**

2) La tension aux bornes de la bobine

La tension U_L aux bornes de la bobine est donnée par :

$$U_L = r.i + L\frac{di}{dt} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} L : \text{L'inductance de la bobine en (H)} \\ r : \text{La résistance interne de la bobine en } (\Omega) \\ i : \text{L'intensité du courant en (A)} \end{cases}$$

Remarque

Courant continu I = cte	Résistance interne négligeable (r = 0)
$U_L = r.i$	$U_L = L\frac{di}{dt}$

3) Influence de la bobine dans un circuit

Une bobine permet de retarder l'établissement ou la rupture (annulation) du courant qui la traverse

4) Energie emmagasiné dans une bobine

L'énergie magnétique stockée dans une bobine, est donnée par : $E_m = \frac{1}{2}.L.i^2$

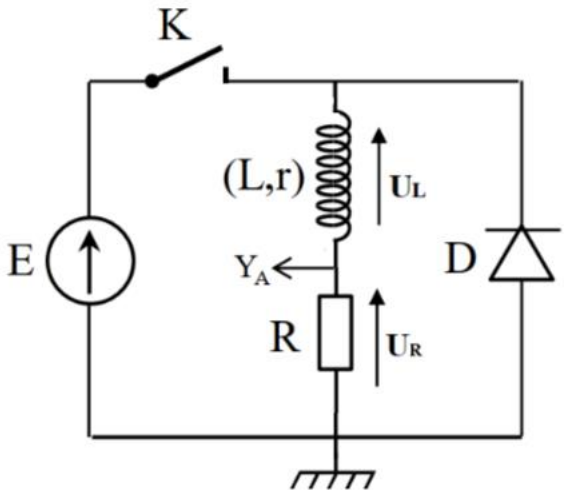
ii. Etablissement et rupture du courant

1) Etablissement du courant

a) Etude expérimental

On réalise le montage expérimental ci-contre à l'instant **t=0s** on ferme l'interrupteur K et on visualise la variation de l'intensité du courant **i(t)** en fonction de temps

On obtient la courbe de la figure ci-dessous



b) Etude théorique

- **L'équation différentielle vérifie par i(t)**

En appliquant la loi d'additivité des tensions :

$$U_L + U_R = E$$

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

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

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

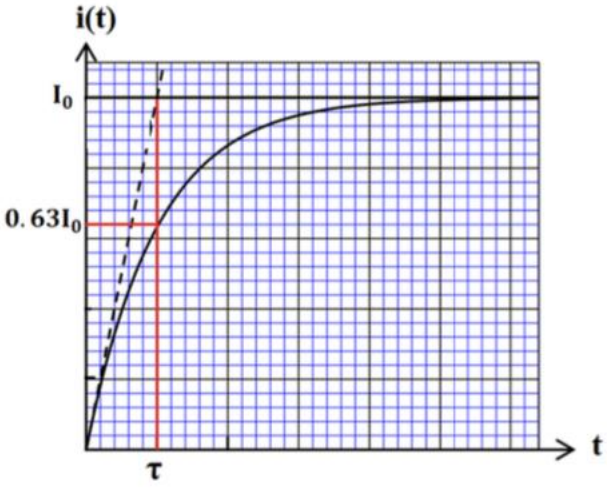
- **Détermination de i(t)**

La solution de l'équation différentielle est sous la forme :

$$i(t) = A\,e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

En remplaçant **i(t)** dans l'équation différentielle et en utilisant les conditions initiales : $A = -B = \frac{E}{R+r}$ et $\tau = \frac{L}{R+r}$

D'où $i(t) = I_0\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

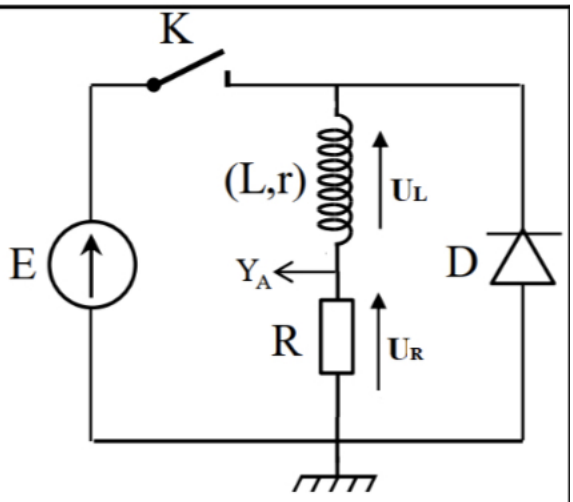


- $I_0 = \frac{E}{R+r}$: La valeur maximale de l'intensité du courant
- $\tau = \frac{L}{R+r}$: La constante du temps du dipôle RL

2) Rupture du courant

Etude expérimentale

Apres avoir établit le courant dans la bobine on ouvre l'interrupteur K (montage ci-contre) et on visualise la variation de l'intensité du courant $\mathbf{i(t)}$ en fonction de temps (la figure ci-dessous)



Remarque

Le rôle de la diode dans le circuit est de protéger la bobine de la surtension qui peut apparaître à ces bornes lors de l'ouverture de l'interrupteur

Etude théorique

- **L'équation différentielle vérifie par $\mathbf{i(t)}$**

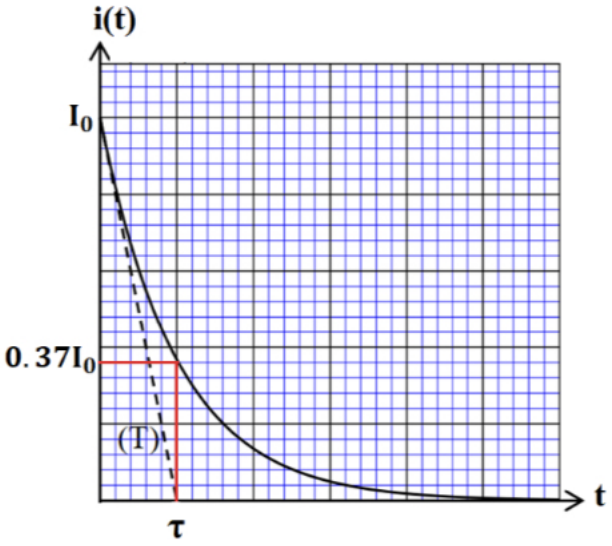
En appliquant la loi d'additivité des tensions :

$$U_L + U_R = 0$$

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

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

$$\mathbf{i + \frac{L}{R+r}.\frac{di}{dt} = 0}$$



- **Détermination de $\mathbf{i(t)}$**

La solution de l'équation différentielle est sous la forme

$$i(t) = A\, e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

En remplaçant $\mathbf{i(t)}$ dans l'équation différentielle et en utilisant les conditions initiales : $A = \frac{E}{R+r} = I_0$ et $B = 0$ et $\tau = \frac{L}{R+r}$

D'où : $\mathbf{i(t) = I_0\, e^{-\frac{t}{\tau}}}$

- $\mathbf{I_0 = \frac{E}{R+r}}$: La valeur maximale de l'intensité du courant
- $\boldsymbol{\tau = \frac{L}{R+r}}$: La constante du temps du dipôle RL

3) La constante du temps

a) Détermination de la constante du temps

Etablissement du courant	Rupture du courant
$\mathbf{i(\tau) = 0.63\, I_0}$	$\mathbf{i(\tau) = 0.37\, I_0}$

Remarque

- La durée de l'établissement et de la rupture du courant est $\boldsymbol{\Delta t \approx 5\tau}$
- La durée de l'établissement et de la rupture augmente lorsque l'inductance $\mathbf{L}$ et/ou la résistance $\boldsymbol{R + r}$ diminue

b) Analyse dimensionnel du constant de temps τ

On a $\quad \tau = \frac{L}{R+r} = \frac{L}{R_T} \quad \Leftrightarrow \quad [\tau] = \frac{[L]}{[R]}$

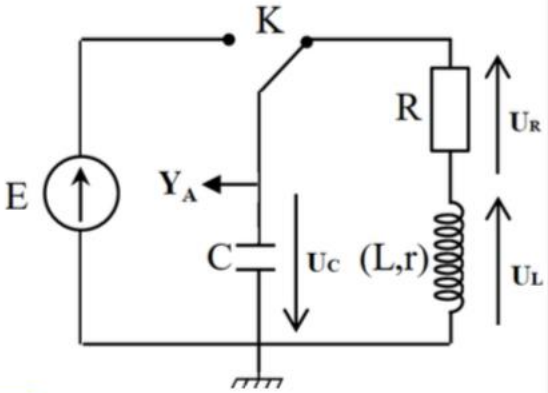
On a $\quad U = R.I \quad \Leftrightarrow \quad [R] = \frac{[U]}{[I]}$

Et $\quad U = L\frac{di}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad [L] = \frac{[U].[t]}{[I]}$

$[\tau] = \frac{[L]}{[R]} = \frac{[I]}{[U]}.\frac{[U].[t]}{[I]} = [t] \quad \Leftrightarrow \quad$ Donc $\quad [\tau] = [t]$

Circuit RLC en série

i. Circuit RLC



1) Equation différentielle vérifie par $U_C(t)$

Circuit RLC : association série d'un condensateur chargé de capacité **C** et d'une bobine d'inductance **L** et un conducteur ohmique de résistance **R**

En appliquant la loi d'additivité des tensions :

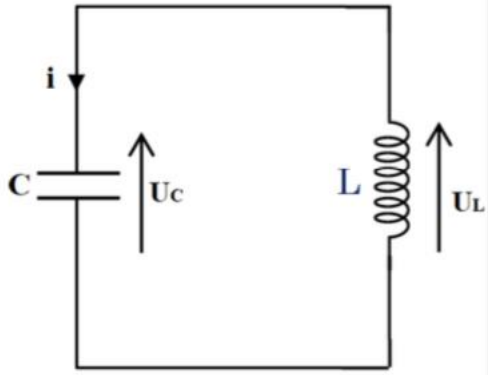
$$U_C + U_R + U_L = 0 \quad \Leftrightarrow \quad U_C + R.i + r.i + L\frac{di}{dt} = 0$$

$$U_C + (R+r)i + L\frac{di}{dt} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad U_C + (R+r)C\frac{dU_C}{dt} + LC\frac{d^2U_C}{dt^2} = 0$$

$$\boxed{\frac{d^2U_C}{dt^2} + \frac{R+r}{L}.\frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{LC}U_C = 0}$$

ii. Circuit LC

Circuit LC : association série d'un condensateur chargé de capacité **C** et d'une bobine idéale$(\mathbf{L}, \mathbf{r = 0})$



1) Equation différentielle vérifie par $U_C(t)$

En appliquant la loi d'additivité des tensions :

$$U_C + U_L = 0 \quad \Leftrightarrow \quad U_C + L\frac{di}{dt} = 0$$

$$U_C + L\frac{di}{dt} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad U_C + LC\frac{d^2U_C}{dt^2} = 0$$

$$\boxed{\frac{d^2U_C}{dt^2} + \frac{1}{LC}U_C = 0}$$

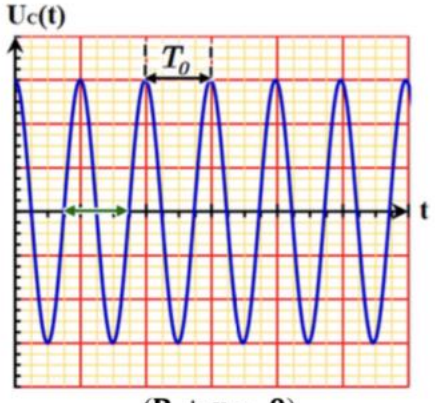
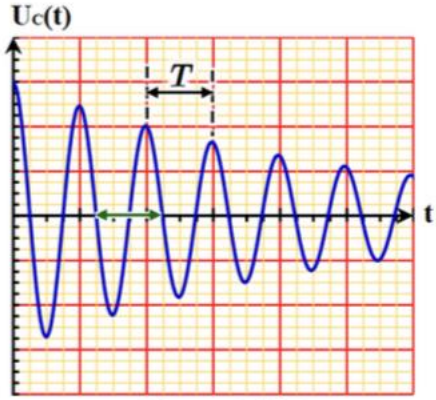
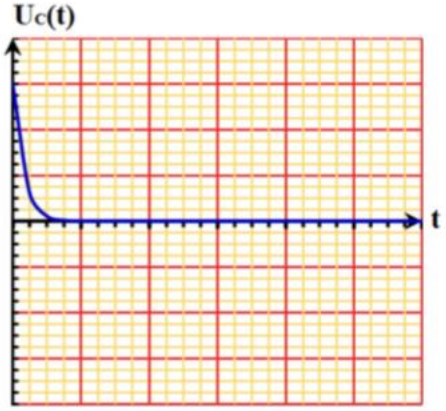
- La solution de l'équation différentielle est sous la forme :

$$\mathbf{U_C(t) = U_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}.t + \varphi\right)} \quad \text{avec} \begin{cases} U_m : \text{la valeur maximale de la tension} \\ T_0 : \text{la période propre} \\ \varphi : \text{la phase à l'origine des temps} \end{cases}$$

- En remplaçant $\mathbf{U_C(t)}$ dans l'équation différentielle on trouve la période propre : $\boxed{\mathbf{T_0 = 2\pi\sqrt{L\,C}}}$

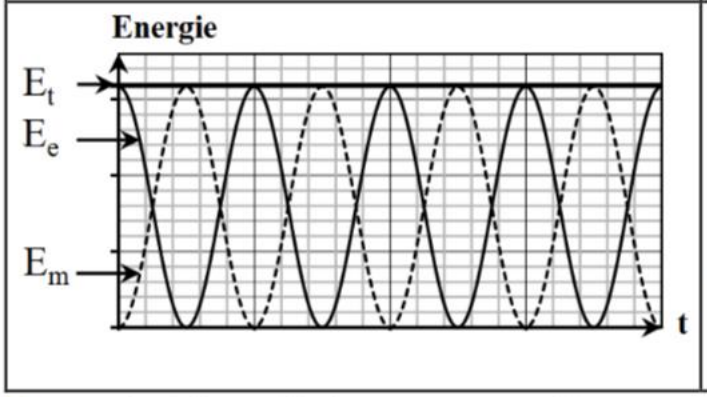
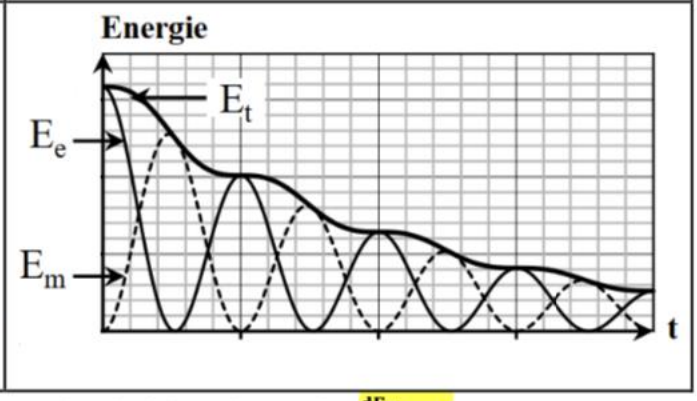
iii. Régimes d'oscillations

1) Les trois régimes d'oscillations

Régime périodique	Régime pseudopériodique	Régime apériodique
 $(\mathbf{R + r = 0})$	 $(\mathbf{R + r}$ faible$)$	 $(\mathbf{R + r}$ grande$)$
la période propre : $\boxed{\mathbf{T_0 = 2\pi\sqrt{L\,C}}}$	la pseudo-période : $\boxed{\mathbf{T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{L\,C}}}$	pas d'oscillations

2) L'énergie dans un circuit RLC

- L'énergie totale d'un circuit (**RLC**) série est donnée par : $\mathbf{E_T = E_m + E_e = \frac{1}{2}.C.U_C^2 + \frac{1}{2}.L.i^2}$

$(\mathbf{R + r = 0})$	$(\mathbf{R + r \neq 0})$
	

- Dans le régime périodique $(\mathbf{R + r = 0})$ il y-a conservation de l'énergie totale $\mathbf{\frac{dE_T}{dt} = 0}$

$$\mathbf{E_T = \frac{1}{2}.C.U_{cmax}^2 = \frac{1}{2}.L.i_{max}^2}$$

- Dans le régime pseudo périodique et apériodique $(\mathbf{R + r \neq 0})$ il y a dissipation d'énergie par effet joule

$$\mathbf{\frac{dE_T}{dt} = -(R + r).i^2}$$

3) Entretien des oscillations

Principe

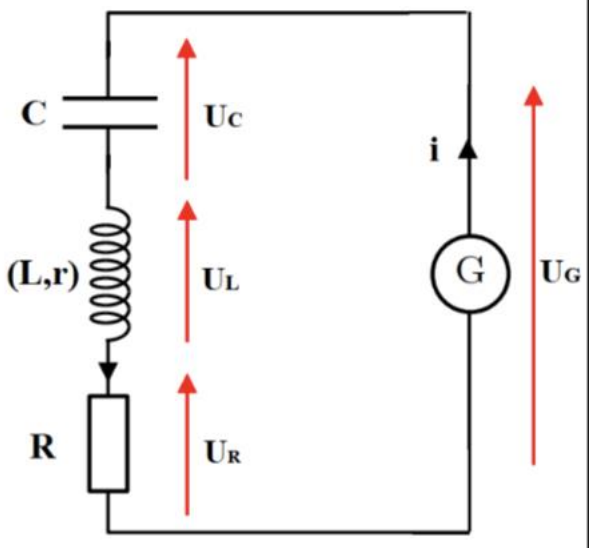
Dans un circuit (**RLC**), l'amortissement des oscillations est dû à une perte d'énergie par effet Joule
Les oscillations peuvent être entretenues par un générateur **G** qui compense les pertes d'énergie

Etude théorique

On réalise le montage suivant dans lequel le générateur **G** délivre une tension proportionnelle à l'intensité du courant qu'il débite. $\mathbf{U_G = k.i}$

En appliquant la loi d'additivité des tensions :

$$U_C + U_R + U_L = U_G$$
$$U_C + R.i + r.i + L\frac{di}{dt} = k.i$$
$$U_C + (R + r - k)i + L\frac{di}{dt} = 0$$
$$U_C + (R + r - k)C\frac{dU_C}{dt} + LC\frac{d^2U_C}{dt^2} = 0$$
$$\mathbf{\frac{d^2U_C}{dt^2} + \frac{R+r-k}{L}.\frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{LC}U_C = 0}$$



On règle **k** sur la valeur : $\mathbf{k = R + r}$

L'équation différentielle devient : $\mathbf{\frac{d^2U_C}{dt^2} + \frac{1}{LC}U_C = 0}$

C'est l'équation différentielle d'un circuit (**LC**) non amortie de période $\mathbf{T_0 = 2\pi\sqrt{L\,C}}$

Les ondes électromagnétiques - Modulation

i. Ondes électromagnétiques

1) Définition

Les ondes électromagnétiques se propagent dans toutes les directions dans un milieu homogène et isolant,
Leurs vitesse de propagation dans le vide (célérité) vaut : $\mathbf{c = 3.10^8\ m.s^{-1}}$

2) Transmission d'information



Remarque

Pour transmettre un signal sinusoïdal de la forme : $\mathbf{u(t) = U_m.\ Cos\ (2\pi f.t + \varphi)}$, on peut moduler une de ces caractéristiques : l'amplitude $\mathbf{U_m}$, la fréquence **f** ou la phase à l'origine $\boldsymbol{\varphi}$

ii. Modulation d'amplitude

1) Principe de modulation

Le principe de modulation d'amplitude consiste à transmettre une onde de basse fréquence à l'aide d'une onde électromagnétique porteuse de haute fréquence

2) La modulation d'amplitude

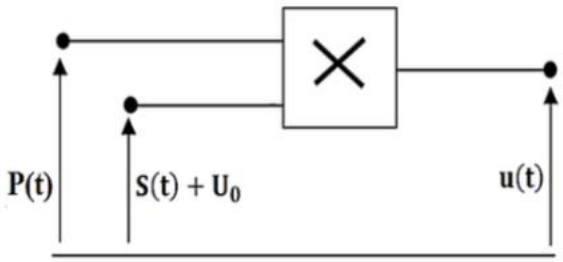
Soit $\mathbf{S(t)}$: le signal sinusoïdal de basse fréquence à transmettre (signal modulant), de fréquence f_s
Pour transmettre $\mathbf{S(t)}$ on utilise une onde électromagnétique porteuse $\mathbf{p(t)}$ de fréquence $F_p >> f_s$

Signal modulant	Onde porteuse
$\mathbf{S(t) = S_m.\cos(2\pi f_s t)}$	$\mathbf{p(t) = P_m.\cos(2\pi F_p t)}$

3) Expression de la tension modulée en amplitude

Pour que la tension soit modulée il faut que son expression soit de la forme : $\mathbf{u(t) = U_m(t).\cos(2\pi F_p t)}$

- Pratiquement on utilise la composante **AD633**
- On obtient la tension modulée u(t) en amplitude en multipliant les deux fonctions $k(S(t) + U_0)$ et $p(t)$



$$u(t) = k.(S(t) + U_0).p(t) = kP_m[S_m\cos(2\pi f_s t) + U_0]\cos(2\pi F_p t)$$

$$u(t) = kP_mU_0\left[\frac{S_m}{U_0}\cos(2\pi f_s t) + 1\right]\cos(2\pi F_p t)$$

On pose $\mathbf{A = kP_mU_0}$ et $\mathbf{m = \frac{S_m}{U_0}}$:

$$\mathbf{u(t) = A[m\cos(2\pi f_s t) + 1]\cos(2\pi F_p t)}$$

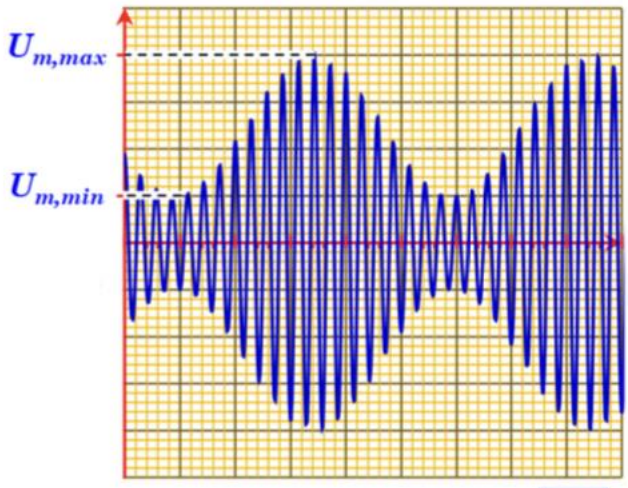
$$u(t) = U_m(t).\cos(2\pi F_p t)$$

Avec $\mathbf{U_m(t) = A[m\cos(2\pi f_s t) + 1]}$

4) Qualité de la modulation

- Le taux de modulation **m** est défini par la relation :

$$\mathbf{m = \frac{S_m}{U_0} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}}$$



- Pour obtenir une modulation d'amplitude de bonne qualité il faut que : $\mathbf{m < 1}$ et $\mathbf{F_p >> f_s}$

iii. Démodulation d'amplitude

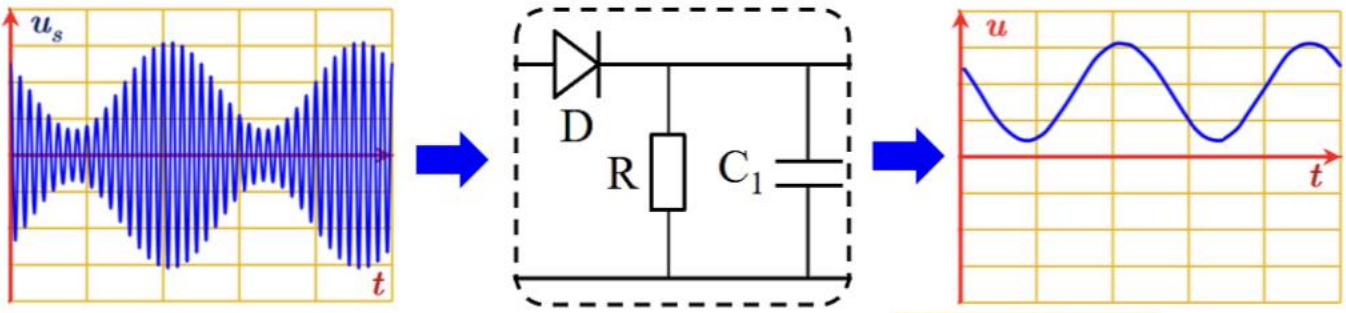
1) Principe

La démodulation consiste à extraire le signal modulant **s(t)** du signal modulé **u(t).**

2) Détection d'enveloppe

Constitué par une diode et une association **RC** parallèle qui constitue un filtre passe-bas

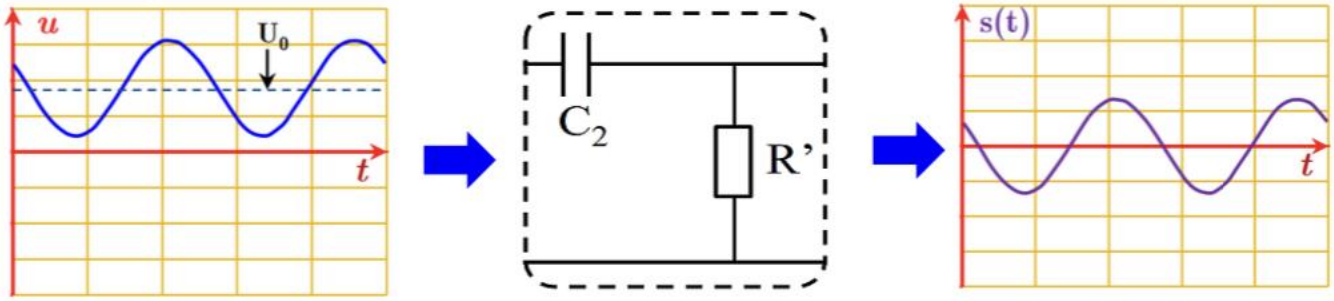
- La diode supprime les alternances négatives de la tension modulée
- Le circuit **RC** permet d'éliminer la tension due à la porteuse



Remarque : Pour avoir une bonne détection d'enveloppe il faut que : $\mathbf{T_P < \tau = RC_1 < T_S}$

3) Élimination de la tension de décalage U_0

Cette étape consiste à éliminer la tension constante $\mathbf{U_0}$ par un filtre passe-haut (qui laisse passer les signaux de hautes fréquences).



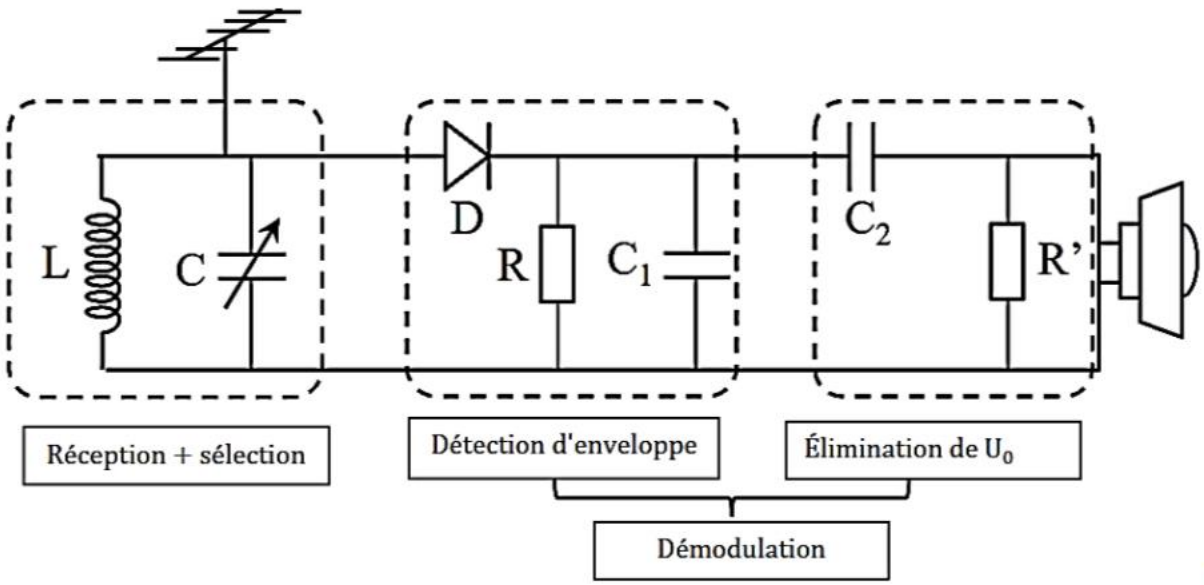
iv. Réaliser un récepteur d'émission radio AM

Un récepteur radio **AM** est composé des éléments suivants :

- Une antenne qui capte les ondes radio.
- Un circuit **LC** pour sélectionner la fréquence de l'onde porteuse que l'on veut capter
- Un circuit de démodulation d'amplitude

Remarque

Pour sélectionner un signal émet, il faut que : $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = F_P$ avec $\begin{cases} f_0 : \text{fréquence propre du circuit LC} \\ F_P : \text{fréquence de l'onde porteuse} \end{cases}$



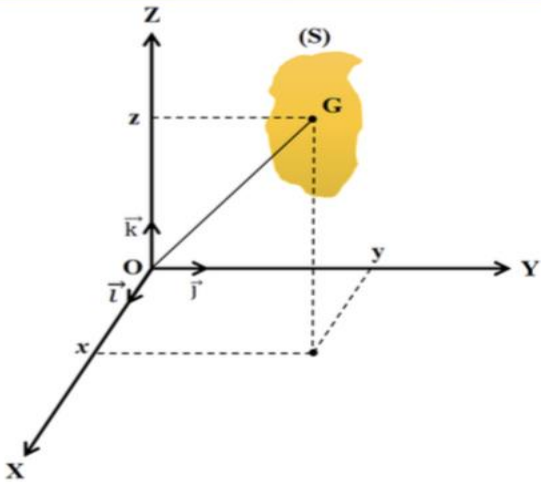
Lois de Newton

i. Repérage d'un point d'un mobile

1) Vecteur position

La position du centre d'inertie **G** d'un système (S) est repérée à chaque instant par le vecteur position $\overrightarrow{OG}$

Dans un repère cartésien : $\overrightarrow{OG} = x\,\vec{i} + y\,\vec{j} + z\,\vec{k}$



- Le module du vecteur position : $\|\overrightarrow{OG}\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

2) Vecteur vitesse

Le vecteur vitesse instantanée du centre d'inertie **G** du solide est égal à la dérivée par rapport au temps du vecteur position :

$$\overrightarrow{V_G} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$$

$$\overrightarrow{V_G} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}$$

- Le module du vecteur vitesse : $\|\overrightarrow{V_G}\| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$

3) Vecteur accélération

Le vecteur accélération instantanée du centre d'inertie **G** du solide est égal à la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse :

$$\overrightarrow{a_G} = \frac{d\overrightarrow{V_G}}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2}$$

$$\overrightarrow{a_G} = \frac{d^2x}{dt^2}\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\vec{k} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k} = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}$$

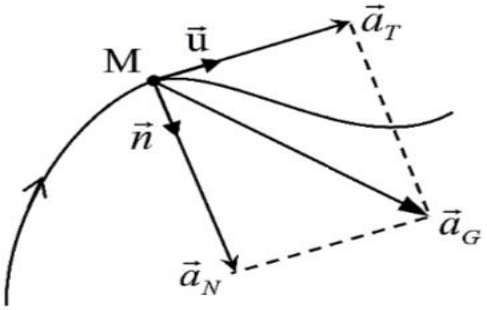
Le module du vecteur accélération : $\|\overrightarrow{a_G}\| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

4) La base locale de Frénet

La base de Frénet est un repère mobile lié au mouvement du point **M**, son origine est le point **M** et ses vecteurs unitaires sont :

$\vec{u}$: Tangent à la trajectoire et dirigé dans le sens du mouvement

$\vec{n}$: Normal à la trajectoire et dirigé vers l'intérieure de la concavité de la trajectoire



L'accélération dans la base de Frénet :

$$\overrightarrow{a_G} = a_T\,\vec{u} + a_N\,\vec{n} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} a_T = \frac{dV}{dt} & \text{: accélération tangentielle} \\ a_N = \frac{V^2}{\rho} & \text{: accélération normale} \end{cases}$$

Avec **ρ** le rayon de courbure de la trajectoire au point **M**

Remarque

Dans le cas où la trajectoire est circulaire on a : $\rho = R$

5) Référentiels galiléens

Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel la première loi de Newton (principe d'inertie) est vérifiée

Remarque

Si **R** est un référentiel galiléen, tout référentiel **R'** en translation rectiligne uniforme par rapport à **R** est un référentiel galiléen

ii. Les lois de Newton

1) La 1ère loi de Newton (principe d'inertie)

Énonce : dans un référentiel galiléen lorsque un système est isolé ou pseudo-isolé alors son centre d'inertie est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme : $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \Leftrightarrow \begin{cases} \vec{V} = \overrightarrow{Cte} \\ \vec{V} = \vec{0} \end{cases}$

2) La 2ème loi de Newton (principe fondamentale de la dynamique)

Enoncé : dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures exercées sur un système est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération $\overrightarrow{a_G}$ $m\,\overrightarrow{a_G} = \sum \overrightarrow{F_{ext}}$

3) La 3ème loi de Newton (principe d'action et de réaction)

Enoncé : La force $\overrightarrow{F_{A/B}}$ exercée par un système **A** sur un système **B** et la force $\overrightarrow{F_{B/A}}$ exercée par le système **B** sur un système **A** ont les mêmes valeurs, mêmes directions et des sens opposés $\overrightarrow{F_{B/A}} = -\overrightarrow{F_{A/B}}$

iii. Mouvement rectiligne uniformément varié

1) Définition

Le mouvement du centre d'inertie **G** d'un corps solide est rectiligne uniformément varié, si la trajectoire de **G** est rectiligne et le vecteur accélération est constante $\overrightarrow{a_G} = \overrightarrow{cte}$

2) Les équations horaires du mouvement

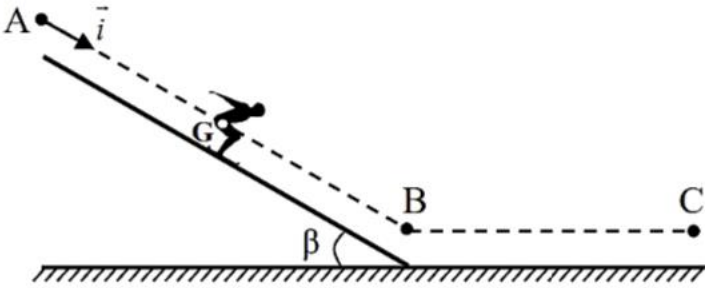
On considère un mouvement rectiligne uniformément varié : $\overrightarrow{a_G} = \overrightarrow{cte}$

On suppose que le mouvement s'effectue selon l'axe (Ox) : $a_x = cte$

- L'équation horaire de la vitesse $V_x(t)$ est : $V_x(t) = a_x.t + V_{x0}$
- L'équation horaire de l'abscisse $x(t)$ est : $x(t) = \frac{1}{2}a_x t^2 + V_{x0}t + x_0$

iv. Application

Un skieur de masse **m** et de centre d'inertie **G** part à $t_0 = 0$ au point **A** avec une vitesse initiale V_0.



Partie AB : les frottements sont négligeables

Le système étudie : (Le skieur)

- Les forces exercées :

Le poids $\overrightarrow{P} = m\,\overrightarrow{g}$

La réaction du plan $\overrightarrow{R}$

- On applique la 2éme loi de newton :

$$m\,\overrightarrow{a_G} = \sum \overrightarrow{F_{ext}} \Leftrightarrow m\,\overrightarrow{a_G} = \overrightarrow{P} + \overrightarrow{R}$$

Par projection sur l'axe (Ox) : $m\,a_x = m\,g\sin\beta + 0 \Leftrightarrow$ l'accélération : $a_x = g\sin\beta$

L'équation horaire du mouvement est : $x(t) = \frac{g\sin\beta}{2}t^2 + V_0 t + x_A$

Partie BC : le mouvement se fait avec frottement

Les frottements équivalents à une force horizontale d'intensité $f = R_T$ constante et de sens opposé au sens du mouvement

- Les forces exercées sur le skieur dans la partie BC

Le poids $\overrightarrow{P} = m\,\overrightarrow{g}$

La réaction du plan $\overrightarrow{R}$

- On applique la 2éme loi de newton $m\,\overrightarrow{a_G} = \sum \overrightarrow{F_{ext}} \Leftrightarrow m\,\overrightarrow{a_G} = \overrightarrow{P} + \overrightarrow{R}$

Projection sur l'axe (Ox) : $m\,a_x = 0 - f \Leftrightarrow$ l'accélération : $a_x = -\frac{f}{m}$

- L'équation horaire du mouvement : $x(t) = -\frac{f}{2m}t^2 + V_B t + x_B$

La chute verticale d'un solide

i. La chute libre d'un corps solide

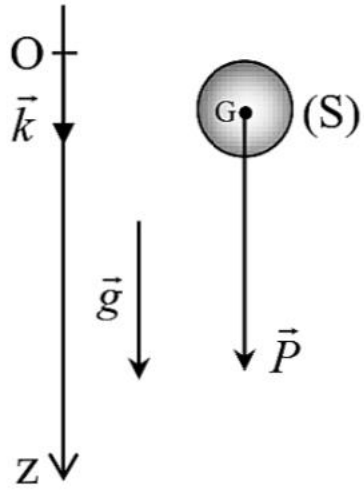
1) Définition

Un solide est en chute libre s'il n'est soumis qu'à son poids

2) Equations horaires du mouvement

Soit un solide (S) de masse **m** en chute libre dans le champ de pesanteur

On étudie le mouvement du solide (S) dans le repère $\boldsymbol{R(O.\vec{k})}$



- On applique la deuxième loi de Newton :

$$m\overrightarrow{a_G} = \sum \overrightarrow{F_{ext}} \quad \Leftrightarrow \quad m\overrightarrow{a_G} = \overrightarrow{P}$$

$$m\overrightarrow{a_G} = m\overrightarrow{g} \quad \Leftrightarrow \quad a_z = g \quad \Leftrightarrow \quad \ddot{z} = g$$

$$\boldsymbol{V_z = g\,t + V_0}$$

- L'équation horaire du mouvement $z(t)$ est :

$$\boldsymbol{z(t) = \frac{1}{2} g\,t^2 + V_{z0}t + z_0} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} V_{z0} : \text{la vitesse à } t = 0s \\ z_0 : \text{l'altitude à } t = 0s \end{cases}$$

ii. La chute verticale avec frottement

1) Forces exercées par un fluide sur un solide

a) Poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_a}$: est une force de contact exercée par un fluide (liquide ou gaz) sur un solide immergé dans ce fluide

b) Caractéristiques de la pousse d'Archimède

- **Point d'application :** centre d'inertie de la partie immergé
- **Direction :** verticale
- **Sens :** du fluide vers le corps immergé
- **Intensité :** $\boldsymbol{F_a = \rho_f . V_{im} . g = m_f . g}$

c) Force de frottement fluide

Les forces exercées par un fluide sur un solide (S) sont équivalentes à une force unique $\vec{f}$

d) Caractéristiques de la force de frottement fluide

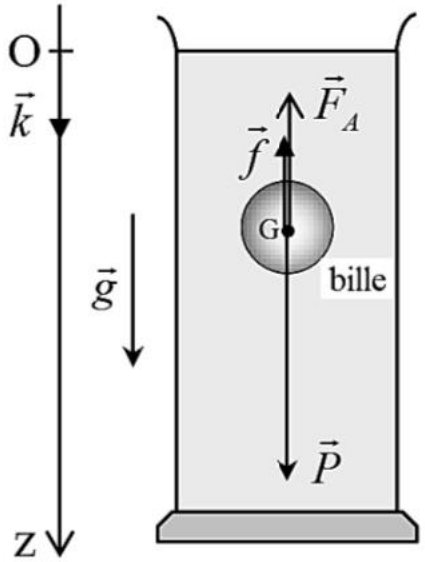
- **Point d'application :** centre d'inertie de (S)
- **Direction :** direction de $\vec{V}$ la vitesse du centre d'inertie de (S)
- **Sens :** sens opposé du sens de $\vec{V}$.
- **Intensité :** $\boldsymbol{f = k.V^n}$ avec $\begin{cases} k : \text{Constante dépend du fluide} \\ V : \text{Vitesse de G} \\ n : \text{nombre entiére} \end{cases}$

Remarque

- Pour des vitesses faibles : $\boldsymbol{n = 1} \quad \Leftrightarrow \quad \boldsymbol{f = kV}$
- Pour des vitesses importantes : $\boldsymbol{n = 2} \quad \Leftrightarrow \quad \boldsymbol{f = kV^2}$

2) Equation différentielle vérifiée par la vitesse

On considère une bille de masse **m**, en chute verticale dans une éprouvette remplie d'huile, on étudie le mouvement de la bille dans le repère $\boldsymbol{R(O.\vec{k})}$ orienté vers le bas (figure ci-contre)



- Le système étudie : (la bille)
- Les forces exercées sur la bille :

Le poids de la bille $\quad \overrightarrow{P} = m\,\overrightarrow{g} = mg\overrightarrow{k}$

Poussée d'Archimède $\quad \overrightarrow{F_a} = -m_f\overrightarrow{g} = -m_f g\overrightarrow{k}$

Force de frottement fluide $\quad \overrightarrow{f} = -k.\overrightarrow{V^n} = -kV^n\overrightarrow{k}$

- On applique la 2ème loi de newton

$$m\,\overrightarrow{a_G} = \sum \overrightarrow{F_{ext}} \quad \Leftrightarrow \quad m\,\overrightarrow{a_G} = \overrightarrow{P} + \overrightarrow{F_a} + \overrightarrow{f}$$

Projection sur (Oz) $\quad m\,a_z = mg - m_f g - kV^n$

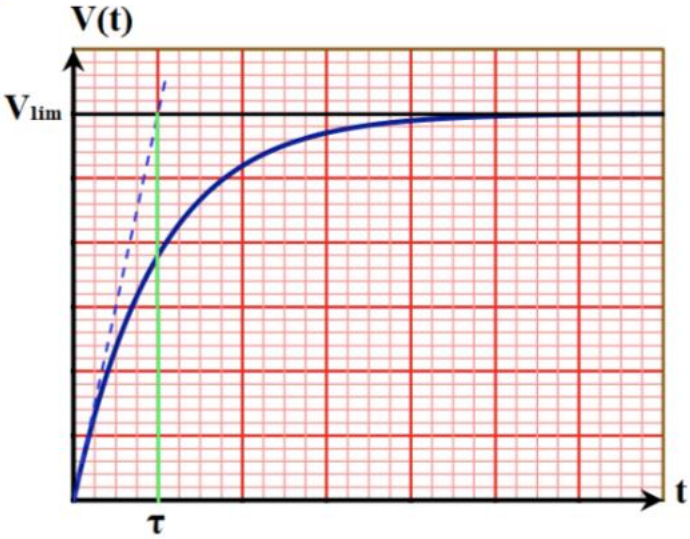
$$\frac{dV}{dt} = g\left(1 - \frac{m_f}{m}\right) - \frac{k}{m}V^n$$

$$\boxed{\frac{dV}{dt} = A - B\,V^n \quad \text{avec} \quad \begin{cases} A = g\left(1 - \frac{m_f}{m}\right) \\ B = \frac{k}{m} \end{cases}}$$

3) Les grandeurs caractérisant le mouvement

a) La constante de temps τ

La tangente à la courbe $V = f(t)$ au point O coupe l'asymptote en un point d'abscisse τ appelé temps caractéristique



b) La vitesse limite V_{lim}

La fonction V(t) se stabilise à une vitesse limite V_{lim}

$$\frac{dV}{dt} = A - B\,V_{lim}^n = 0 \Leftrightarrow V_{lim} = \left(\frac{A}{B}\right)^{\frac{1}{n}}$$

c) L'accélération initiale a_0

L'accélération initiale est donnée par :

$$a_0 = A - B\,V_0^n = A \quad \Leftrightarrow \quad a_0 = g\left(1 - \frac{m_f}{m}\right)$$

4) Résolution de l'équation différentielle par la méthode d'Euler

La méthode d'Euler est une méthode numérique permet de résoudre l'équation différentielle $\frac{dV}{dt} = A - B\,V^n$

Les étapes de la méthode d'Euler

- **1ère étape :** calcule de l'accélération a_i à la date t_i : $a_i = A - B\,V_i^n$
- **2ème étape :** calcule de la vitesse V_i à la date $t_i = t_{i-1} + \Delta t$ (Δt : appelée pas du calcul)

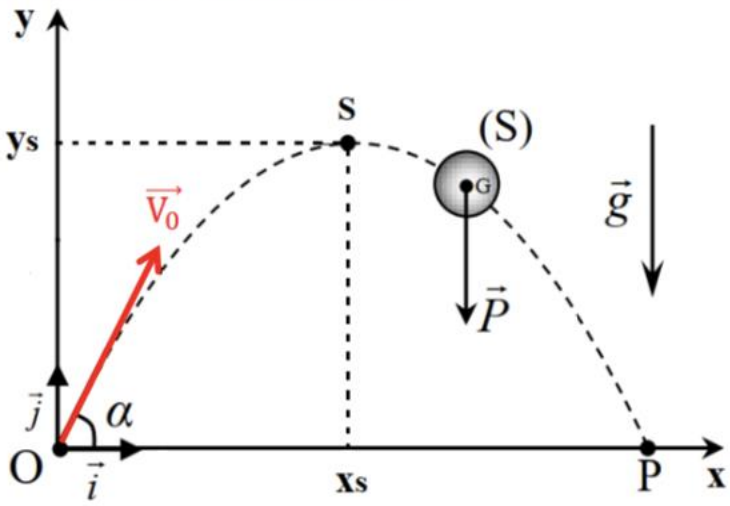
$$a_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{\Delta t} \quad \Leftrightarrow \quad V_i = a_{i-1}\,\Delta t + V_{i-1}$$

Etape **i**	Date t_i	Vitesse V_i	Accélération a_i
0	$t_0 = 0$	V_0	$a_0 = A - B\,V_0^n$
1	$t_1 = t_0 + \Delta t$	$V_1 = a_0\Delta t + V_0$	$a_1 = A - B\,V_1^n$
2	$t_2 = t_1 + \Delta t$	$V_2 = a_1\Delta t + V_1$	$a_2 = A - B\,V_2^n$
3	$t_3 = t_2 + \Delta t$	$V_3 = a_2\Delta t + V_2$	$a_3 = A - B\,V_3^n$

Mouvements plans

i. Mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur

Un projectile **(S)** de masse **m** est lancée en un point **O** avec une vitesse initiale $\overrightarrow{V_0}$ faisant un angle α avec l'horizontale, le projectile se déplace dans un champ de pesanteur $\vec{g}$ (supposé uniforme)



1) Equations horaires du mouvement

On étudie le mouvement dans le repère $R(O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$

- Le système étudie : (le projectile)
- La seule force exercée sur le projectile **(S)** est son poids $\overrightarrow{P} = m\,\vec{g} = -mg\,\vec{\jmath}$
- On applique la 2éme loi de newton

$$m\,\overrightarrow{a_G} = \sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{P}$$

$$(1) \quad \mathbf{m\,\overrightarrow{a_G} = -mg\,\vec{\jmath}}$$

- Les conditions initiales : $\begin{cases} V_{0x} = V_0.\cos\alpha \\ V_{0y} = V_0.\sin\alpha \end{cases}$ et $\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$

Projection de (1) sur l'axe (Ox)	Projection de (1) sur l'axe (Oy)
$a_x = 0$	$a_y = -g$
$\frac{dV_x}{dt} = 0$ et $\frac{d^2x}{dt^2} = 0$	$\frac{dV_y}{dt} = -g$ et $\frac{d^2y}{dt^2} = -g$
$\mathbf{V_x(t) = V_0.\cos\alpha}$	$\mathbf{V_y(t) = -g\,t + V_0.\sin\alpha}$
$\mathbf{x(t) = V_0.\cos\alpha\,.\,t}$	$\mathbf{y(t) = -\frac{1}{2}g\,t^2 + V_0.\sin\alpha\,t}$

2) Les caractéristiques de la trajectoire

a) Équation de la trajectoire

En éliminant le paramètre temps **t** des équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ on obtient l'équation de la trajectoire

$$\mathbf{y = \frac{g}{2.V_0^2.\cos\alpha^2}\,x^2 + \tan\alpha\,.\,x}$$ (Équation d'une parabole)

b) La portée x_P

La portée est la distance entre le point de lancement **O** et le point d'impact **P** sur le plan horizontal

C'est la valeur de x qui annule y : $\mathbf{x_P = OP = \frac{2.V_0^2.\cos\alpha\sin\alpha}{g}}$

Remarque : la portée est maximale pour un angle $\alpha = 45°$

c) Le sommet / la flèche S de la trajectoire

Le sommet **S** de la trajectoire est l'altitude maximale atteinte par le projectile.

Au point **S** : $V_y(t_S) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -g\,t_S + V_0.\sin\alpha = 0 \quad \Leftrightarrow \quad t_S = \frac{V_0.\sin\alpha}{g}$

- On remplace t_S dans $x(t)$ et $y(t)$: les coordonnées du sommet **S** :

$$\begin{cases} x_S = \frac{V_0^2.\cos\alpha\sin\alpha}{g} \\ y_S = \frac{V_0^2\sin\alpha^2}{2g} \end{cases}$$

Satellites artificielles et planètes

i. Les lois de Kepler

Référentielle héliocentrique

Est un référentielle a pour origine le centre du soleil et ces axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines

Référentielle géocentrique

Est un référentielle a pour origine le centre de la terre et ces axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines

1^{ér} loi de Kepler : Loi des orbites

Dans un référentiel héliocentrique, chaque planète décrit une ellipse dont le centre du Soleil occupe un des foyers

2^{éme} loi de Kepler : Loi des aires

Le segment de droite reliant les centres de gravité de soleil (S) et de la planète (P) balaie des aires égales pendant des durées égales

3^{éme} loi de Kepler : Loi des périodes

Le rapport du carré de la période de révolutions T et le cube du demi grand axe **a** est constant.

$$\frac{T^2}{a^3} = cte$$

ii. Étude du mouvement d'une planète autour du soleil

1) Loi de la gravitation universelle (rappel)

Deux corps ponctuels **A** et **B**, de masses m_A et m_B , séparés par la distance **d**, exercent l'un sur l'autre des forces d'interactions $\overrightarrow{F_{A/B}}$ et $\overrightarrow{F_{B/A}}$ ayant :

- Même droite d'action (AB)
- Des sens opposés
- Même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A} = G.\frac{m_A m_B}{d^2}$

G : constante de gravitation universelle $G = 6.67.10^{-11}$ (S.I)

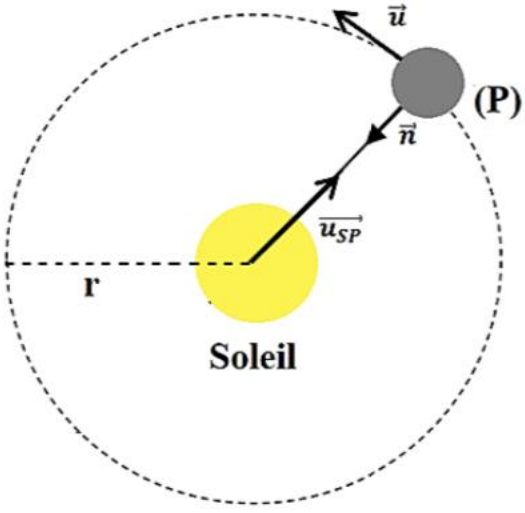
2) Étude du mouvement d'une planète autour du soleil

Une planète (**P**) de masse m_P décrit un mouvement autour du soleil.

On choisit le référentiel héliocentrique pour étudier le mouvement

- Le système étudie : (la planète P)
- Les forces exercées sur (P) :

La force exercée par le soleil : $\overrightarrow{F_{S/P}} = -G.\frac{m_P M_S}{r^2}\overrightarrow{u_{SP}}$



- On applique la 2^{éme} loi de newton :

$$m_P\,\vec{a} = \sum \overrightarrow{F_{ext}} \quad \Leftrightarrow \quad m_P\,\vec{a} = \overrightarrow{F_{S/P}} = -G.\frac{m_P M_S}{r^2}\overrightarrow{u_{SP}}$$

$$\vec{a} = -G.\frac{M_S}{r^2}\overrightarrow{u_{SP}}$$

Remarque : $\overrightarrow{u_{SP}} = -\vec{n}$

- Dans la base de Frénet : $\vec{a} = \frac{dV}{dt}\vec{u} + \frac{V^2}{r}\vec{n} = G.\frac{M_S}{r^2}\vec{n}$

$\frac{dV}{dt} = 0$ et $\frac{V^2}{r} = G.\frac{M_S}{r^2}$

- La vitesse du centre de la planète est alors : $V = \sqrt{\frac{G.M_S}{r}}$

La période de révolution T

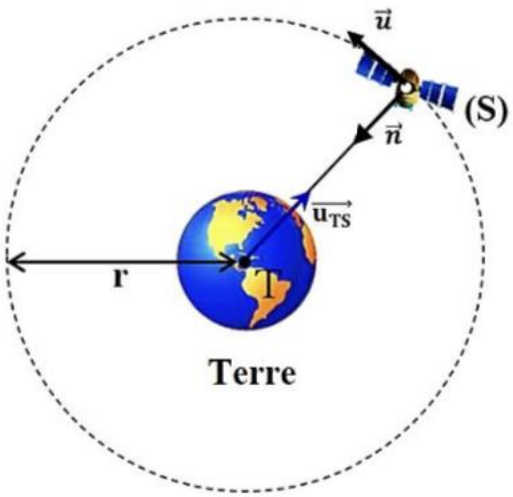
La période de révolution d'une planète est la durée d'un tour complet de son centre autour du soleil

On a $T = \frac{2\pi.r}{V}$ et $V = \sqrt{\frac{G.M_S}{r}}$ $\Leftrightarrow$ $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G.M_S}}$

3) Étude du mouvement d'un satellite autour de la terre

Un satellite (**S**) de masse $\mathbf{m_S}$ décrit un mouvement autour de la terre

On choisit le référentiel géocentrique pour étudier le mouvement.



Le système étudie : (le satille S)

- Les forces exercées sur (S) :

La force exercée par la terre $\overrightarrow{F_{T/S}} = -G.\frac{m_S M_T}{r^2}\overrightarrow{u_{TS}}$

- On applique la 2^{éme} loi de newton :

$m_S\,\vec{a} = \sum \overrightarrow{F_{ext}} \quad \Leftrightarrow \quad m_S\,\vec{a} = \overrightarrow{F_{T/S}} = -G.\frac{m_S M_T}{r^2}\overrightarrow{u_{TS}}$

- Dans la base de Frénet :

$$\vec{a} = \frac{dV}{dt}\vec{u} + \frac{V^2}{r}\,\vec{n} = G.\frac{M_T}{r^2}\,\vec{n}$$

$$\frac{dV}{dt} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{V^2}{r} = G.\frac{M_T}{r^2}$$

- La vitesse du centre du satellete est alors : $\mathbf{V = \sqrt{\frac{G.M_T}{r}} = \sqrt{\frac{G.M_T}{(R_T+h)}}}$ avec $\mathbf{r = R_T + h}$

La période de révolution T

La période de révolution d'un satellite est la durée d'un tour complet autour de la terre, $\mathbf{T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{G.M_T}}}$

4) La satellisation

La satellisation c'est mettre un satellite sur son orbite autour de la terre et de lui donner une vitesse suffisante pour avoir un mouvement circulaire uniforme autour de la terre

5) Les satellites géostationnaires

Pour qu'un satellite soit géostationnaire par rapport à la terre, il faut :

- Qu'ils décrivent un mouvement circulaire uniforme dans un plan contenant l'équateur.
- Qu'ils tournent dans le même sens que la terre.
- Que leur période de révolution soit égale à la période de rotation de la terre ($\mathbf{T_{terre} \approx 24h}$).

Remarque

On peut calculer la hauteur $\boldsymbol{h}$ à laquelle un satellite soit géostationnaire par rapport à la terre

$$\mathbf{T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{G.M_T}} \quad \Leftrightarrow \quad h = \sqrt[3]{\frac{T^2 G M_T}{4\pi^2}} - R_T}$$

Chimie



Les grandeurs physiques liées à la quantité de matière

La mole est l'unité de la quantité de matière (symbole : mol). **1 mol** correspond à $6,02 \times 10^{23}$ particules (nombre d'Avogadro $\mathcal{N}_A$)

Les grandeurs physiques liées à la quantité de matière	Les relations	Les unités
Le nombre N d'atome , de molécules ou d'ions contenus dans l'échantillon est proportionnel à la quantité de matière n correspondante . D'où la relation :	$n = \frac{N}{N_A}$	N_A=6,02.10^{23} mol^{-1} *n; (mol)*
La masse m d'un échantillon d'une espèce chimique X et sa quantité de matière n sont reliées par la relation :	$n = \frac{m}{M}$	m: (g) M:(g.mol^{-1})
La masse volumique ρ d'un corps est égale au quotient de sa masse m par son volume V .	$\rho = \frac{m}{V}$	m: (g ou Kg) V: (cm^3, L , m^3)
la relation entre n , ρ et V.	$n = \frac{\rho . V}{M}$	M:(g.mol^{-1}) *n; (mol)* V: (cm^3, L , m^3)
La densité d d'un corps par rapport à l'eau est égale au quotient de la masse m de ce corps par la masse m_0 d'un même volume V d'eau :	$d = \frac{m}{m_0}$	m: (g ou Kg)
La densité d d'un gaz par rapport à l'air , est égale au quotient de la masse m d'un volume V de gaz par la masse m_{air} du même volume V d'air ,	$d = \frac{M}{29}$	M:(g.mol^{-1})
La concentration molaire C d'un soluté moléculaire X dissous dans une solution homogène est égale au quotient de la quantité n par le volume V de la solution .	$C = \frac{n}{V}$	*n; (mol)* C: (mol.L^{-1}) V: (L)
À température constante, pour une quantité de matière donnée de gaz, le produit de la pression P par le volume V de ce gaz ne varie pas :	$P.V = cte$	V: (m^3) P:(Pa)
L'expérience montre que les quatre variables d'état (P, V, n, T) sont liées par une équation s'appelle **l'équation d'état des gaz parfait**	$P.V = n.R.T$	T: (K) R:(SI)
la relation de la dilution :	$C_i . V_i = C_f . V_f$	C: (mol.L^{-1}) V: (L)
D'après la définition du volume molaire V_m , la quantité de matière n d'une espèce chimique est liée à son volume V par la relation :	$n = \frac{V}{V_m}$	V: (L) V_m:(L.mol^{-1})

Tableau d'avancement

Equation de réaction		$a\,A + b\,B \rightleftharpoons c\,C + d\,D$				
Etat de système	**Avancement**	**La quatité de matière en** (mol)				
Etat Initial	0	$n_i(A)$	$n_i(B)$		0	0
Etat Intermédiaire	x	$n_i(A) - a.x$	$n_i(B) - b.x$		$c.x$	$d.x$
Etat Final	x_{max}	$n_i(A) - a.x_{max}$	$n_i(B) - b.x_{max}$		$c.x_{max}$	$d.x_{max}$

Transformations rapides et transformations lentes

i. Réaction d'oxydoréduction

1) Définitions

Oxydant : est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs électrons (noté Ox)

Réducteur : est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs électrons (noté Red)

Oxydation : est une perte d'électrons $Red \rightarrow Ox + ne^-$

Réduction : est un gain d'électrons $Ox + ne^- \rightarrow Red$

2) Couple d'oxydoréduction (Ox/Red)

Le couple **Ox/Red** constitué par un oxydant et le réducteur correspondant.

On associe au couple **Ox/Red** une demi-équation d'oxydo-réduction : $Ox + n.e^- \rightleftharpoons Red$

- Pour équilibrer la demi-équation oxydo-réduction, on suit les étapes suivantes :
  - Conservation des éléments autre que l'oxygène (**O**) et l'hydrogène(**H**)
  - Conservation de l'élément oxygène (**O**) en ajoutant des molécules H_2O
  - Conservation de l'élément Hydrogène (**H**) en ajoutant des ions H^+
  - Conservation de la charge électrique en ajoutant des électrons e^-

3) Équation de la réaction d'oxydo-réductions

Une réaction oxydo-réduction met en jeu deux couples : Ox_1/Red_1 et Ox_2/Red_2

Pour établir l'équation de la réaction on suit les étapes suivantes :

1) Écrire les demi-équations oxydo-réductions :

(1) $Red_1 \rightleftharpoons Ox_1 + n_1e^-$ et (2) $Ox_2 + n_2e^- \rightleftharpoons Red_2$

2) On fait la somme (1) + (2) de sorte que le nombre d'électrons échangés soit le même

$n_2(Red_1 \rightleftharpoons Ox_1 + n_1e^-)$ et $(Ox_2 + n_2e^- \rightleftharpoons Red_2)n_1$

$$n_1Ox_2 + n_2Red_1 \rightarrow n_1Red_2 + n_2Ox_1$$

ii. Transformation rapide et transformation lente

1) Transformation rapide

Transformation se fait en une durée trop courte pour être suivie par l'œil ou par les instruments de mesures

2) Transformation lente

Transformation peut être suivie par l'œil ou par les instruments de mesures

3) Méthodes physiques pour suivi une transformation lente

- **Conductimétrie :** Pour les milieux réactionnels contenant des ions.
- **pH-mètre** : Pour les milieux réactionnels contenant des ions H_3O^+ et HO^-
- **Mesure de volume ou de pression** : Lorsqu'un gaz est mis en jeu.

iii. Facteurs cinétiques

Les facteurs cinétiques : grandeurs qui ont une influence sur la vitesse d'évolution d'un système chimique

L'influence de la température	L'influence des concentrations initiales
La vitesse d'évolution d'un système chimique est d'autant plus grande que sa température est plus Elevée	La vitesse d'évolution d'un système chimique est d'autant plus grande que les concentrations en réactifs sont plus importantes

Suivi temporel d'une transformation

i. Suivi temporel d'une transformation chimique

1) Définition

Suivi l'évolution d'une transformation chimique c'est connaître sa composition à chaque instant.

2) Méthodes de suivi l'évolution d'une transformation

Méthodes physiques	Méthode chimique
La conductimétrie La mesure de la pression au de volume La mesure du pH	Le dosage

ii. Vitesse de réaction et le temps de demi-réaction

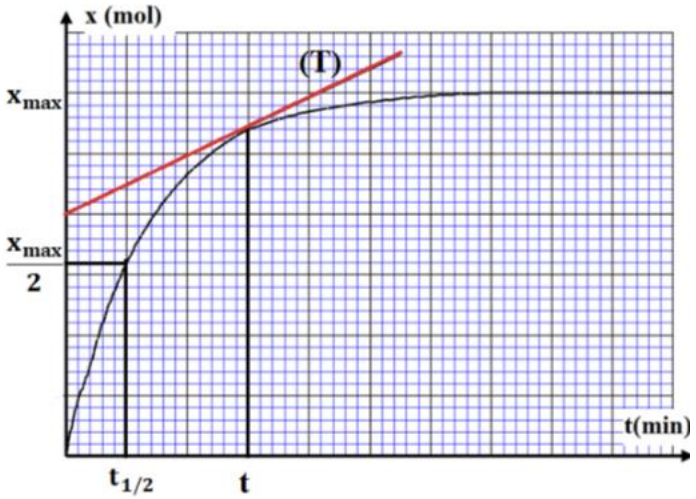
1) Vitesse de réaction

La vitesse volumique de réaction v est définie par :

$$v = \frac{1}{V}.\frac{dx}{dt}$$ avec $\begin{cases} v : \text{la vitesse volumique en } (mol.m^{-3}.s^{-1}) \\ V : \text{volume total de la solution en } (m^3) \\ dx : \text{la variation de l'avancemment en (mol)} \\ dt : \text{la variation de temps en (s)} \end{cases}$

2) Détermination graphique du v

Pour déterminer la vitesse volumique de la réaction à un instant **t**, on calcule le coefficient directeur $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ de la tangente **(T)** de la courbe $x = f(t)$ à l'instant **t** et on le divise par le volume total de la solution **V**



3) Temps de demi-réaction

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est le temps nécessaire pour que l'avancement de la réaction soit égal à la moitié de sa valeur finale $x\left(t_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{x_f}{2}$

Remarque

- Si la transformation est totale $x_f = x_{max}$
- Généralement la vitesse de la réaction diminue au cours du temps car les concentrations des réactifs diminuent

4) Autres expressions de la vitesse de la réaction

On peut exprimer aussi la vitesse de la réaction en fonction de :

Concentration d'un ion formé	Le volume du gaz formé	La pression du gaz formé	La conductivité σ
$v = \frac{1}{a}.\frac{d[ion]}{dt}$	$v = \frac{1}{a.V.V_m}.\frac{dV(gaz)}{dt}$	$v = \frac{X_{max}}{V.\Delta P_{max}}.\frac{d\Delta P}{dt}$	$v = \frac{X_{max}}{V.\sigma_{max}}.\frac{d\sigma}{dt}$

a : Le coefficient stœchiométrique de l'élément chimique suivi.

iii. Vitesse de la réaction et facteurs cinétiques

1) La température

Plus la température est élevée, plus les collisions sont élevées et plus la réaction est rapide.

2) La concentration initiale des réactifs

Plus les concentrations initiales des réactifs sont élevées, plus les collisions sont élevées et plus la réaction est rapide.

1. Définition :

La vitesse volumique v(t) d'une réaction se déroulant dans un volume constant V est la valeur de la dérivée temporelle de l'avancement x de la réaction , divisée par le volume V : $v(t) = \frac{1}{V}.\frac{dx}{dt}$

dx laccroissement de l'avancement x en mol
dt l'accroissement du temps t soit en seconde , en minute ou en heure
V le volume du mélange réactionnel en litre ou m^3
L'unité de la vitesse volumique dans le SI est : $mol/m^3/s$
On peut aussi exprimer la vitesse volumique de la réaction en fonction de la concentration effective .

2. Détermination graphique de la vitesse :

Détermination graphique :

La vitesse est le coefficient directeur de la droite tangente à la courbe x=f(t) à un instant donné t_i.

$$\mathbf{V = \frac{1}{V_S}\frac{\Delta x}{\Delta t}}$$ avec V : Vitesse de réaction ($mo\ell.\ell^{-1}.s^{-1}$)
x : avancement de réaction ($mo\ell$)
V_S : Volume de la solution (ℓ)

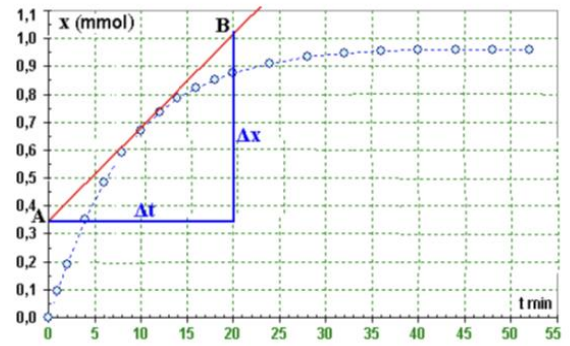
On choisit deux points A et B de la tangente $A\binom{t_A}{x_A}$ et $B\binom{t_B}{x_B}$

et la vitesse $\mathbf{V = \frac{1}{V_S}\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{V_S}.\frac{x_B - x_A}{t_B - t_A}}$

La vitesse de réaction maximale au début de la transformation, diminue avec le temps et tend vers zéro en fin de réaction.

Explication :

La diminution de la vitesse est due à la diminution de la concentration des réactifs au cours de la transformation.



Le volume de la solution est V_S=200mℓ
Δx=0.675mmoℓ et Δt=20min

$$V = \frac{1}{V_S}\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$V = \frac{1}{200\ 10^{-3}}.\frac{0.675\ 10^{-3}}{20} = 1.68\ 10\ mo\ell.min^{-1}.\ell^{-1}$$

3. Autres expressions de la vitesse de réaction

	Réactif		Produit
	aA	→	bB
t=0	n_1		0
t	n_1-a.x		b.x
t_f	n_1-ax_f		b.x_f

On peut déterminer du tableau d'avancement la quantité de matière à l'instant t

t	n(A) = n_1-a.x		n(B) = b.x

En exploitant les expressions des quantités de matière on obtient l'expression d'une grandeur et par suite l'expression de la vitesse de réaction en fonction de cette grandeur

Exemples :

En fonction de la concentration :

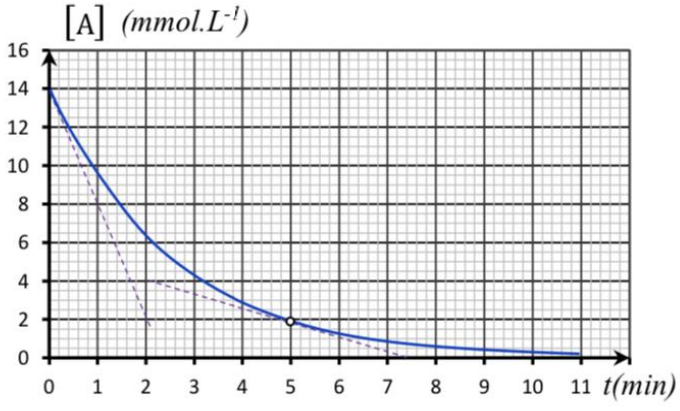
Cas d'un réactif :

	Réactif A
	aA
t=0	n_1
t	n_1-a.x

On a n(A)=n_1-a.x alors $[A] = \frac{n(A)}{V_S} = \frac{n_1 - a.x}{V_S}$

d'où $x = \frac{n_1 - [A].V_S}{a}$

et la vitesse : $\mathbf{V = \frac{1}{V_S}\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{a}.\frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{a}.\frac{\Delta[A]}{\Delta t}}$



Transformations chimiques qui ont lieu dans les deux sens

i. Rappels sur les acides et les bases

1) Définitions au sens de Bronsted

Acide : est une espèce chimique susceptible de céder au moins un proton H^+

Base : est une espèce chimique susceptible de capter au moins un proton H^+

2) Couple acide/base

- Le couple **(HA/A⁻)** est composé d'un acide **AH** et de sa base conjugue A^-, possible de passer de l'acide à la base et inversement par perte au gain d'un proton H^+
- On associe au couple **(HA/A⁻)** une demi-équation acido-basique : $HA \rightleftharpoons A^- + H^+$

Remarque

Les espèces chimiques appartenant à deux couples sont appelées des ampholytes (exemple H_2O)

3) Réactions acido-basiques

Une réaction acido-basique est une réaction qui met en jeu un transfert de proton H^+ entre les réactifs.

La réaction acido-basique met en jeu deux couples acide/base : A_1H /A_1^- et A_2H /A_2^-.

- Les demi-équations acido-basiques :

$$A_1H \leftrightarrows A_1^- + H^+ \quad \text{et} \quad A_2^- + H^+ \leftrightarrows A_2H$$

- L'équation bilan de la réaction : $A_1H + A_2^- \rightarrow A_1^- + A_2H$

4) Définition du pH d'une solution

Le **pH** d'une solution est défini par la relation : $pH = -\log[H_3O^+] \Leftrightarrow [H_3O^+] = 10^{-pH}$

ii. Taux d'avancement final τ

1) Avancement final et l'avancement maximal

- L'avancement maximal x_{max} est l'avancement qui correspond à l'état final théorique
- L'avancement final x_f est la valeur de l'avancement qui correspond à l'état final réel

2) Taux d'avancement final τ

Le taux d'avancement final d'une réaction, noté τ, est donné par :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} \Rightarrow \begin{cases} \text{Si } \tau = 1 : \text{ la réaction est totale} \\ \text{Si } \tau < 1 : \text{ la réaction est limitée} \end{cases}$$

3) Réaction limitée

Lorsque la réaction est limitée $\tau < 1$ la réaction aura lieu dans les deux sens, l'équation de la réaction s'écrit par deux flèches : $a.A + b.B \rightleftharpoons c.C + d.C$

Lorsque la réaction est limitée, l'état final du système est dans un état d'équilibre chimique

4) Interprétation microscopique de l'état d'équilibre chimique

A l'équilibre les concentrations des réactifs et des produits restent constantes

Au niveau microscopique la réaction s'effectuent dans les deux sens **(1)** et **(2)** avec la même vitesse

$$a.A_{(aq)} + bB_{(aq)} \overset{1}{\underset{2}{\rightleftharpoons}} c.C_{(aq)} + d.D_{(aq)}$$

iii. Facteurs influençant sur le taux d'avancement

1) Influence de la constante d'équilibre

Exemple

Considérons la réaction de la transformation entre l'acide méthanoïque et l'eau selon l'équation de la réaction suivante : $\mathbf{HCOOH + H_2O \leftrightharpoons H_3O^+ + HCOO^-}$

Le tableau d'avancement :

Équation de la réaction		$HCOOH + H_2O \leftrightharpoons H_3O^+ + HCOO^-$				
État du système	Avancement	Quantités de matière en (mol)				
État initial	0	C.V	En excès		0	0
État intermédiaire	x	$C.V - x$			x	x
État d'équilibre	x_{max}	$C.V - x_{max}$			x_{max}	x_{max}
	$x_{éq}$	$C.V - x_{éq}$			$x_{éq}$	$x_{éq}$

- L'avancement maximal de la réaction : $\mathbf{x_{max} = C.V}$
- Le taux d'avancement $\boldsymbol{\tau = \frac{x_{éq}}{C.V}}$ $\Leftrightarrow$ $\mathbf{x_{éq} = \tau.C.V}$
- D'après le tableau d'avancement : $\mathbf{[H_3O^+]_{éq} = [HCOO^-]_{éq} = \frac{x_{éq}}{V}}$ et $\mathbf{[HCOOH]_{éq} = \frac{C.V - x_{éq}}{V}}$

On a : $\mathbf{K = \frac{[H_3O^+]_{éq}.[HCOO^-]_{éq}}{[HCOOH]_{éq}} = \frac{x_{éq}^2}{(C.V - x_{éq}).V}}$ et $\mathbf{x_{éq} = \tau.C.V}$

La constant d'équilibre en fonction du taux de l'avancement : $\mathbf{K = \frac{C.\tau^2}{(1-\tau)}}$

Conclusion

Plus la constante d'équilibre **K** est grande plus le taux d'avancement **τ** est élevé.

2) Influence de l'état initial d'un système

Plus la concentration de la solution est faible plus le taux d'avancement **τ** est élevé

Exemple

Acide éthanoïque de concentration initiale $C_i(mol/L)$	5.10^{-2}	5.10^{-3}	5.10^{-4}
Taux d'avancement **τ**	0.02	0.06	0.17

Etat d'équilibre d'un système chimique

i. État d'équilibre d'un système chimique

1) Quotient de réaction Q_r

Considérons l'équation de la réaction : $\mathbf{a.A_{(aq)} + b.B_{(aq)} \overset{1}{\underset{2}{\rightleftharpoons}} c.C_{(aq)} + d.D_{(aq)}}$

Le quotient de la réaction est une grandeur qui nous renseigne sur l'évolution du système étudié :

Le quotient de la réaction $\mathbf{Q_r}$ est donné par : $\mathbf{Q_r = \frac{[C]^c.[D]^d}{[A]^a.[B]^b}}$

[X] : La concentration molaire de l'espèce chimique **X**, en (mol/L)

Remarque

Les solides et l'eau ne figurent pas dans l'expression de ce quotient

2) La constante d'équilibre K

La constante d'équilibre **K** est le quotient de réaction à l'équilibre : $\mathbf{K = Q_{réq} = \frac{[C]^c_{éq}.[D]^d_{éq}}{[A]^a_{éq}.[B]^b_{éq}}}$

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

Remarque : dans le cas d'un équilibre chimique, l'avancement final est noté $\mathbf{x_{éq}}$

ii. Conductance et conductivité d'une solution

1) La conductance

La conductance d'une solution est donnée par la relation :

$$\mathbf{G = \sigma.\frac{S}{L}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \sigma : \text{la conductivité de la solution en } (S.m^{-1}) \\ S : \text{la surface des électrodes en } (m^2) \\ L : \text{la distance entre les plaques en } (m) \end{cases}$$

2) La conductivité

La conductivité de la solution est égale à la somme des conductivités molaires des ions de la solution.

$$\boldsymbol{\sigma = \sum \lambda_i.[X_i]} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \sigma : \text{la conductivité en } (S.m^{-1}) \\ \lambda_i : \text{la conductivité molaire ionique en} (S.m^2mol^{-1}) \\ [X_i] : \text{la concentration de l'ion } X_i \text{ en} (mol.m^{-3}) \end{cases}$$

3) Détermination de la constante d'équilibre par la mesure de la conductivité

Exemple : considérons une solution de volume **V** d'acide éthanoïque CH_3COOH de concentration **C**

L'équation de la réaction de l'acide éthanoïque avec l'eau : $\mathbf{CH_3COOH + H_2O \leftrightharpoons H_3O^+ + CH_3COO^-}$

Équation de la réaction		CH_3COOH	+	H_2O	⇋	H_3O^+	+	CH_3COO^-
État du système	Avancement	Quantités de matière en (mol)						
État initial	0	C.V	En excès			0		0
État intermédiaire	x	C.V − x				x		x
État final	x_{max}	C.V − x_{max}				x_{max}		x_{max}
	$x_{éq}$	C.V − $x_{éq}$				$x_{éq}$		$x_{éq}$

- L'expression de la conductivité : $\boldsymbol{\sigma_{éq} = \lambda_{H_3O^+}[H_3O^+]_{éq} + \lambda_{CH_3COO^-}[CH_3COO^-]_{éq}}$
- D'après le tableau d'avancement : $\boldsymbol{[H_3O^+]_{éq} = [CH_3COO^-]_{éq}}$ et $\boldsymbol{[CH_3COOH]_{éq} = C - [H_3O^+]_{éq}}$
- Connaissant la conductivité à l'équilibre on peut calculer la valeur de $[H_3O^+]_{éq}$:

$$\mathbf{[H_3O^+]_{éq} = \frac{\sigma_{éq}}{(\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-})}}$$

- La constante d'équilibre est donnée par : $\mathbf{K = \frac{[H_3O^+]^2_{éq}}{C - [H_3O^+]_{éq}}}$

iii. Facteurs influençant sur le taux d'avancement

1) Influence de la constante d'équilibre

Exemple

Considérons la réaction de la transformation entre l'acide méthanoïque et l'eau selon l'équation de la réaction suivante : $\mathbf{HCOOH + H_2O \leftrightharpoons H_3O^+ + HCOO^-}$

Le tableau d'avancement :

Équation de la réaction		$HCOOH + H_2O \leftrightharpoons H_3O^+ + HCOO^-$			
État du système	Avancement	Quantités de matière en (mol)			
État initial	0	C.V	En excès	0	0
État intermédiaire	x	$C.V - x$		x	x
État d'équilibre	x_{max}	$C.V - x_{max}$		x_{max}	x_{max}
	$x_{éq}$	$C.V - x_{éq}$		$x_{éq}$	$x_{éq}$

- L'avancement maximal de la réaction : $\mathbf{x_{max} = C.V}$
- Le taux d'avancement $\boldsymbol{\tau = \frac{x_{éq}}{C.V}}$ $\Leftrightarrow$ $\mathbf{x_{éq} = \tau.C.V}$
- D'après le tableau d'avancement : $\mathbf{[H_3O^+]_{éq} = [HCOO^-]_{éq} = \frac{x_{éq}}{V}}$ et $\mathbf{[HCOOH]_{éq} = \frac{C.V - x_{éq}}{V}}$

On a : $\mathbf{K = \frac{[H_3O^+]_{éq}.[HCOO^-]_{éq}}{[HCOOH]_{éq}} = \frac{x_{éq}^2}{(C.V - x_{éq}).V}}$ et $\mathbf{x_{éq} = \tau.C.V}$

La constant d'équilibre en fonction du taux de l'avancement : $\mathbf{K = \frac{C.\tau^2}{(1-\tau)}}$

Conclusion

Plus la constante d'équilibre **K** est grande plus le taux d'avancement **τ** est élevé.

2) Influence de l'état initial d'un système

Plus la concentration de la solution est faible plus le taux d'avancement **τ** est élevé

Exemple

Acide éthanoïque de concentration initiale $C_i(mol/L)$	5.10^{-2}	5.10^{-3}	5.10^{-4}
Taux d'avancement **τ**	0.02	0.06	0.17

Transformation acido-basique en solution aqueuse

i. Le produit ionique de l'eau

1) Autoprotolyse de l'eau

L'autoprotolyse de l'eau est une réaction acido-basique entre l'acide $\mathbf{H_2O}$ et la base $\mathbf{H_2O}$

Les deux couples mis en jeu sont : $\mathbf{H_3O^+/H_2O}$ et $\mathbf{H_2O/HO^-}$

$$\mathbf{2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HO^-}$$

2) Produit ionique de l'eau

Le produit ionique de l'eau est défini par : $\mathbf{K_e = [H_3O^+].[HO^-]}$ $\quad$ À 25°C, $\mathbf{K_e = 10^{-14}}$

Remarque

On utilise souvent le $\mathbf{pK_e}$ défini par : $\mathbf{pK_e = -\log K_e \quad \Leftrightarrow \quad K_e = 10^{-pK_e}}$

3) Solution neutre, acide, basique

- Une solution est neutre si : $\mathbf{[H_3O^+] = [HO^-]} \Leftrightarrow \mathbf{pH = \frac{pK_e}{2}}$ à 25°C on a $\boldsymbol{pH = 7}$
- Une solution est acide si : $\mathbf{[H_3O^+] > [HO^-]} \Leftrightarrow \mathrm{pH} < \mathbf{\frac{pK_e}{2}}$ à 25°C on a $\boldsymbol{pH < 7}$
- Une solution est basique si : $\mathbf{[H_3O^+] < [HO^-]} \Leftrightarrow \mathrm{pH} > \mathbf{\frac{pK_e}{2}}$ à 25°C on a $\boldsymbol{pH > 7}$

ii. La constante d'acidité K_A d'un couple acide/base

1) Définition

L'acide $\mathbf{AH}$ réagit avec l'eau selon l'équation : $\mathbf{AH + H_2O \leftrightharpoons H_3O^+ + A^-}$

La constante d'acidité $\mathbf{K_A}$ est la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction d'un acide avec l'eau

La constante d'acidité $\mathbf{K_A}$ associe au couple $\mathbf{AH/A^-}$ est : $\mathbf{K_A = \frac{[H_3O^+].[A^-]}{[AH]}}$

$$\mathbf{pK_A = -\log K_A \quad \Leftrightarrow \quad K_A = 10^{-pK_A}}$$

iii. La relation entre pK_A et pH

Pour tout couple acide/base $\mathbf{AH/A^-}$, on a : $\mathbf{K_A = \frac{[H_3O^+].[A^-]}{[AH]}}$

$$\log K_A = \log[H_3O^+] + \log\frac{[A^-]}{[AH]} \quad \Leftrightarrow \quad -\log[H_3O^+] = -\log K_A + \log\frac{[A^-]}{[AH]}$$

$$\mathbf{pH = pK_A + \log\frac{[A^-]}{[AH]}}$$

iv. Constante d'équilibre associée à une réaction acido-basique

Soit la réaction acido-basique entre l'acide $\mathbf{A_1H}$ du couple A_1H/A_1^- et la base $\mathbf{A_2^-}$ du couple A_2H/A_2^-:

$$\mathbf{A_1H + A_2^- \leftrightharpoons A_1^- + A_2H}$$

La constante d'équilibre $\mathbf{K}$ de la réaction est : $\mathbf{K = \frac{[A_1^-].[A_2H]}{[A_1H].[A_2^-]}} \quad \Leftrightarrow \quad \mathbf{K = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = 10^{pK_{A2}-pK_{A1}}}$

Remarque

Une transformation chimique peut être considérée totale Si $\mathbf{K > 10^4}$

v. Comparer le comportement d'acides et de bases en solution

1) Comportement des acides dans une solution

Pour une même concentration, un acide A_1 est plus fort qu'un acide A_2, si le taux d'avancement final de sa réaction avec l'eau est plus grand $\tau_1 > \tau_2$ (on montre que : $\tau = \frac{10^{-pH}}{C}$)

2) Comportement des bases dans une solution

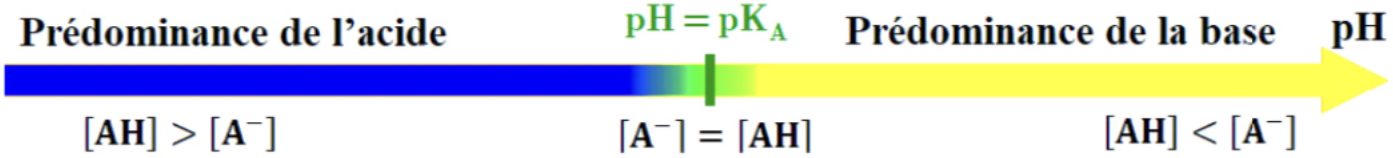
Pour une même concentration, une base B_1 est plus forte qu'une base B_2, si le taux d'avancement final de sa réaction avec l'eau est plus grand $\tau_1 > \tau_2$ (on montre que : $\tau = \frac{10^{pH-pke}}{C}$)

vi. Diagramme de prédominance et de distribution

1) Diagramme de prédominance

Pour un couple acide-base AH/A^- dans une solution aqueuse on a : $pH = pK_A + \log\frac{[A^-]}{[AH]}$

- Si $pH = pK_A \Leftrightarrow [A^-] = [AH]$ pas de prédominance
- Si $pH < pK_A \Leftrightarrow [A^-] < [AH]$ prédominance de l'acide
- Si $pH > pK_A \Leftrightarrow [A^-] > [AH]$ prédominance de la base

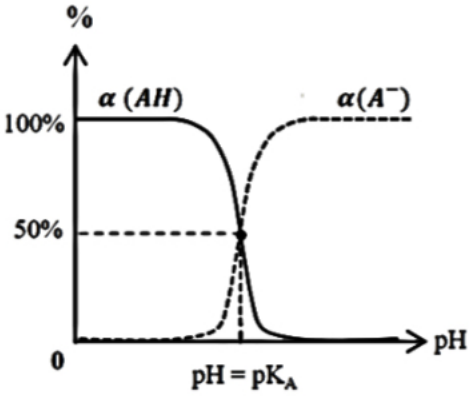


2) Diagramme de distribution

On considère une solution aqueuse, contenant un acide **AH** et sa base conjuguée A^-, la figure ci-contre représente le diagramme de distribution

$\alpha\ (AH)$: Le pourcentage d'acide **AH** dans la solution

$\alpha(A^-)$: Le pourcentage de la base A^- dans la solution



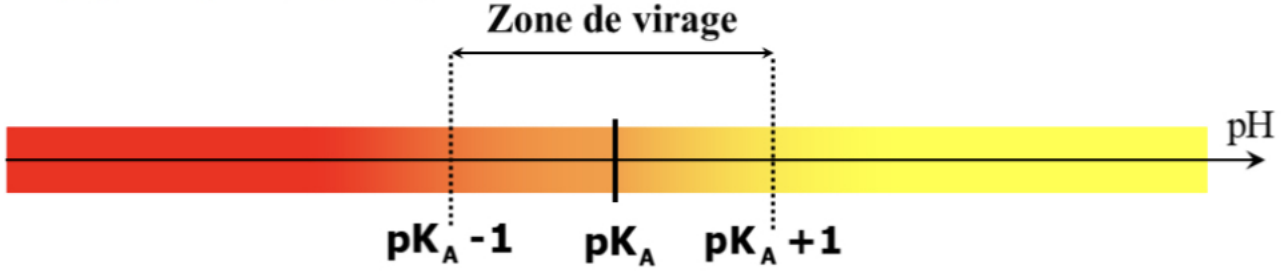
vii. Indicateurs colorés

1) Définition

Un indicateur coloré est un couple acide/base noté HIn/In^- dont la forme basique et la forme acide ont des couleurs différentes.

2) Zone de virage

La zone $pK_A - 1 < pH < pK_A + 1$ appelée zone de virage de l'indicateur coloré.



Remarque

L'indicateur colore convenable pour réaliser un titrage colorimétrique est l'indicateur coloré dont sa zone de virage contient la valeur du **pH** de l'équivalence

viii. Dosage acido-basiques

1) Définition

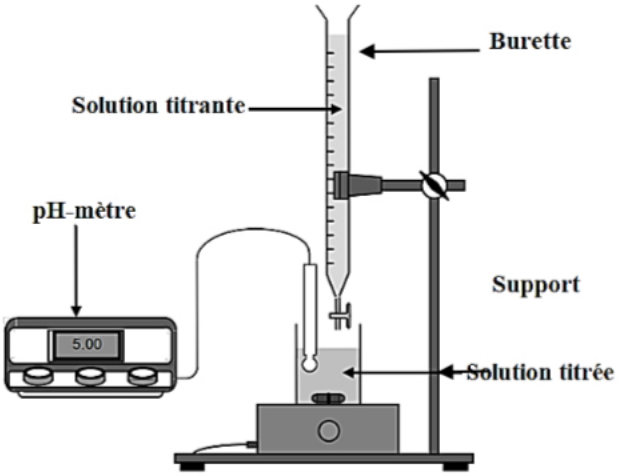
- Doser une espèce chimique en solution, c'est déterminer sa concentration molaire dans la solution.
- La réaction de dosage est **rapide**, **totale** et **unique**

2) Dosage par mesure de pH

Considérons l'équation de la réaction de dosage suivante :

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} \rightarrow \mathbf{C} + \mathbf{D}$$

A est le réactif titré de concentration $\mathbf{C_A}$ et de volume $\mathbf{V_A}$ et **B** est le réactif titrant de concentration $\mathbf{C_B}$

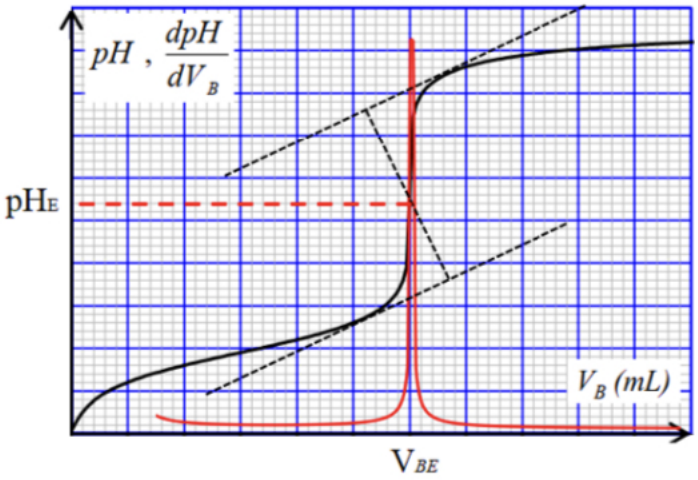


- Au cours du dosage on mesure la valeur du **pH** pour chaque valeur du volume $\mathbf{V_B}$ ajouté et on trace la courbe : $\mathbf{pH} = f(V_B)$
- A l'équivalence on a : $\mathbf{C_A.V_A = C_B.V_{BE}}$

3) Détermination ($\mathbf{pH_E}$, $\mathbf{V_{BE}}$)

a) Méthode des tangentes

On trace les deux tangentes aux courbes parallèles entre elles et on trace la perpendiculaire commune à ces deux droites parallèles puis on construit la médiatrice du segment obtenu



b) Méthode de la courbe dérivée

La courbe $\frac{\mathbf{dpH}}{\mathbf{dV_B}} = \mathbf{f(V_B)}$ permet de déterminer $\mathbf{V_{BE}}$

4) Taux d'avancement de réaction de titrage (Exemple)

Dans un bécher, on verse un volume $\mathbf{V_A = 20mL}$ de solution d'acide éthanoïque de concentration $\mathbf{C_A = 0.01mol.L^{-1}}$ puis on y ajoute le volume $\mathbf{V_B = 5mL}$ de solution de soude (**NaOH**) de concentration $\mathbf{C_B = 0.02mol.L^{-1}}$. La mesure du **pH** a donné la valeur : **pH=4.8,** On s'intéresse à déterminer le taux d'avancement de la réaction du titrage lorsque on ajoute le volume $\mathbf{V_B}$

- L'équation de la réaction de titrage : $\mathbf{CH_3COOH + HO^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O}$

Équation de la réaction		$CH_3COOH + HO^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$				
État du système	Avancement	Quantités de matière en (mol)				
État initial	0	$C_A.V_A$	$C_B.V_B$		0	En excès
État final	x_{max}	$C_A.V_A - x_{max}$	$C_B.V_B - x_{max}$		x_{max}	
	x_f	$C_A.V_A - x_f$	$C_B.V_B - x_f$		x_f	

- Puisque $\mathbf{V_B < V_{BE}}$ donc le réactif limitant est $\mathbf{HO^-}$ et l'avancement maximale $\mathbf{x_{max} = C_B.V_B}$
- D'après le tableau d'avancement $n_f(HO^-) = C_B.V_B - x_f$

D'où $x_f = C_B.V_B - n_f(HO^-) = C_B.V_B - [HO^-]_f.(V_A + V_B)$

On a $K_e = [H_3O^+].[HO^-] \Leftrightarrow [HO^-]_f = \frac{K_e}{[H_3O^+]_f} = 10^{pH-pKe} \Leftrightarrow \mathbf{x_f = C_B.V_B - 10^{pH-pKe}(V_A + V_B)}$

- En fin $\boldsymbol{\tau = \frac{C_B.V_B - 10^{pH-pKe}(V_A+V_B)}{C_B.V_B}}$ A.N : $\boldsymbol{\tau = 1}$ donc la réaction de dosage acido-basique est totale

Evolution spontané d'un système chimique

i. Evolution spontanée d'un système chimique

1) Quotient de réaction Q_r

Soit l'équation de la réaction : $\mathbf{a.A_{(aq)} + b.B_{(aq)} \overset{1}{\underset{2}{\rightleftharpoons}} c.C_{(aq)} + d.D_{(aq)}}$

Le quotient de la réaction est une grandeur qui nous renseigne sur l'évolution du système étudié :

Le quotient de la réaction $\mathbf{Q_r}$ est donné par : $\mathbf{Q_r = \frac{[C]^c.[D]^d}{[A]^a.[B]^b}}$

2) Constante d'équilibre

$\mathbf{K = Q_{réq} = \frac{[C]^c_{éq}.[D]^d_{éq}}{[A]^a_{éq}.[B]^b_{éq}}}$

Exemple d'une réaction acidobasique	Exemple d'une réaction d'oxydoréduction
$CH_3COOH_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \leftrightarrows CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ $\mathbf{Q_r = \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH].[HO^-]}}$	$Cu^{2+}_{(aq)} + 2\,Br^-_{(aq)} \leftrightarrows Cu_{(s)} + Br_{2(aq)}$ $\mathbf{Q_r = \frac{[Br_2]}{[Cu^{2+}].[Br^-]^2}}$

3) Critère d'évolution d'un système

Pour prévoir le sens d'évolution d'un système chimique on calcule $\mathbf{Q_{r,i}}$ le quotient initial de la réaction et on le compare avec la constante d'équilibre de la réaction

Soit l'équation de la réaction : $\mathbf{a.A_{(aq)} + b.B_{(aq)} \overset{1}{\underset{2}{\rightleftharpoons}} c.C_{(aq)} + d.D_{(aq)}}$

Le quotient de la réaction : $\mathbf{Q_{r,i} = \frac{[C]^c_i.[D]^d_i}{[A]^a_i.[B]^b_i}}$

- Si $\mathbf{Q_r < K}$ la réaction s'effectue dans le sens direct (sens 1)
- Si $\mathbf{Q_r > K}$ la réaction s'effectue dans le sens inverse (sens 2)
- Si $\mathbf{Q_r = K}$ la réaction est en équilibre

Transformation spontanée dans les piles

i. Transformations spontanés dans les piles

1) Transfert spontané d'électrons entre des espèces chimiques

Lorsque on mélange deux espèces chimique appartenant à deux couples (**Ox/Red**), il y a transfert spontanée d'électron entre l'oxydant d'un couple vers le réducteur de l'autre

2) Constitution d'une pile

- La pile : est un dipôle qui transforme l'énergie chimique en énergie électrique
- La pile est composée de deux compartiments liés par un pont salin :
- **1^{ér} compartiment** est composé d'un métal $\mathbf{M_1}$ plongé dans une solution contient les ions $\mathbf{M_1^{n+}}$
- **2^{éme} compartiment** est composé d'un métal $\mathbf{M_2}$ plongé dans une solution contient les ions $\mathbf{M_2^{m+}}$
- **Le pont salin** constitue d'une solution électrolytique,

Remarque

Le rôle du pont salin est d'assuré la neutralité électrique et de garantir le passage du courant électrique

ii. Fonctionnement d'une pile

1) Principe de fonctionnement

- Les deux couples qui interviennent au cours de fonctionnement de la pile sont : $\mathbf{M_1^{n+}/M_1}$ et $\mathbf{M_2^{m+}/M_2}$

$\mathbf{M_1}$: est l'électrode **négative** de la pile appelé **anode,** où il y a une **oxydation** :

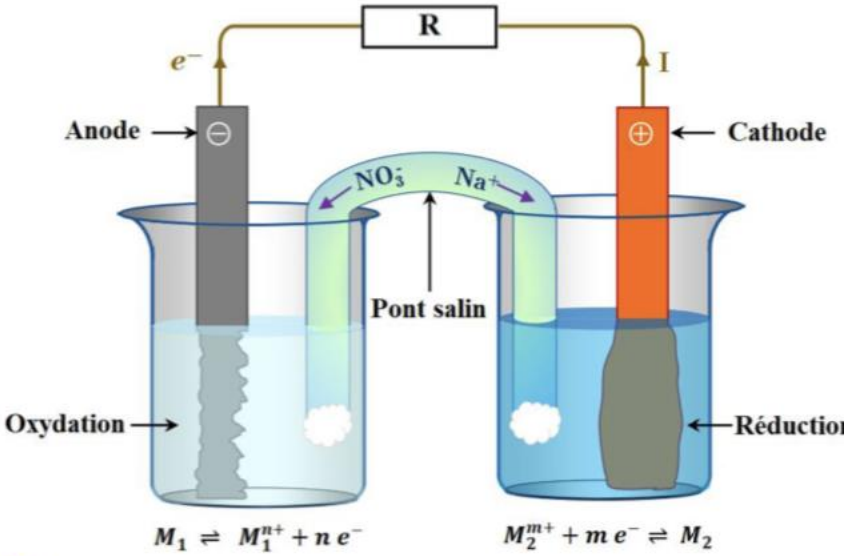
$$\mathbf{M_1 \rightleftharpoons M_1^{n+} + n\,e^-}$$

$\mathbf{M_2}$: est l'électrode **positive** de la pile appelé **cathode** où il y a une **réduction** :

$$\mathbf{M_2^{m+} + m\,e^- \rightleftharpoons M_2}$$

- Au cours de fonctionnement d'une pile, il se produit une réaction d'oxydoréduction d'équation :

$$\mathbf{nM_2^{m+} + mM_1 \rightleftharpoons nM_2 + mM_1^{n+}}$$



2) Le schéma conventionnel de la pile

Le schéma conventionnel de la pile est : $\mathbf{\ominus\ M_1/M_1^{n+}\ \|\ M_2^{m+}/M_2\ \oplus}$

iii. Caractéristiques d'une pile

1) Force électromotrice d'une pile

Une pile est un dipôle actif caractérisé par sa force électromotrice **E** (se mesure à l'aide d'un voltmètre)

2) Evolution spontané d'une pile

- Le système évolue dans le sens direct, lorsque $\mathbf{Q_r < K}$
- Lorsque le système est en équilibre, $\mathbf{Q_{ri} = K}$ la pile est usée (déchargée) $\mathbf{I = 0\ A}$

3) Quantité d'électricité débitée par une pile

La quantité d'électricité débitée par une pile débitant un courant d'intensité constante **I** pendant une durée $\mathbf{\Delta t}$ est donnée par : $\mathbf{Q = I.\Delta t = n(e^-).F}$ avec $\begin{cases} n(e^-) : \text{la quantité de matière d'électrons} \\ F = 9{,}65.10^4\ C.mol^{-1} : \text{La constante de faraday} \end{cases}$

4) Quantité d'électricité maximale débitée par une pile

La quantité d'électricité maximale $\mathbf{Q_{max}}$ débitée par une pile est : $\mathbf{Q_{max} = I.\Delta t_{max} = n(e^-)_{max}.F}$

$\mathbf{\Delta t_{max}}$: La durée maximale du fonctionnement de la pile (durée de vie de la pile)

Exemples de transformations forcées

i. Transformation forcées

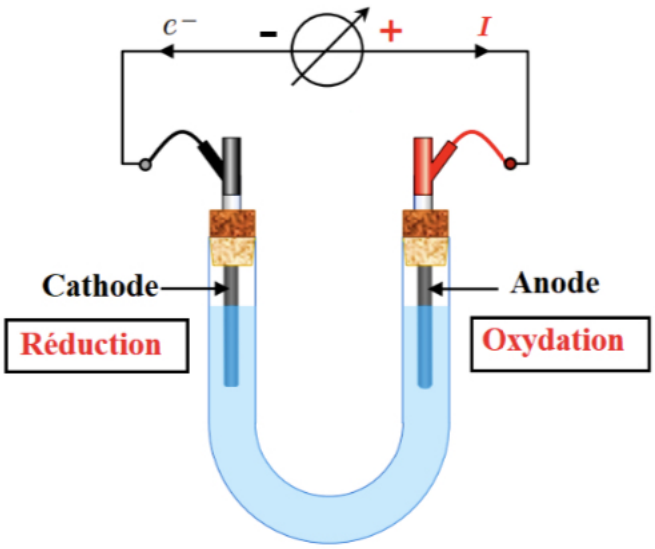
1) Définition

Une transformation forcée est une transformation qui se déroule dans le sens opposée à l'évolution spontanée (grâce à un générateur qui imposé un courant électrique dans le sens inverse)

ii. L'électrolyse

1) Principe

- L'électrolyse est une transformation forcée dû au courant électrique imposé par un générateur
- Le générateur impose un sens inverse au sens d'évolution spontanée du système



2) Fonctionnement de l'électrolyseur

Dans une électrolyse :

- L'électrode reliée au pôle – du générateur électrique est le siège d'une **réduction** ; il s'agit de **la cathode**
- L'électrode reliée au pôle + du générateur électrique est le siège d'une **oxydation** ; il s'agit de **l'anode**

3) Quantité d'électricité-bilan de matière

Lorsque le générateur débite un courant d'intensité **I** pendant la durée **Δt**, le système est traversé par la quantité d'électricité **Q** donnée par :

$$Q = I.\Delta t = n(e^-).F \quad \text{avec} \quad \begin{cases} n(e^-) : \text{La quantité de matière d'électrons} \\ F = 9{,}65.10^4\ C.mol^{-1} : \text{La constante de faraday} \end{cases}$$

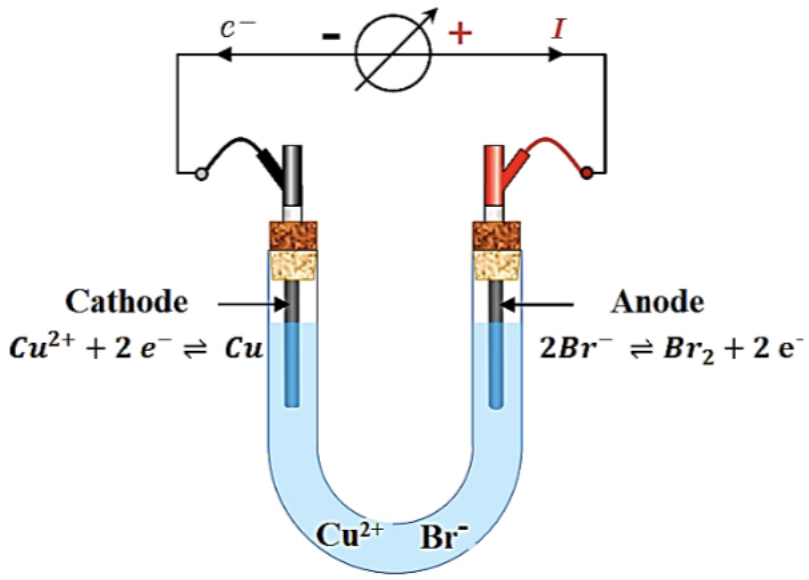
4) Quelques applications de l'électrolyse

- Préparation de métaux (le zinc, l'aluminium, le cuivre)
- Protection des objets
- Les accumulateurs

iii. Exemple d'électrolyse

Dans un tube en **U** on introduit une solution de bromure de cuivre ($Cu^{2+}, 2\ Br^-$)

Deux électrodes en graphite plongées dans la solution et reliées chacune à l'une des bornes d'un générateur (figure ci-contre)



- Au niveau de **l'anode** (électrode relié au pôle (+) du générateur) se produit une réaction **d'oxydation** :

$$2Br^- \rightleftharpoons Br_2 + 2\ e^-$$

- Au niveau de **la cathode** (électrode relié au pôle (−) du générateur) se produit une réaction de **réduction** :

$$Cu^{2+} + 2\ e^- \rightleftharpoons Cu$$

- L'équation bilan de l'électrolyse : $Cu^{2+} + 2\ Br^- \rightarrow Cu + Br_2$