

# PHYSIQUE GENERALE

Plan :

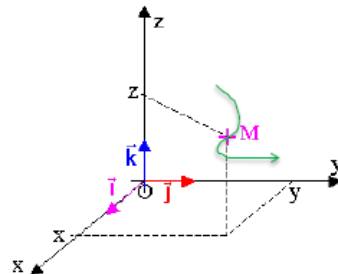
1. Mécanique Newtonnienne
2. Dynamique de rotation
3. Formalisme du potentiel
4. Etude du dipôle électrique
5. Conduction électrique
6. Oscillateurs

## 1/ MECANIQUE NEWTONNIENNE

### 1.1 Référentiel

Le référentiel R est constitué d'un :

- **Repère mathématique** (O,  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ )
- **Repère du temps** (horloge)



Dans R,  $\vec{OM}(t)$  est le vecteur position de M à l'instant t.

### 1.2 Cinématique d'objet ponctuel

→ **Vecteur vitesse** (instantanée de M) :

- Est définie comme la **dérivée de  $\vec{OM}(t)$**  par rapport au temps :  $\vec{v} = \frac{d\vec{OM}(t)}{dt}$

⚠ Le vecteur vitesse est **TOUJOURS** tangent à la trajectoire de M au point qu'il occupe à l'instant t.

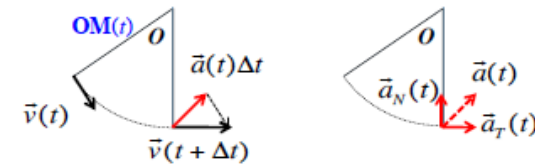
### → Vecteur Accélération :

- Est définie comme la **dérivée de son vecteur vitesse** par rapport au temps :

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} \approx \frac{\vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t}$$



- On décompose l'accélération comme la somme vectorielle de :
  - ⇒  $a_T(t)$  : la composante **tangentielle, colinéaire** à  $\vec{v}(t)$
  - ⇒  $a_N(t)$  : la composante **normale, perpendiculaire** à  $\vec{v}(t)$ , toujours dirigée vers l'intérieure



RECAP des différents mouvements :

<b>Mouvement rectiligne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Vecteur vitesse</b> : tangent</li> <li>- <b>Vecteur accélération</b> :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Composante normale = 0</li> <li>⇒ Composante tangentielle =/= 0</li> </ul> </li> </ul>
<b>Mouvement rectiligne uniforme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Vecteur vitesse</b> : constant et tangent</li> <li>- <b>Vecteur accélération</b> :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Composante normale = 0</li> <li>⇒ Composante tangentielle = 0</li> </ul> </li> </ul>
<b>Mouvement circulaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Vecteur vitesse</b> : tangent</li> <li>- <b>Vecteur accélération</b> :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Composante normale : =/= 0 et centripète</li> <li>⇒ Composante tangentielle =/= 0</li> </ul> </li> </ul>

## Mouvement circulaire uniforme

- **Vecteur vitesse** : tangent + norme cste

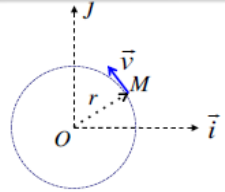
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \omega r$$

$v$  est la norme du vecteur vitesse

$\omega$  est la vitesse angulaire exprimée en

**rad.s<sup>-1</sup>**

$r$  est le rayon en **mètre**



- **Vecteur accélération** :

⇒ Composante tangentielle = 0

⇒ Composante normale :  $\neq 0$ . Le mouvement est **purement** centripète et de sens opposé à OM(t)

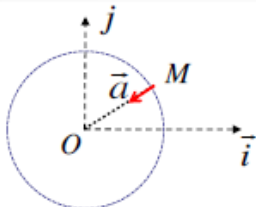
$$a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$$

$a$  est la norme du vecteur vitesse

$\omega$  est la vitesse angulaire exprimée en

**rad.s<sup>-1</sup>**

$r$  est le rayon en **mètre**



## 1.3 Dynamique du centre d'inertie de points matériels

- On considère un référentiel R (vu précédemment) et un corps constitué de masses ponctuelles  $m_i$ , la position du centre d'inertie G de ce corps est donnée par :

$$\vec{x}_G = \frac{1}{m} \sum_i m_i \vec{OM}_i \quad (\text{avec } m = \sum_i m_i)$$

- On définit la **quantité de mouvement** comme le vecteur :

$$\vec{P} = m \vec{v}_G$$

- **Les lois de la dynamique de Newton**

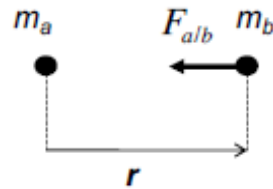
<b>1<sup>ère</sup> loi de Newton</b> (= principe d'inertie de Galilée = loi de conservation de la qdm)	Dans un référentiel galiléen, la <b>quantité de mouvement est constante</b> si et seulement si la somme des forces extérieures est <b>nulle</b> $\frac{dP}{dt} = 0 \Leftrightarrow \vec{F}_{tot} = 0$
<b>2<sup>ème</sup> loi de Newton</b> (=principe fondamental de la dynamique)	Dans un référentiel galiléen : $\frac{d\vec{P}}{dt} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot a \Leftrightarrow \Sigma \vec{F}_{tot}$ <p>Le PFD consiste à établir le bilan des <b>forces extérieures</b> (les <b>forces internes</b> ne sont pas prises en compte)</p> <p>Exemple de forces extérieures :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Forces à <b>distance</b> (ex : le poids)</li> <li>➤ Force de <b>contact</b> (ex : les forces de frottements)</li> </ul>
<b>3<sup>ème</sup> loi de Newton</b> (=principe d'action - réaction)	Fa/b est la force qu'un corps A exerce sur B $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$

## 1.4 Quelques exemples de forces

### Force d'attraction gravitationnelle

$$\vec{F}_{a/b} = -G \frac{m_a m_b}{r^2} \hat{r}$$

$G = 6,7 \cdot 10^{-11}$  est la constante gravitationnelle en **N.m².Kg⁻²**



Est **TOUJOURS** attractive

Cas particulier : **la force de pesanteur = le poids**

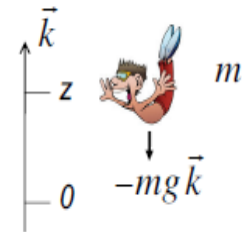
$$z \ll R_T \approx 6400 \text{ km}$$

$$\vec{F}_T = -G \frac{m_T m}{(R_T + z)^2} \vec{k}$$

$$\approx -G \frac{m_T}{R_T^2} m \vec{k}$$

$$= -mg \vec{k}$$

avec  $g = G \frac{m_T}{R_T^2} \approx 9.81 \text{ ms}^{-2}$

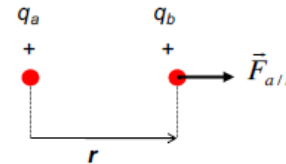


### Force électrique de Coulomb

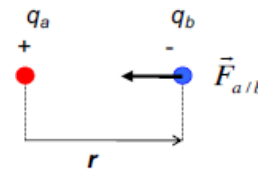
$$\vec{F}_{a/b} = k \frac{q_a q_b}{r^2} \hat{r}$$

$[q] = C$  coulomb : Charge  
 $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  : Constant de Coulomb  
 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$   
 $\epsilon_0 =$  constante diélectrique du vide ou permittivité du vide

Est ADDITIVE



2 charges de même signe = **force répulsive**



2 charges de signes opposés = **force attractive**

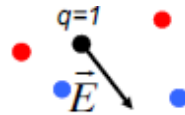


## Champs électrique

$$\vec{F} = q \vec{E}(x,y,z)$$

$E$  s'exprime en **N.C<sup>-1</sup>** ou en **V.m<sup>-1</sup>**

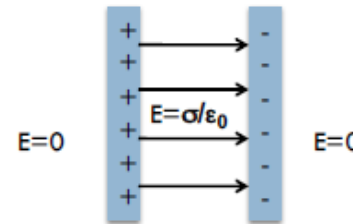
Le champ électrique au point (x,y,z) est défini comme la force électrique qui s'exercerait sur une charge unité placée en ce point (q=1)



## Champ électrique entre deux plaques chargées et exemple du condensateur :

Soit une distribution plane de charge caractérisée par la densité  $\sigma$  (en **C.m<sup>-2</sup>**)

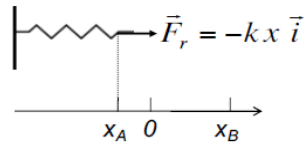
- Le champ électrique crée entre 2 plaques infinies chargées, avec des densités opposées,  $\sigma$  et  $-\sigma$  est **nul à l'extérieur** et est **constant entre ces plaques**, où il vaut :



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

- Le sens de  $\vec{E}$  : **du signe positif au signe négatif**
- Les champs créés par deux plaques d'additionnent, c'est **le principe de superposition**

## Force de rappel d'un ressort



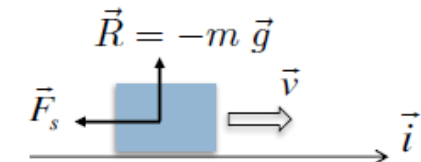
$$\vec{F}_r = -k(x - x_0) \vec{i}$$


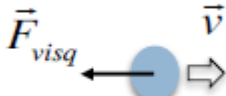
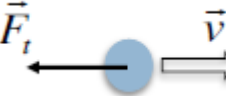
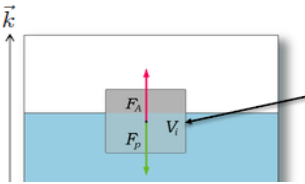

$k$  = constante de rappel du ressort en **N.m<sup>-1</sup>**  
( $x-x_0$ ) = Allongement

## Force de frottement sec dynamique (tribologie)

$$\vec{F}_s = -\mu_d \|\vec{R}\| \text{sign}(\vec{v}) \vec{i}$$

- S'exerce sur une surface solide
- Signe négatif = la force s'oppose au mouvement
- $\vec{R} = \vec{m} \cdot \vec{g}$**  est la réaction du support
- $\mu_d$  = coefficient de frottement sec dynamique (**sans dimension**)  
Ne dépend QUE de la **nature** du contact entre l'objet et le support
- N'est PAS proportionnelle à la vitesse elle-même au signe de la vitesse



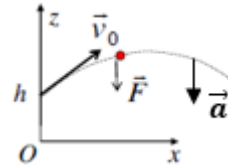
<p><b>Force de frottement visqueux</b></p> <p><b>Basse vitesse &lt; 5m.s<sup>-1</sup> dans l'air</b></p>	<div style="text-align: right; border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;"> <math>\vec{F}_{visq} = -\beta \vec{v}</math> </div> $\beta = 6 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta$ <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\beta</math> est le coefficient de viscosité en <b>N.m<sup>-1</sup>.s</b>. Il dépend : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ du <b>fluide</b> (<math>\eta</math> est la viscosité dynamique du fluide en <b>N.m<sup>-2</sup>.s</b> caractéristique du fluide)</li> <li>✓ de la <b>forme géométrique</b> de l'objet (rayon R)</li> </ul> </li> <li>La force est proportionnelle à la vitesse</li> </ul> <div style="text-align: right;">   </div>
<p><b>Force de traînée</b></p> <p><b>Vitesse élevée</b></p>	<div style="text-align: right; border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;"> <math>\vec{F}_r = -\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot c \cdot v \vec{v}</math> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\rho</math> : masse volumique du fluide</li> <li>S : surface apparente de l'objet projeté dans la direction du mouvement</li> <li>Cx : coefficient de traînée (<b>sans dimension</b>)</li> </ul> <p>La force est proportionnelle à la vitesse <b>au carrée</b></p> <div style="text-align: right;">  </div>
<p><b>Poussée d'Archimède</b></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <div style="text-align: right; border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;"> <math>\vec{F}_A = \rho V_i g \vec{k}</math> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\rho</math> : masse volumique du fluide</li> <li><math>V_i</math> : volume immergé</li> <li><math>g</math> : constante de pesanteur</li> </ul> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>Volume immergé</p> </div> </div> <p>Rq : le point d'application de <math>F_A</math> est le <b>centre géométrique</b> de l'objet alors que celui du poids <math>F_p</math> est le <b>centre d'inertie</b></p> </div> <div style="width: 35%;"> <p><b>Cas particulier : la flottabilité</b></p> <p>Lorsque la force de pesanteur et la poussée d'Archimède se compensent</p> <math display="block">F_p = F_A</math> <math display="block">\Leftrightarrow m \cdot g = \rho \cdot V_i \cdot g</math> <math display="block">\Leftrightarrow \mathbf{m} = \rho \cdot V_i</math> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> </div> </div>



## 1.5 Quelques exemples d'application du PFD

### a) Trajectoire d'une masse $m$ dans un champ de force constant

Application : tir balistique, déflexion de faisceau de particules chargées ...



$$m\vec{a}_G = \vec{F} \Leftrightarrow \begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ m \frac{dv_y}{dt} = 0 \\ m \frac{dv_z}{dt} = -F \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_x(t) = \frac{dx}{dt} = v_{0x} \\ v_y(t) = \frac{dy}{dt} = 0 \\ v_z(t) = \frac{dz}{dt} = v_{0z} - at \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x(t) = v_{0x}t \\ y(t) = 0 \\ z(t) = h + v_{0z}t - \frac{at^2}{2} \end{cases}$$

- Cas particulier : si le mvt est **rectiligne**,  $v_{0x} = 0$  -> chute libre pour un objet soumis à la force de pesanteur. Ainsi, l'équation est une parabole si  $v_{0x} \neq 0$
- Si le mouvement est uniquement soumis à la pesanteur, l'accélération est **indépendante** de la masse.

### b) Chute d'une particule dans un fluide lorsqu'elle est soumise à une force de frottement visqueux

Il y a deux forces : la pesanteur et la viscosité qui s'oppose au mouvement.

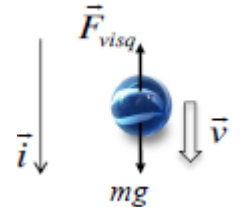
$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{visq} \Rightarrow m \frac{dv_x}{dt} = mg - \beta v_x$$

- $+mg$  car  $mg$  est dirigé vers le bas
- $-\beta \cdot v_x$  car dirigée vers le haut (dans le sens opposé)

**La vitesse limite** est atteinte lorsque l'accélération est nulle.  
 $m \cdot g - \beta v = 0$

En isolant  $v$ , on trouve la vitesse limite :

$$v_{lim} = \frac{mg}{\beta}$$



### c) Idem mais en appliquant en plus la poussée d'Archimède

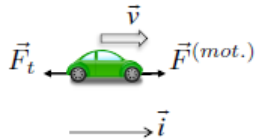
$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{visq} + \vec{F}_A \Rightarrow m \frac{dv_x}{dt} = mg - \beta v_x - \rho V g$$

$$v_{lim} = \frac{(m - \rho V)g}{\beta}$$

d) **Mouvement d'un objet dans un fluide lorsqu'il est soumis à une force motrice constante et une force de trainée**

$$\vec{F}_t = -\frac{1}{2} \rho S c_x v \vec{v}$$

$$m\vec{a} = \vec{F}^{(mot.)} + \vec{F}_t \Rightarrow m \frac{dv_x}{dt} = F^{(mot.)} - \frac{1}{2} \rho S c_x v_x^2$$



$$v_{lim} = \sqrt{\frac{2F^{(mot.)}}{\rho S c_x}}$$

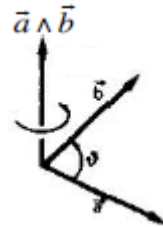
## 2/ DYNAMIQUE DE ROTATION

### 2.1 Le produit vectoriel

Le produit vectoriel de 2 vecteurs représenté par l'expression  $\vec{a} \wedge \vec{b} = \vec{c}$ . Il s'agit d'un vecteur tel que :

- Sa **direction** est perpendiculaire au plan défini par les vecteurs  $(\vec{a}, \vec{b})$
- Son **sens** est donné par la règle du trièdre « pouce, index, majeur »
- Sa **norme** est égale à :

$$\|\vec{a} \wedge \vec{b}\| = a.b.\sin\theta, \theta \text{ étant l'angle entre } \vec{a} \text{ et } \vec{b}$$



Propriétés :

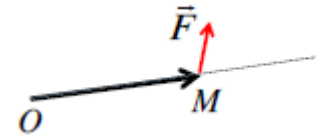
➔ Le produit vectoriel est **antisymétrique** :  $\vec{a} \wedge \vec{b} = -\vec{b} \wedge \vec{a}$

➔ Le produit vectoriel est nul si  $\vec{a}$  parallèle à  $\vec{b}$  :

$$\vec{a} \wedge \vec{b} = 0 \text{ si } \vec{a} = k \vec{b}$$

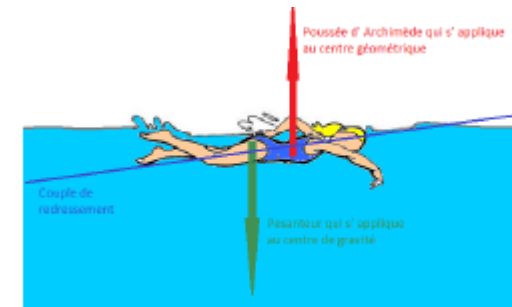
### 2.2 Le moment d'une force

Le moment de force décrit la façon dont la force  $F$  tend à faire tourner  $O$  si  $O$  est fixé. Cette notion apparaît souvent dans un « **couple de forces** » dont le moment résultant est non nul.



$$\vec{\Gamma} = \vec{OM} \wedge \vec{F}$$

Couple de force appliqué à une nageuse :



### 2.3 Le moment angulaire = cinétique J

C'est une généralisation de la loi de Newton appliqué à un système en rotation

$$\vec{J} = \sum_i m_i \vec{r}_i \wedge \vec{v}_i$$

Le PFD implique une équation fondamentale pour la dynamique de rotation :

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}_{tot} \Rightarrow \frac{d\vec{J}}{dt} = \vec{\Gamma}_{tot}$$

### 2.4 Le moment d'inertie

$$\vec{J} = I \vec{\omega}$$

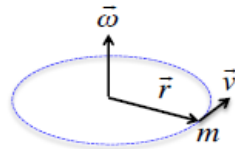
I en **kg.m<sup>2</sup>**

$I$  = moment d'inertie, détermine la **difficulté à faire tourner l'objet**. Plus  $I$  est grand, plus il faudra un grand moment de force pour la faire tourner

⇒ **Exemple 1 : masse ponctuelle**

$$J = m \|\vec{r} \wedge \vec{v}\| = m r v = m r \omega r$$

$$\vec{J} = m r^2 \vec{\omega} \rightarrow \boxed{I = m r^2}$$



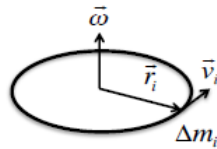
⇒ **Exemple 2 : Roue creuse (vélo)**

$$J = \sum_i \Delta m_i \|\vec{r}_i \wedge \vec{v}_i\|$$

$$= \sum_i \Delta m_i r_i^2 \omega$$

$$\vec{J} = I \vec{\omega} \rightarrow \boxed{I = m r^2}$$

où  $m = \sum_i \Delta m_i$



⇒ **Exemple 3 : disque en rotation ou roue pleine**

$$J = \sum_i \Delta m_i \|\vec{r}_i \wedge \vec{v}_i\|$$

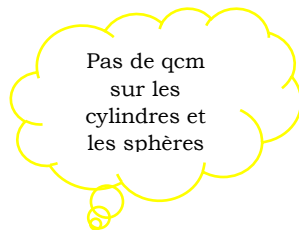
$$\vec{J} = \sum_i \Delta m_i r_i^2 \vec{\omega} \rightarrow I_{\text{disque}} = \sum_i \Delta m_i r_i^2 = \boxed{\frac{1}{2} m r^2}$$

⇒ **Autres exemples :**

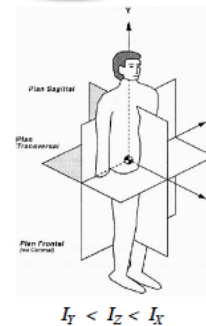
Cylindre :  $I_{\text{cylindre}} = \frac{1}{2} m r^2$

Sphère :  $I_{\text{sphère}} = \frac{2}{5} m r^2$

etc...



À rayons et masses identiques, **il est plus difficile de faire tourner une roue creuse qu'une roue pleine** car la distribution des masses est plus éloignée du centre d'inertie.



Pour décrire le moment d'inertie d'un objet complexe, on a 3 moments d'inerties en général différents. Ici, on  $I_y$ ,  $I_z$  et  $I_x$



## 2.5 Rotation libre

$$\vec{\Gamma}_{\text{tot}} = 0 . \text{ Alors } \frac{d\vec{J}}{dt} = 0$$

Supposons ont dit que **le moment angulaire est conservé** :  $J$  est cst.

**Effet gyroscopique** : un objet qui tourne sur lui-même oppose une résistance au changement d'orientation de son axe de rotation. En l'absence d'interaction, cette orientation est conservée.

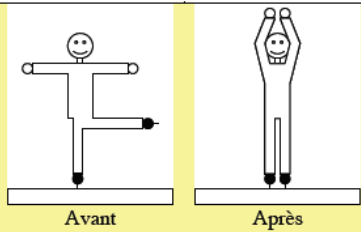
Comme  $\boxed{\vec{J} = I \vec{\omega}}$ , on en déduit que la vitesse angulaire est constante si et seulement si  $I$  est constante.

Donc, si lors d'une rotation libre le moment d'inertie varie au cours du temps, la vitesse de rotation doit varier **en raison inverse**.

## 2.6 Exemple du patinage

### Situation 1 : La physique du patinage artistique.

Un patineur tourne sur lui-même avec une de ses jambes et ses bras perpendiculaire à son corps (schéma ci-contre) : sa vitesse angulaire vaut 8 rad/s et son moment d'inertie vaut  $3,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . En ramenant sa jambe à la verticale et en levant ses bras au-dessus de sa tête (schéma ci-contre), il diminue son moment d'inertie à  $1,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  et sa vitesse angulaire augmente pour atteindre 18 rad/s. On désire analyser cette manœuvre à l'aide du principe de conservation du moment cinétique et du principe de conservation de l'énergie.



Évaluons le moment cinétique du patineur avant ( $i$ ) et après ( $f$ ) :

$$L_z = I\omega_z \Rightarrow L_{zi} = I_i\omega_{zi} = (3,6)(8) \Rightarrow L_{zi} = 28,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

$$L_{zf} = I_f\omega_{zf} = (1,6)(18) \Rightarrow L_{zf} = 28,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

Cette situation est **physiquement acceptable**, car il y a conservation du moment cinétique en l'absence de moment de force extérieur :

$$L_{zi} = L_{zf}$$

Le mouvement d'inertie est plus ou moins maximal :

- ➔ Si l'artiste **rapproche** ses mains, il va **diminuer**  $I$  et donc va **augmenter** la vitesse et accélérer sa vitesse de rotation.
- ➔ Si l'artiste **éloigne** ses mains,  $I$  **augmente** donc la vitesse angulaire **diminue**



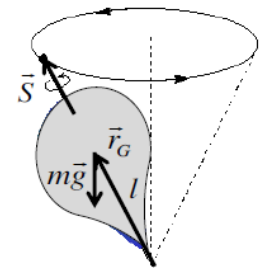
## 2.7 Mouvement de précession

On néglige les forces de frottements, le moment de force est lié à la force de pesanteur.

Une toupie, ayant un moment angulaire  $S = I\omega$ , est lancée à grande vitesse autour de son axe de symétrie, si la toupie est inclinée et en rotation initialement, elle ne tombe pas mais entame un mouvement de précession : **son axe de rotation va se mettre à tourner autour de la verticale.**

La toupie subit un moment de force dû au poids  $mg$  :

$$\vec{\Gamma}_{\text{tot}} = \vec{r}_G \wedge m\vec{g} \quad \text{donc} \quad \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{r}_G \wedge m\vec{g}$$



Le vecteur  $\vec{S}$  (donc l'axe de la toupie) tourne autour de son point d'appui avec une vitesse angulaire :

$$\Omega = \frac{mgl}{I\omega}$$

Rem : il faut supposer  $\Omega \ll \omega$

Ce mouvement est appelé **précession**. On le trouve également dans le contexte de la RMN ou de l'astronomie ...

- $\Omega$  = vitesse de précession = vitesse angulaire autour de l'axe vertical
- $\omega$  = vitesse de rotation de l'objet sur lui-même

**Si la vitesse de rotation diminue alors la vitesse angulaire autour de l'axe vertical augmente.**

### 3/ FORMALISME DU POTENTIEL

#### 3.1 Travail d'une force

On définit le travail  $W$  d'une force au cours d'un chemin entre 2 points A et B par :

$$W_{AB} = \int_{x_A}^{x_B} F_x(x) dx$$

composante « x » de la force      déplacement élémentaire

Travail moteur si:  $W_{AB} > 0$

Travail résistant si:  $W_{AB} < 0$

Une force  $F$  est dite **conservative** si  $W$  ne dépend **que des points de départ et d'arrivée** A et B, mais pas du « chemin » suivi entre ces points.

- Les forces de pesanteur, d'élasticité, d'électricité sont conservatives
- Les forces de frottement ne sont pas conservatives

#### 3.2 Energie potentielle

**Théorème de l'énergie potentielle =**

$$U_F(B) - U_F(A) = W_{BA}$$

Ce théorème ne tient compte **QUE** des forces conservatives

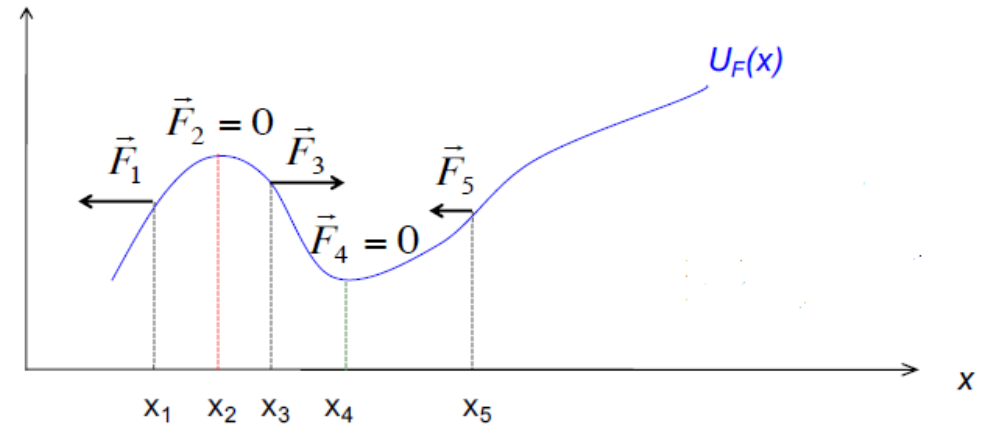
$$(U_F(B) + const) - (U_F(A) + const) = W_{BA}$$



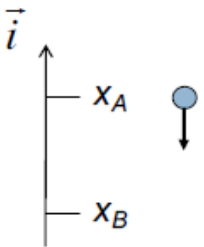
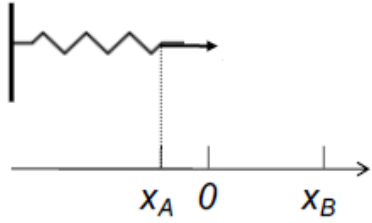
#### 3.3 Relation Force-énergie potentielle

De signe opposé :

$$F_x = -\frac{dU_F}{dx}$$



Maximum de la pente (ex : en x2)	Minimum de la pente (ex : en x4)
Point d'équilibre <b>instable</b>	Point d'équilibre <b>stable</b>
Sous l'effet d'une perturbation, le système tend à <b>s'éloigner</b> à sa position initiale	Sous l'effet d'une perturbation, le système tend à <b>revenir</b> à sa position initiale

	FORCE	TRAVAIL	ENERGIE POTENTIELLE
<b>FORCE DE PESANTEUR</b>	$\vec{P} = -m \cdot g \cdot \vec{i}$  <p>Signe négatif car l'axe z est dirigé vers le haut</p>	$W_{AB} = \int_{x_A}^{x_B} (-mg) dx$ $= m \cdot g \cdot (x_A - x_B)$	$U_P(x_B) - U_P(x_A) = W_{BA}$ $= mg x_B - mg x_A$ $= mgx + cst$
<b>FORCE DE RAPPEL DU RESSORT</b>	$\vec{Fr} = -kx \cdot \vec{i}$ 	$W_{AB} = \int_{x_A}^{x_B} (-kx) dx$ $= \frac{k}{2} (x_A^2 - x_B^2)$	$U_R(x_B) - U_R(x_A) = W_{BA}$ $= \frac{k x_B^2}{2} - \frac{k x_A^2}{2}$ $= \frac{kx^2}{2} + cst$
<b>FORCE DE COULOMB</b>	$\vec{Fc} = -\frac{kQq}{r^2} \vec{r}$	$W_k = \int_{x_b}^{x_a} \frac{kQq}{x^2} dx$ $= kQq \left( \frac{1}{x_a} - \frac{1}{x_b} \right)$	$UF(x) = \frac{kQq}{x} + Cst$

### 3.3 Potentiel électrique

- La différence de potentiel électrique entre le point B et le point A, appelée tension électrique entre B et A, est le **travail de la force électrique sur une charge unité  $q=1$  lorsqu'elle se déplace de B à A.**
- La différence de potentiel électrique entre 2 points est égale à la **différence d'énergie potentielle d'une charge unité entre ces 2 points par unité de charge**

Tension électrique = **Volt**

$$1V = 1J.C^{-1}$$

$$V(B) - V(A) = W_{BA, q=1}$$

#### Potentiel électrique membranaire :

Les cellules vivantes possèdent naturellement **une différence de potentiel transmembranaire de repos** :  $V_{dpp} = -70mV$  par rapport à un point de référence extracellulaire.

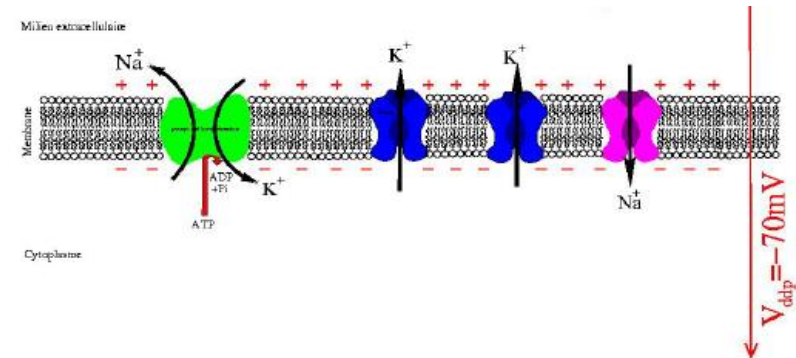
Cette dpp est due :

- Aux pompes sodium/potassium
- Aux fuites par des canaux potassium.

Dans les cellules excitables (ex : neurones), il peut y avoir une dépolarisation de la membrane grâce à une ouverture dynamique des canaux sodiques voltages dépendants.



**Rq :** l'électroneutralité est respectée partout sauf en regard de la membrane cellulaire



### 3.4 Énergie cinétique et énergie mécanique

L'énergie cinétique d'une particule  $m$  est définie comme :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

a. **Théorème de l'énergie cinétique :**

$$E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}^{(ext)}$$

Ce théorème de l'énergie cinétique caractérise **les forces conservatives ET non conservatives** ( $\neq$  du théorème de l'énergie potentielle).

Pour cela considérons un bloc glissant sur un support horizontal.  
On lance le bloc de masse  $m$  avec une vitesse initiale  $v$ .  
On observe que le bloc se déplace sur une distance  $d$  avant de s'immobiliser.

Sa variation d'énergie cinétique est donc :  $E_c(B) - E_c(A) = 0 - mv^2/2 = -mv^2/2$   
Celle-ci est égale au travail de la force de frottement  $W_{AB} = -F_s \cdot d$

Or la force de frottement sec dynamique est :  $F_s = \mu_d mg$  (rem :  $\mu_d$  est sans dimension)

Donc on en déduit  $\mu_d mg d = mv^2/2$  ; Donc  $\mu_d = v^2/(2g d)$

A.N.  $v=10$  m/s.  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.  $d = 10$  m.  
 $\mu_d = 100/(2 \cdot 10 \cdot 10) = 0.5$

## b. Energie mécanique :

Si les forces extérieures sont conservatives on a :

$$E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}^{(ext)} \quad \text{et} \quad W_{AB}^{(ext)} = U(x_A) - U(x_B)$$

$$\Rightarrow E_c(B) - E_c(A) = U(x_A) - U(x_B)$$

$$\Rightarrow E_c(B) + U(x_B) = E_c(A) + U(x_A)$$


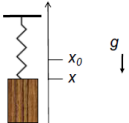
On en déduit la loi de conservation de l'énergie mécanique :

$$E^{(méca)} = \frac{1}{2} m v^2 + U(x)$$

**En l'absence de frottement, l'énergie mécanique est conservée.**

## Exemples :

En l'absence de frottement, l'énergie totale d'une masse liée à un ressort est conservée.

Ressort horizontal	Ressort vertical
$Em = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2$	$Em = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k (x - x_0)^2 + mgx$
	

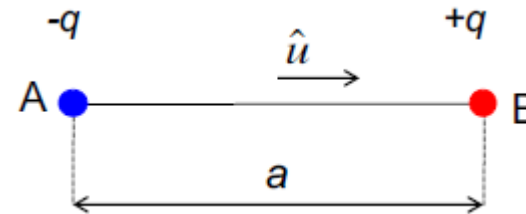
Zorro00

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

## 4/ Etude du dipôle électrique

### 4.1 Définitions

On appelle dipôle électrique, une distribution de charges constituée de deux charges  $+q$  et  $-q$  placées en deux points.



On y associe un **moment dipolaire** :

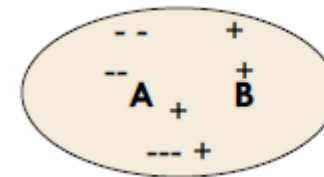
$$\vec{p} = aq \hat{u} \quad (q > 0)$$

### Vecteur $\vec{p}$ :

- **Aligné** sur la droite joignant les 2 charges
- **Sens** : de la charge  $-$  à la charge  $+$
- Dont on notera la **norme** par  $p$

Unités :  $\mathbf{p = C.m}$

### 4.2 Dipôle dans la matière



$$(Q_+ = -Q_-)$$

Autour de nous, la matière apparaît globalement neutre, mais la présence de charges positives et négatives

conduit à l'existence de **distributions de charges dipolaires**


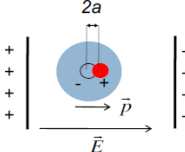
On généralise la notion de moment dipolaire en considérant le vecteur :

$$\mathbf{p} = Q(+).AB$$



### a. Moment dipolaire induit

→ Atomes et molécules **non** polaire (p.ex des molécules diatomiques ou symétriques)

Distribution de charges (ou nuage électronique) <b>symétrique</b> autour du noyau	<b>Sous l'effet d'un champ électrique</b> : apparition d'une asymétrie de charge autour du noyau
	
	$\vec{p} = \alpha \vec{E}$ <p><i>Alpha = coefficient de polarisabilité</i></p>
La polarisabilité est due en premier lieu à la déformation du nuage électronique <b>sous l'effet du champ électrique</b>	

### b. Moment dipolaire permanent

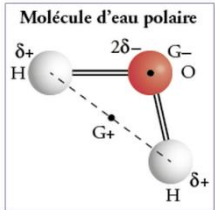
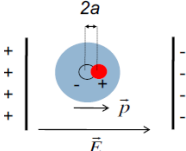
→ Existe si les barycentres des charges + et - ne coïncidant pas => **molécule polaire**

Distribution de charges (ou nuage électronique) <b>Asymétrique</b> autour du noyau	<b>Sous l'effet d'un champ électrique</b> : les molécules polaires se manifestent par une polarisabilité plus forte
---	---



Zorro00

*Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.*

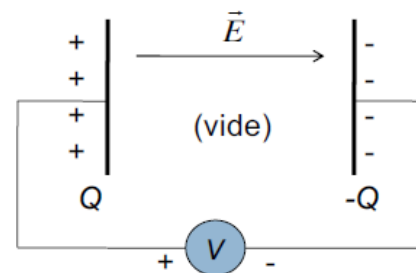
	que celle des molécules non polaires
	
$p = Q(+).AB$	$\bar{p} = \alpha \vec{E}$
<p>La polarisabilité n'est pas due en premier lieu à la déformation du nuage électronique sous l'effet du champ électrique mais elle est engendrée par l'orientation moyenne des dipôles permanents qui ont tendance à s'aligner dans la direction du champ électrique</p>	

*Un grand nombre de biomolécules possèdent aussi des moments dipolaires permanents.*

### 4.3 Diélectriques et condensateurs

- **Diélectrique** : matériau possédant des dipôles sous l'action d'un champ électrique

a. **Rappel sur le condensateur :**



$$Q = CV$$

$C$  : capacité du condensateur

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \quad \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ S.I.}$$

$[C] = F$  (farad) ou  $pF = 10^{-12} F$

Symbole électrique:



### b. Condensateur rempli de diélectrique :

Le diélectrique agit comme un isolant entre les armatures du condensateur ce qui accroît sa capacité et diminue le champ électrique et le voltage.

$$Q = CV = C'V'$$

$$E' < E \Rightarrow V' < V \Rightarrow C' > C$$

> On définit la constante diélectrique ou **permittivité relative**

$$\frac{C'}{C} = \epsilon_r \geq 1$$

par :

> On définit la **permittivité** d'un matériau par le coefficient

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

> La capacité d'un **condensateur** rempli de diélectrique :

$$C' = \epsilon_r C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} = \epsilon \frac{S}{d}$$

## 5/ Conduction électrique

### 5.1 Introduction

Isolants => diélectrique	Conducteurs	Semi-conducteur
Pas de charges libres	Charges libres	

Pas de courant électrique mais sujets au phénomène de polarisation	Courant électrique + sujet au phénomène de polarisation	Intermédiaires entre celles des isolants et celles des conducteurs
--	---	--

### 5.2 La loi d'Ohm

La loi d'Ohm décrit le **phénomène général du déplacement des charges d'un élément conducteur** sous l'effet d'une différence de potentiel électrique :  $U_A - U_B > 0$ .

- $R$  : résistance électrique en ohm ( $\Omega$ )
- $I$  : intensité en Ampère (A)
- $U$  : potentiel électrique en volt (V)

$$I = \frac{U_A - U_B}{R_{AB}}$$

- $L$  : longueur du conducteur en mètre (m)
- $S$  : section du conducteur en mètre-carré ( $m^2$ )
- $p$  : résistivité électrique en ohm.mètre ( $\Omega.m$ ) dépend du matériau conducteur considéré.

$$R = \frac{L}{S} \rho$$

La puissance électrique :

$$P = (U_A - U_B)I = R_{AB}I^2 = \frac{(U_A - U_B)^2}{R_{AB}}$$

Dans ce contexte, la transformation de la puissance électrique en énergie thermique est appelée **effet Joule**.

### 5.3 Résistances en série ou en parallèle

- Résistance équivalente de deux résistances **en série** :

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

- Résistance équivalente de deux résistances **en parallèle** :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

### 6/ Oscillateur

Certains systèmes physiques admettent les caractéristiques suivantes :

- Ils possèdent une **position d'équilibre stable**
- Une fois déplacé de cette position, le système présente des **oscillations périodiques** autour de cette position d'équilibre ;

#### 6.1 Etude de l'oscillateur harmonique

Définition : un oscillateur harmonique est un système dynamique dont l'équation du mouvement peut se mettre sous la forme suivante :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega_0^2 x$$

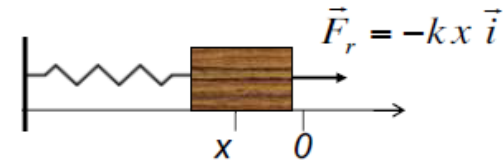
où  $\omega_0$  est une constante **positive** appelée **pulsation propre** de l'oscillateur

#### Exemple 1 : Masse liée à un ressort

PFD:  $m \frac{d^2 x}{dt^2} = -k x$

donc  $\frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega_0^2 x$ ,

avec  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$



#### Exemple 2 : petites oscillations d'un corps solide

$$J = I_o \omega, \quad \omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{d\vec{J}}{dt} = \vec{r}_G \wedge m\vec{g}$$

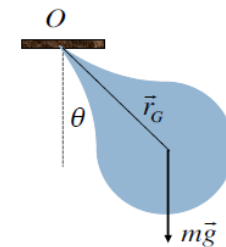
$$I_o \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -r_G m g \sin \theta$$

Approximation des petits angles :

$$\sin \theta \approx \theta \quad \text{si} \quad |\theta| \ll 1 \text{ rad}$$

Donc  $\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\omega_0^2 \theta$

avec  $\omega_0^2 = \frac{r_G m g}{I_o}$



En remplaçant  $I_o$  par  $m.r^2$ , on trouve :

$$\omega_0^2 = \frac{g}{l}$$



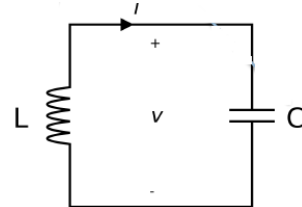
### Exemple 3 : le plus simple des oscillateurs électriques

Circuit électrique idéal (sans résistance) avec :

- Bobine d'inductance  $L$  (en **henrys H**)
- Condensateur de capacité  $C$  (en **farads F**)

- Soit  $v$  la tension électrique aux bornes  $C$ .

Alors :  $LC \frac{d^2 v}{dt^2} + v = 0 \Leftrightarrow \frac{d^2 v}{dt^2} = -\omega_0^2 v$



Avec :  $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$

- Fréquence en Hz :

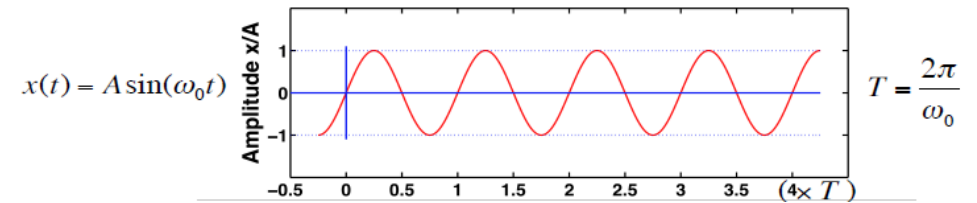
$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \nu$  donc :

$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

#### RECAP :

Masse liée à un ressort	$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$
Oscillations d'un corps solide	$\omega_0^2 = \frac{g}{l}$
Oscillateurs électriques	$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$

### Oscillations libres périodiques sinusoïdales au cours du temps d'un oscillateur harmonique :



#### Equation de la fonction onde oscillations harmoniques :

$x(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi)$

→ **A** : Amplitude (fixée par l'énergie du système)

→  $\omega_0$  : Pulsation propre

$T$  : Période des oscillations libres

$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

**Propriété remarquable : la pulsation de cet oscillateur ne varie pas avec A.**

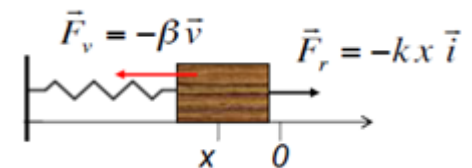
→  $\varphi$  : phase. Elle dépend du choix des conditions initiales

### 6.2 Oscillateur harmonique amorti

On considère une masse liée à un ressort et soumise à une **force de frottement** visqueux :

$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\beta \frac{dx}{dt} - kx$

$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\gamma \frac{dx}{dt} - \omega_0^2 x,$



avec  $\gamma = \frac{\beta}{m}$  et  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$

Des **oscillations amorties** pseudopériodiques ont lieu si :

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 - \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2 > 0$$

Dans ce cas : L'amplitude des oscillations **décroît exponentiellement** au cours du temps.

$$x(t) = A e^{-\frac{\gamma}{2}t} \sin(\omega_1 t + \varphi)$$

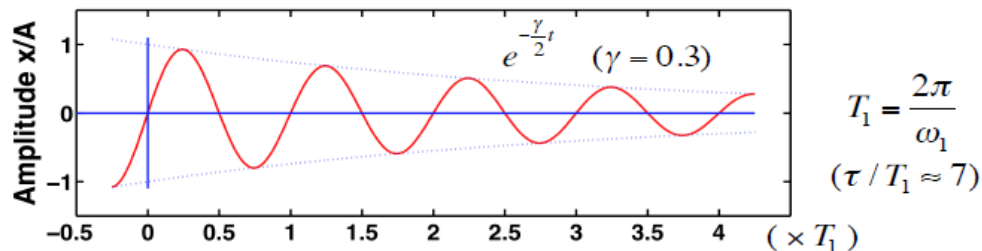
Dans ce système, on observe deux échelles de temps :

- Le **temps d'amortissement** :

$$\tau = 2/\gamma \text{ (diminution d'un facteur } e^{-1})$$

- La **pseudo-période** :

$$T_1 = 2\pi/\omega_1.$$



$$Q = \omega_0/\gamma$$

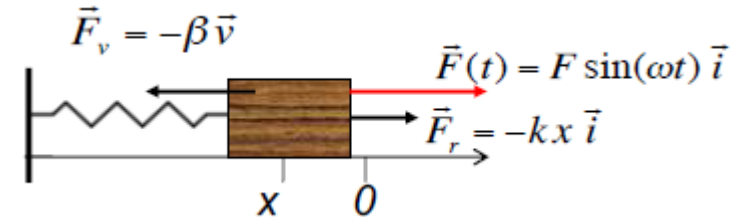
appelé **facteur de qualité de l'oscillateur**.

Le facteur de qualité est grand lorsque l'oscillateur est faible.

Dans ce cas, on dit que l'oscillateur est **un résonateur**.

### 6.3 Oscillateur harmonique amorti et entretenu

- a) Lorsqu'un oscillateur est amorti, on peut encore obtenir des oscillations périodiques en soumettant le système à un **forçage périodique  $F(t)$**



$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\beta \frac{dx}{dt} - kx + F \sin(\omega t)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F}{m} \sin(\omega t)$$

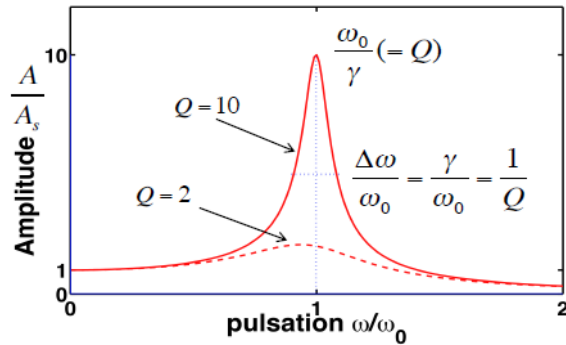
Il existe alors un **régime entretenu** avec des oscillations de fréquence identique à celle du forçage périodique :

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

Cependant, ici A et  $\varphi$  ne sont pas arbitraires, mais des **fonctions de  $\omega_0$** .

## b) Analyse de l'amplitude des oscillations et résonance :

Un **phénomène de résonance** a lieu lorsque  $Q \gg 1$ . Dans ce cas, L'amplitude devient maximale en fonction de  $\omega_0$  dans un petit intervalle



$$[\omega_0 - \gamma/2, \omega_0 + \gamma/2]$$

(**bande passante du résonateur**).

### Exemple : résonance dans un circuit RLC

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\gamma = \frac{R}{L} \Rightarrow Q = \frac{\omega_0}{\gamma} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

**Fin**

Voilà pour cette fiche, il y a beaucoup de formules à apprendre mais plus vous vous y prenez tôt, mieux ce sera. Il y a beaucoup de points à gagner en physique alors bossez la bien, elle vous le rendra. Team UE3A avec vous !!

