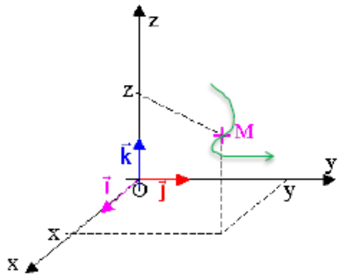
PHYSIQUE GENERALE

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, $\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$)

➔ **Repère du temps** (horloge)

Dans R, **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 OM(t)** par $\vec{v} = \frac{d\mathbf{OM}(t)}{dt}$ rapport au temps :

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

➔ **Vecteur Accélération** :

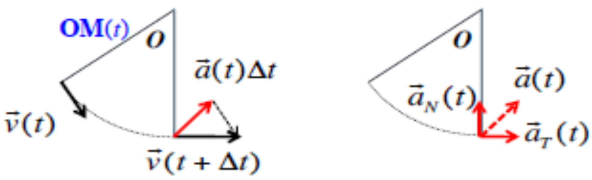
- Est définie comme la **dérivée de son vecteur vitesse** par rapport au temps :

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

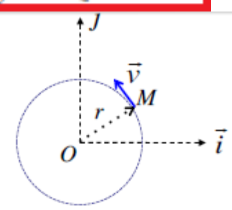
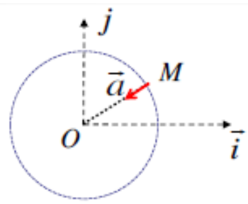
- On décompose l'accélération comme la somme vectorielle de :

⇨ $a_T(t)$: la composante **tangentielle, colinéaire** à v(t)

⇨ $a_N(t)$: la composante **normale, perpendiculaire** à v(t), toujours dirigée vers l'intérieure



RECAP des différents mouvements :

Mouvement rectiligne	- **Vecteur vitesse :** tangent - **Vecteur accélération :** ⇨ Composante normale = 0 ⇨ Composante tangentielle =/= 0
Mouvement rectiligne uniforme	- **Vecteur vitesse** : constant et tangent - **Vecteur accélération :** ⇨ Composante normale = 0 ⇨ Composante tangentielle = 0
Mouvement circulaire	- **Vecteur vitesse :** tangent - **Vecteur accélération :** ⇨ Composante normale : =/= 0 et centripète ⇨ Composante tangentielle =/= 0
Mouvement circulaire uniforme	- **Vecteur vitesse :** constant et tangent $\boxed{v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \omega r}$  *v est la norme du vecteur vitesse* *ω est la vitesse angulaire exprimée en* ***rad.s^-1*** *r est le rayon en* ***mètre*** - **Vecteur accélération :** ⇨ Composante tangentielle = 0 ⇨ Composante normale : =/= 0. Le mouvement est **purement** centripète et de sens opposé à OM(t) $\boxed{a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}}$ *a est la norme du vecteur vitesse* *ω est la vitesse angulaire exprimée en* ***rad.s^-1*** *r est le rayon en* ***mètre*** 

1.3 Dynamique du centre d'inertie de points matériels

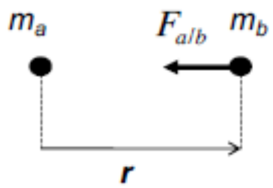
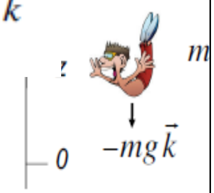
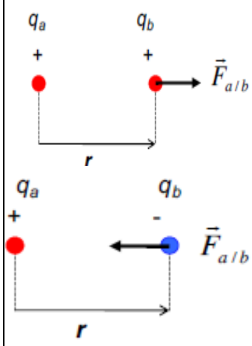
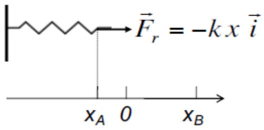
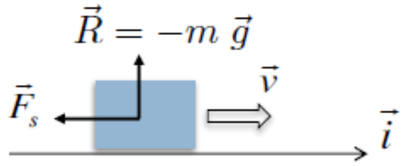
- On considère un référentiel R (vu précédemment) et un corps constitué de masses ponctuelles mi, la position du centre d'inertie G de ce corps est donnée par :
$\vec{x}_G = \frac{1}{m}\sum_i m_i \mathbf{OM}_i \qquad (avec\ m = \sum_i m_i)$

  - On définit la **quantité de mouvement** comme le vecteur : $\boxed{\vec{P} = m\,\vec{v}_G}$

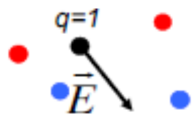
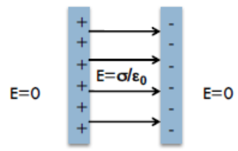
- **Les lois de la dynamique de Newton**

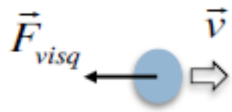
1ère loi de Newton *(= principe d'inertie de Galilée = loi de conservation de la qdm)*	Dans un référentiel galiléen, la **quantité de mouvement est constante** si et seulement si la somme des forces extérieures est **nulle** $$\boxed{\frac{dP}{dt} = 0 \Leftrightarrow \vec{F}_{tot} = 0}$$
2ème loi de Newton *(=principe fondamental de la dynamique)*	Dans un référentiel galiléen : $$\boxed{\frac{d\vec{P}}{dt} = m.\frac{d\vec{v}}{dt} = m.a \Leftrightarrow \Sigma\overrightarrow{F_{tot}}}$$ Le PFD consiste à établir le bilan des **forces extérieures** (les **forces internes** ne sont pas prises) Exemple de forces extérieures : - Forces à **distance** (ex : le poids) - Force de **contact** (ex : les forces de frottements) -
3ème loi de Newton *(=principe d'action – réaction)*	Fa/b est la force qu'un corps A exerce sur B $$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

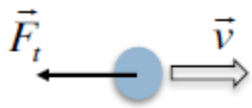
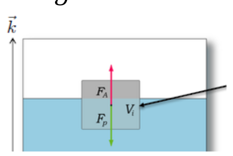
1.4 Quelques exemples de forces

Force d'attraction gravitationnelle 	$\boxed{\vec{F}_{a/b} = -G\dfrac{m_a m_b}{r^2}\hat{r}}$ *G = 6,7.10^-11 est la constante gravitationnelle en* **N.m².Kg^-2**  Est **TOUJOURS** attractive	Cas particulier : la force de pesanteur = le poids $z << R_T \approx 6400\ km$ $\vec{F}_T = -G\dfrac{m_T m}{(R_T+z)^2}\vec{k}$ $\approx -G\dfrac{m_T}{R_T^2} m\vec{k}$ $= -mg\vec{k}$ avec $g = G\dfrac{m_T}{R_T^2} \approx 9.81\ ms^{-2}$ 
Force électrique de Coulomb	$\boxed{\vec{F}_{a/b} = k\dfrac{q_a q_b}{r^2}\hat{r}}$ $[q] = C$ coulomb : Charge $k = 9\ 10^9\ Nm^2/C^2$: Constant de Coulomb $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ ε_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** 
Force de rappel d'un ressort	 $\boxed{\vec{F}_r = -k(x-x_0)\,\vec{i}}$ k = constante de rappel du ressort en **N.m^-1** (x-x0) = Allongement	
Force de frottement sec dynamique (tribologie)	$\boxed{\vec{F}_s = -\mu_d \lVert\vec{R}\rVert\, sign(\vec{v})\,\vec{i}}$ • S'exerce sur une surface solide • Signe négatif = la force s'oppose au mouvement • **R = m.g** est la réaction du support • µd = 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 	

<table>
<tr>
<td>Champs électrique</td>
<td>$$\boxed{\vec{F} = q\,\vec{E}(x,y,z)}$$
E s'exprime en N.C-1 ou en V.m-1

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)

</td>
<td>Champ électrique entre deux plaques chargées et exemple du condensateur :
Soit une distribution plane de charge caractérisée par la densité σ (en C.m^-2)
• Le champ électrique crée entre 2 plaques infinies chargées, avec des densités opposées, σ et $-\sigma$ est nul à l'extérieur et est constant entre ces plaques, où il vaut :

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$
• Le sens de $\vec{E}$ dépend du signe, les flèches vont du signe positif au signe négatif
• Les champs créés par deux plaques d'additionnent, c'est le principe de superposition</td>
</tr>
<tr>
<td>Force de frottement visqueux

Basse vitesse < 5m.s^-1 dans l'air</td>
<td colspan="2">$$\boxed{\vec{F}_{visq} = -\beta\,\vec{v}}$$
$\beta = 6 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta$
• β est le coefficient de viscosité en N.m^-1.s. Il dépend :
✓ du fluide (η est la viscosité dynamique du fluide en N.m^-2.s caractéristique du fluide)
✓ de la forme géométrique de l'objet (rayon R)
• La force est proportionnelle à la vitesse
</td>
</tr>
<tr>
<td>Force de traînée

Vitesse élevée</td>
<td colspan="2">$$\boxed{\vec{F_r} = -\frac{1}{2} p.S.c.v\vec{v}}$$
• ρ : masse volumique du fluide
• S : surface apparente de l'objet projeté dans la direction du mouvement
• Cx : coefficient de traînée (sans dimension)
La force est proportionnelle à la vitesse au carrée
</td>
</tr>
<tr>
<td>Poussée d'Archimède</td>
<td>$$\boxed{\vec{F}_A = \rho V_i g\,\vec{k}}$$
• ρ : masse volumique du fluide
• Vi : volume immergé
• g : constante de pesanteur

Volume immergé

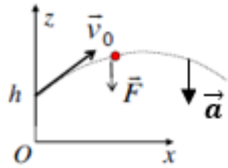
Rqe : le point d'application de FA est le centre géométrique de l'objet alors que celui du poids Fp est le centre d'inertie</td>
<td>Cas particulier : la flottabilité

Lorsque la force de pesanteur et la poussée d'Archimède se compensent
Fp = FA
⇔ m.g = $\rho.Vi$.g
⇔ m = $\rho.Vi$</td>
</tr>
</table>

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 …



$$\boxed{m\vec{a}_G = \vec{F}} \Leftrightarrow \begin{cases} m\dfrac{dv_x}{dt} = 0 \\ m\dfrac{dv_y}{dt} = 0 \\ m\dfrac{dv_z}{dt} = -F \end{cases} \quad \begin{cases} v_x(t) = \dfrac{dx}{dt} = v_{0x} \\ v_y(t) = \dfrac{dy}{dt} = 0 \\ v_z(t) = \dfrac{dz}{dt} = v_{0z} - at \end{cases} \quad \Rightarrow \Rightarrow \boxed{\begin{cases} x(t) = v_{0x}t \\ y(t) = 0 \\ z(t) = h + v_{0z}t - \dfrac{at^2}{2} \end{cases}}$$

- Cas particulier : si le mvt est **rectiligne**, **vox = 0** -> chute libre pour un objet soumis à la force de pesanteur. Ainsi, l'équation est une parabole si vox =/= de 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.

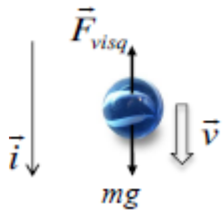
$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{visq} \quad \Rightarrow \quad \boxed{m\frac{dv_x}{dt} = mg - \beta v_x}$$

- *+ mg car mg est dirigé vers le bas*
- *- β.vx car dirigée vers le haut (dans le sens opposé à l'axe z dirigé vers le bas)*

La vitesse limite est atteinte lorsque l'accélération devient donc nulle.

m.g + Fvisq = 0

En isolant v, on trouve la vitesse limite :



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

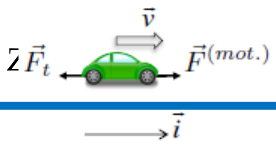
c) Idem mais en appliquant en plus la poussée d'Archimède

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

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

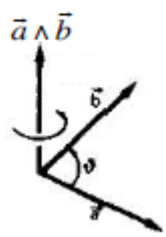
$$\vec{F}_t = -\tfrac{1}{2}\rho\, S\, c_x\, v\, \vec{v}$$

$$m\vec{a} = \vec{F}^{(mot.)} + \vec{F}_t \quad \Rightarrow \quad \boxed{m\frac{dv_x}{dt} = F^{(mot.)} - \tfrac{1}{2}\rho\, S\, c_x\, v_x^2} \quad \boxed{v_{\lim} = \sqrt{\frac{2F^{(mot.)}}{\rho S c_x}}}$$



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

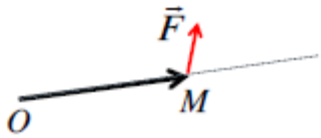
Propriétés :

➔ 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 $\vec{b}$:

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

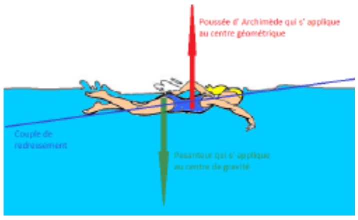
2.2 Le moment d'une force



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.

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

Couple de force appliqué à une nageuse :



2.3 Le moment angulaire = cinétique J

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

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

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

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

2.4 Le moment d'inertie

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

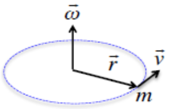
I en **kg.m^ 2**

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**

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

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



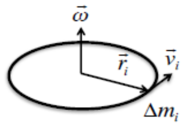
⇨ **Exemple 2 : Roue creuse (vélo)**

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

$$= \sum_i \Delta m_i\, r^2 \omega$$

$$\vec{J} = I\,\vec{\omega} \rightarrow \boxed{I = mr^2}$$

où $m = \sum_i \Delta m_i$



Pas de qcm sur les cylindres et les sphères

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

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

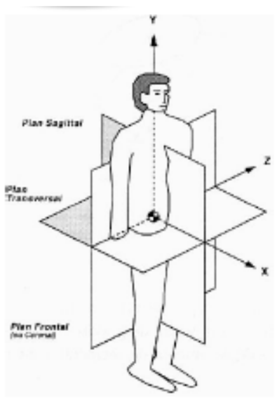
$$\vec{J} = \sum_i \Delta m_i\, r_i^2 \vec{\omega} \quad \rightarrow \quad I_{disque} = \sum_i \Delta m_i\, r_i^2 \boxed{= \frac{1}{2} mr^2}$$

⇨ **Autres exemples :**

Cylindre : $I_{cylindre} = \frac{1}{2} mr^2$

Sphère : $I_{sphère} = \frac{2}{5} mr^2$

etc…



$I_Y < I_Z < I_X$

À rayons et masses identique **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 Iy, Iz et Ix

2.5 Rotation libre

Supposons $\vec{\Gamma}_{tot} = 0$. Alors $\frac{d\vec{J}}{dt} = 0$ on dit que **le moment angulaire est conservé** : J est constant.

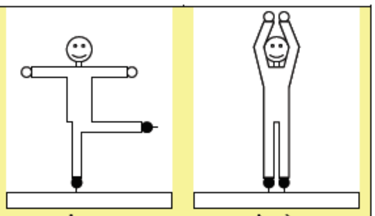
Effet gyroscopique : un objet qui tourne sur lui-même oppose une résistance au changement d'orientation de son axe de rotation. En l'absence d'interaction, cette orientation est conservée.

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) :

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

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

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

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

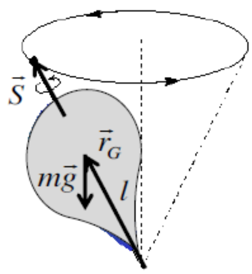
Le mouvement d'inertie est plus ou moins maximal :
- ➔ Si l'artiste **rapproche** ses mains, il va **diminuer** I et donc va **augmenter** la vitesse et accélérer sa vitesse de rotation.
- ➔ Si l'artiste **éloigne** ses mains, I **augmente** donc la vitesse angulaire **diminue**

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 du au poids mg :

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



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

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

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

Ce mouvement est appelé **précession**. On le trouve également dans le contexte de la RMN ou de l'astronomie …
- *Ω* = vitesse de précession = vitesse angulaire autour de **l'axe vertical**
- *ω* = 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

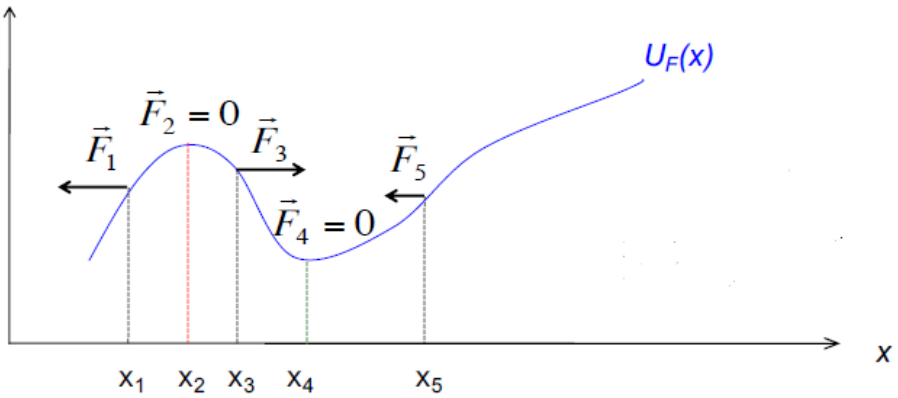
Théorème de l'énergie potentielle = $\boxed{U_F(B) - U_F(A) = W_{BA}}$

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

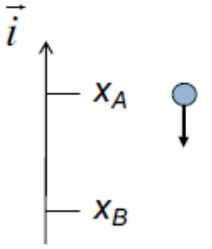
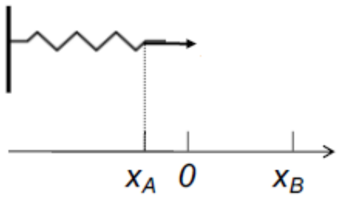
$$(U_F(B) + const) - (U_F(A) + const) = W_{BA}$$

3.1 Relation Force-énergie potentielle

De signe opposé : $\boxed{F_x = -\dfrac{dU_F}{dx}}$



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

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

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**

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

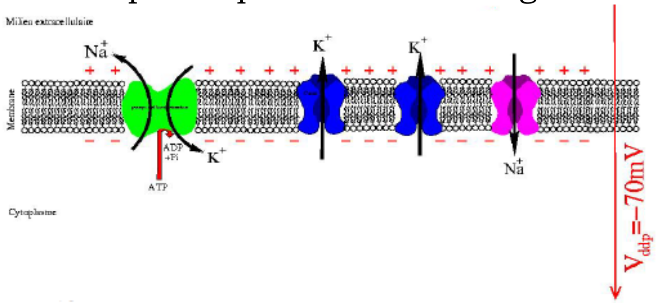
Tension électrique = **Volt**
1V = 1J.C^-1

Potentiel électrique membranaire :

Les cellules vivantes possèdent naturellement **une différence de potentiel transmembranaire de repos** : Ddp = -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.

<u>Rqe :</u> l'électroneutralité est respectée partout sauf en regard de la membrane cellulaire



3.4 Energie cinétique et énergie mécanique

L'énergie cinétique d'une particule m est définie comme : $\boxed{E_c = \frac{1}{2} m v^2}$

a. Théorème de l'énergie cinétique :

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

Ce théorème de l'énergie cinétique caractérise **les forces conservatives ET non conservatives** (=/= 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 $W_{AB} = - F_s . d$

Or la force de frottement sec dynamique est : $F_s = \mu_d \; mg$ (rem : μ_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/s². d = 10 m.
μ_d = 100/(2 10 . 10) = 0.5

b. Energie mécanique :

Si les forces extérieures sont conservatives on a :

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

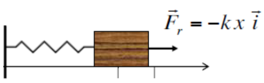
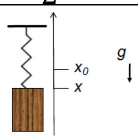
$$\Rightarrow E_c(B) - E_c(A) = U(x_A) - U(x_B)$$

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

On en déduit la loi de conservation de l'énergie mécanique : $\boxed{E^{(méca)} = \frac{1}{2} m v^2 + U(x)}$

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

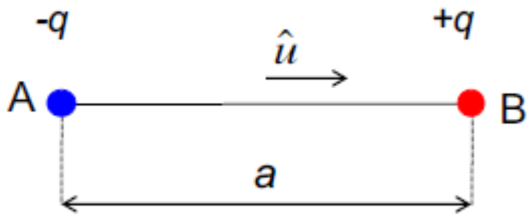
<u>Exemples :</u>
En l'absence de frottement, l'énergie totale d'une masse liée à un ressort est conservée.

Ressort horizontal	Ressort vertical
$Em = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	$Em = 1.2mv^2 + \frac{1}{2}k(x - x0)^2 + mgx$
	

4/ Étude 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.



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

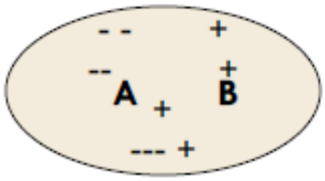
Unités : **p = C.m**

On y associe un **moment dipolaire** : $\boxed{\vec{p} = aq\ \hat{u} \quad (q > 0)}$

4.2 Dipôle dans la matière

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**

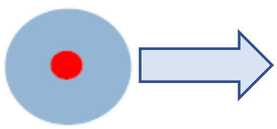
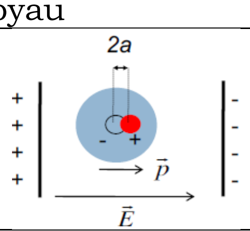
On généralise la notion de moment dipolaire en considérant le vecteur : **p = Q(+).AB**



$(Q_+ = -Q_-)$

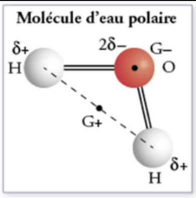
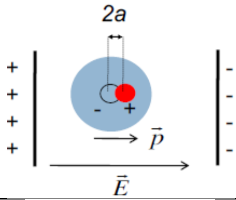
a. Moment dipolaire induit

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

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

b. Moment dipolaire permanent

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

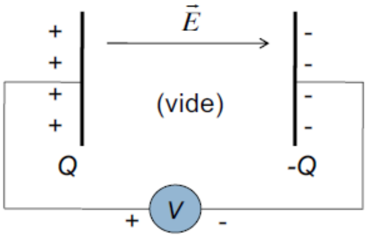
Distribution de charges (ou nuage électronique) **Asymétrique** autour du noyau	**Sous l'effet d'un champ électrique** : les molécules polaires se manifestent par une polarisabilité plus forte que celle des molécules non polaires
	
p = Q(+).AB	$\vec{p} = \alpha \vec{E}$
La polarisabilité n'est pas due 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	

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 :



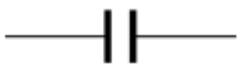
$Q = CV$

C : capacité du condensateur

$C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d}, \quad \varepsilon_0 = \dfrac{1}{4\pi k} = \dfrac{1}{36\pi\, 10^9}$ 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 => V'<V => C'>C

> On définit la constante diélectrique ou **permittivité relative** par : $\dfrac{C'}{C} = \varepsilon_r \geq 1$

> On définit la **permittivité** d'un matériau par le coefficient $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

> La capacité d'un **condensateur** rempli de diélectrique : $C' = \varepsilon_r C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \dfrac{S}{d} = \varepsilon \dfrac{S}{d}$

5/ Conduction électrique

5.1 Introduction

Isolants => diélectrique	Conducteurs	Semi-conducteur
Pas de charges libres	Charges libres	Intermédiaires entre celles des isolants et celles des conducteurs
Pas de courant électrique mais sujets au phénomène de polarisation	Courant électrique + sujet au phénomène de polarisation	

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 : UA-UB>0.

- *R : résistance électrique en ohm (Ω)*
- *I : intensité en Ampère (A)*
- *U : potentiel électrique en volt (V)*

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

- *L : longueur du conducteur en mètre (m)*
- *S : section du conducteur en mètre-carré (m²)*
- *p : résistivité électrique en ohm.mètre (Ω.m) dépend du matériau conducteur considéré.*

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

La puissance électrique : $\boxed{P = (U_A - U_B)I = R_{AB}I^2 = \frac{(U_A - U_B)^2}{R_{AB}}}$

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 ;

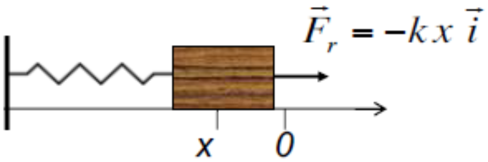
6.1 Étude de l'oscillateur harmonique

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

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

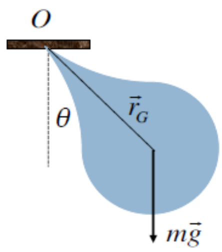
*où ω_0 est une constante **positive** appelée **pulsation propre** de l'oscillateur*

Exemple 1 : Masse liée à un ressort



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

donc $$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2\, x,$$ avec $$\boxed{\omega_0^2 = \frac{k}{m}}$$



Exemple 2 : petites oscillations d'un corps solide

$$J = I_O\,\omega, \qquad \omega = \frac{d\theta}{dt}$$

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

$$I_O\frac{d^2\theta}{dt^2} = -r_G\, mg\sin\theta$$

Approximation des petits angles :

$\sin\theta \approx \theta \quad si \quad |\theta| << 1\,rad$

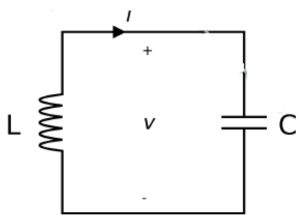
Donc $$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega_0^2\,\theta$$

avec $$\boxed{\omega_0^2 = \frac{r_G\, mg}{I_O}}$$

En remplaçant Io par m.r², on trouve : $$\boxed{\omega_0^2 = \frac{g}{l}}$$

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 : $LC\dfrac{d^2v}{dt^2} + v = 0 \Longleftrightarrow \dfrac{d^2v}{dt^2} = -\omega_0^2\, v$ avec $\boxed{\omega_0^2 = \dfrac{1}{LC}}$

- Fréquence en Hz :

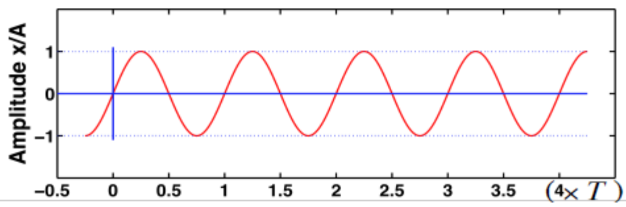
$\omega = \dfrac{2.\pi}{T} = 2\pi.\nu$ donc : $\boxed{\nu = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}$

RECAP :

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

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

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



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

Equation de la fonction onde oscillations harmoniques :

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

➔ **A :** Amplitude (fixée par l'énergie du système)
➔ $\boldsymbol{\omega_0}$ **:** 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.
➔ φ : phase. Elle dépend du choix des conditions initiales

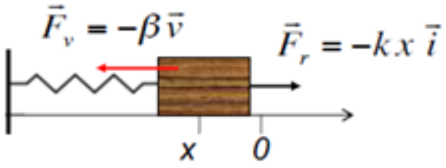
6.2 Oscillateur harmonique amorti

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

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

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

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

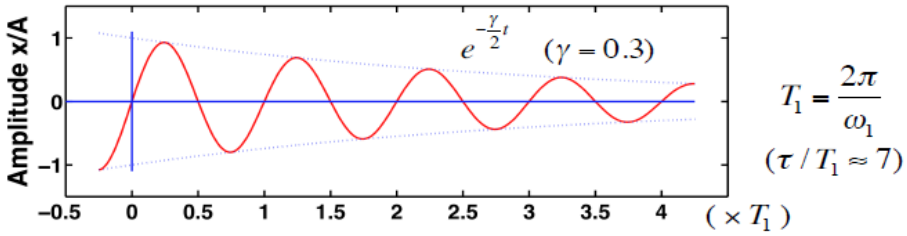


Des **oscillations amorties** pseudopériodiques ont lieu si : $\omega_1^2 = \omega_0^2 - (\frac{\gamma}{2})^2 > 0$

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** : $\boxed{\tau = 2/\gamma \text{ (diminution d'un facteur } e^{-1})}$
- La **pseudo-période** : $\boxed{T_1 = 2\pi/\omega_1.}$



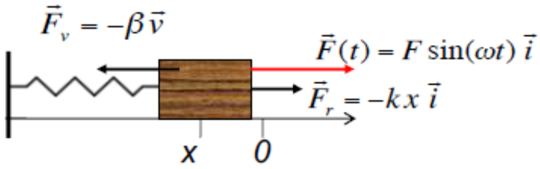
$\boxed{Q = \omega_0/\gamma}$ appelé **facteur de qualité de l'oscillateur**.

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)**

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

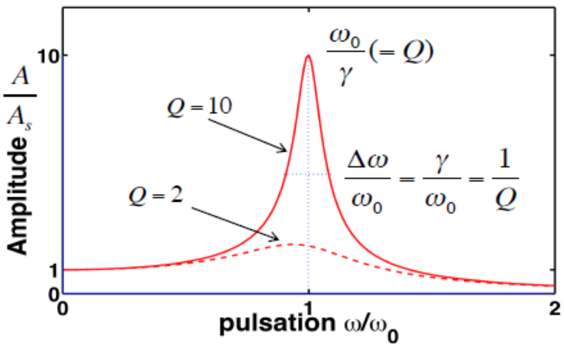


Il existe alors un **régime entretenu** avec des oscillations de fréquence identique à celle du forçage périodique :

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

Cependant, ici A et φne sont pas arbitraires, mais des **fonctions de ω_0**.

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



Un **phénomène de résonance** a lieu lorsque Q>>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 : résonnance dans un circuit RLC

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$
$$\gamma = \frac{R}{L} \Rightarrow \boxed{Q = \frac{\omega_0}{\gamma} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

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 !!