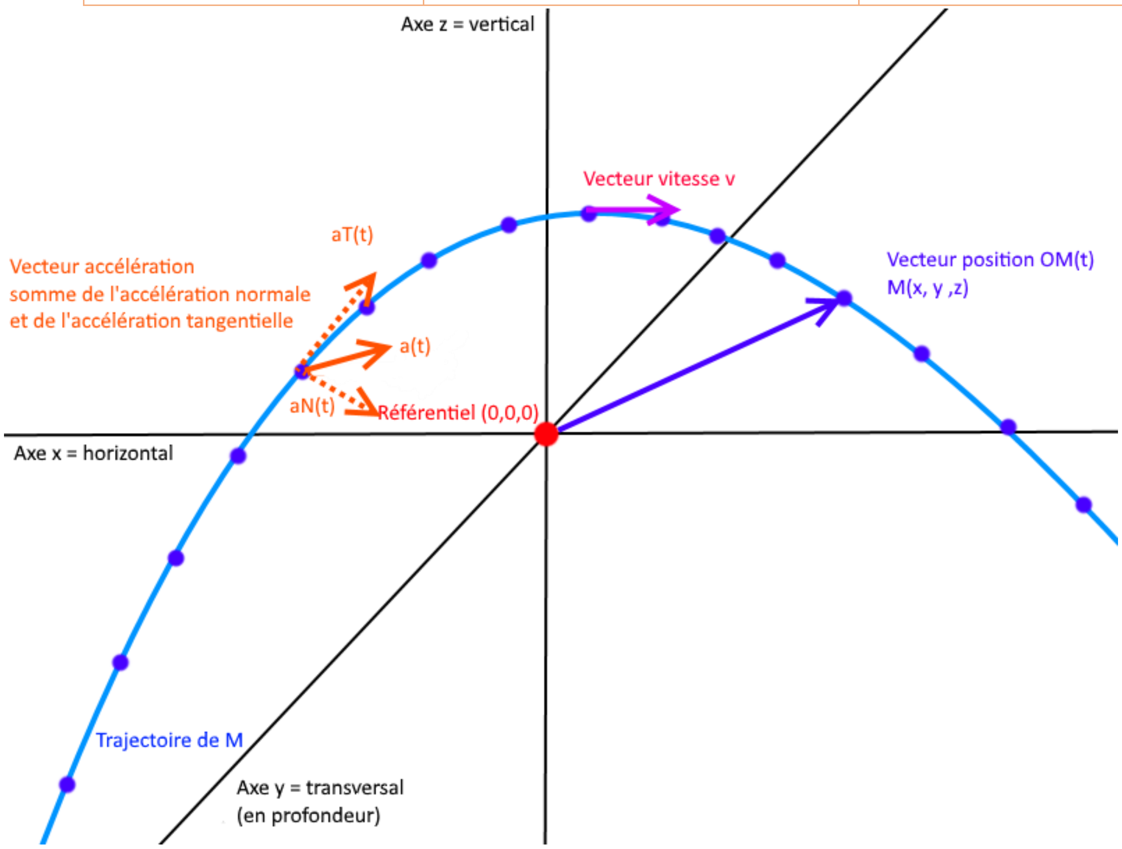
Bases de physique générale

Eléments de mécanique classique

I. Mécanique newtonienne

Cinématique d'objet ponctuel :

Référentiel	Corps de référence pour caractériser la position d'un objet	Repère mathématique + repère temporel Il définit 3 axes : Horizontal + vertical + transversal (profondeur)	Correspond à l'origine du repère spatial
Vecteur position (de M, l'objet étudié)	OM, position de M par rapport au référentiel	3 coordonnées x(t), y(t) et z(t)	OM(t) : vecteur position de M à l'instant t
Vecteur vitesse	Vitesse : variation de la position de M	$\vec{v} = \frac{dOM(t)}{dt}$, 3 coordonnées : vx(t) (vitesse horizontale) vy(t) (vitesse transversale) vz(t) (vitesse verticale)	Dérivée d'OM (t) par rapport au temps **TOUJOURS tangent à la trajectoire**
Vecteur accélération	Accélération : variation de la vitesse de M	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}\,(t)}{dt}$ 3 coordonnées ax(t), ay(t) et az(t) 2 composantes : $a_N(t)$: accélération normale (perpendiculaire à v(t)) $a_T(t)$: accélération tangentielle (colinéaire à v(t))	Dérivée de v(t) par rapport au temps **$a_N(t)$ = 0 : mouvement rectiligne** **$a_T(t)$ = 0 mouvement circulaire uniforme**



Lois de Newton :

Quantité de mouvement : $\vec{P} = m\vec{v}$

1ère **loi de Newton** ou principe d'inertie : $\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \Leftrightarrow \overrightarrow{Ftot} = 0$

2ème **loi de Newton** ou Principe Fondamental de la Dynamique (**PFD**): $\frac{d\vec{P}}{dt} = \overrightarrow{Ftot}$

3ème **loi de Newton** ou principe d'action-réaction **:** $\vec{F}a/b = -\vec{F}b/a$

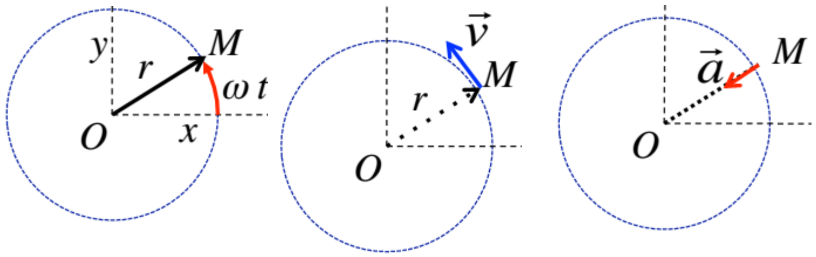
Si m est constant : $\overrightarrow{Ftot} = m * a$

Les différents types de forces :

Force d'attraction gravitationnelle	$\vec{F}a/b = -G\frac{m_a * m_b}{r^2}$	**G** : constante d'attraction gravitationnelle **très petite** (donc force d'attraction négligeable entre 2 corps de faible masse) m_a et m_b : masses des corps
Force de pesanteur	$\vec{F}t = -mg \cong -10m$ $g = G\frac{m_T}{rt^2} \cong 9{,}81ms^{-2}$ g étant le champ de force d'attraction gravitationnel de la Terre	Force d'attraction exercée par la Terre sur un corps m_T et r_T étant la masse et rayon de la Terre
Force électrique de Coulomb	$\vec{F}a/b = k\frac{q_a * q_b}{r^2}$ $\vec{F} = q_a * E \text{ avec } E = k\frac{q_b}{r^2}$ E étant le champ électrique qui s'exerce sur la charge q_a	**K** : constante électrique de Coulomb : **très grande** **Additive** pour une distribution de charge donnée Peut-être **répulsive ou attractive** selon les charges q_a et q_b q_a et q_b charges des particules
Force de rappel d'un ressort	$\vec{F}r = -k(x - x0)\vec{i}$	Force proportionnelle et opposée au déplacement
Force de frottement sec dynamique	$\vec{F}s = -\mu d * mg * sign(\vec{v})\_\vec{i}$	Force opposée à la vitesse (opposée au signe du vecteur vitesse) mais **ne dépend pas de la norme de v** Proportionnelle à l'accélération mg
Force de frottement visqueux	$\vec{F}visq = -\beta\vec{v}$	Dans le cas de corps se déplaçant à petite vitesse dans un fluide **Proportionnel à la vitesse**
Force de trainée	$\vec{F}t = -\frac{1}{2}\rho SC_x v\vec{v}$ Corps soumis à la force de trainée et à une force motrice constante, **existence d'une vitesse limite** : $v_{lim} = \sqrt{\frac{2F^{(mot)}}{\rho SC_x}}$	Dans le cas de corps se déplaçant à grande vitesse dans un fluide **Proportionnel au carré de la vitesse** (caractérisé par $v\vec{v}$), à la surface apparente et à la masse volumique du fluide

Applications :

1. Mouvement circulaire uniforme



ω est la vitesse angulaire

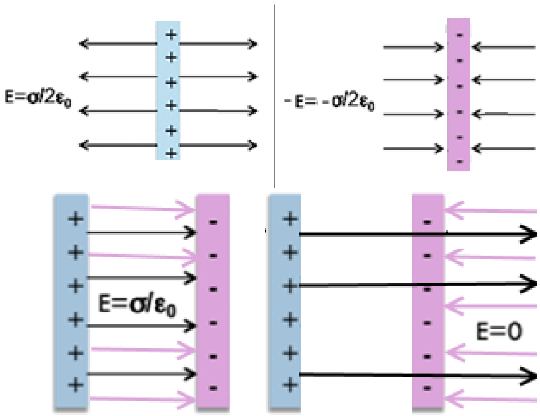
||OM|| = r

$$\boldsymbol{v = \omega r <-> \omega = \frac{v}{r}}$$

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

Ici l'accélération est purement centripète, $a_T(t)$ = 0

2. Champ électrique créé par une distribution de charge



E1 = σ/2 ε₀ pour la plaque positive (répulsive)

E2 = -E1 = -σ/2 ε₀ pour la plaque négative (attractive)

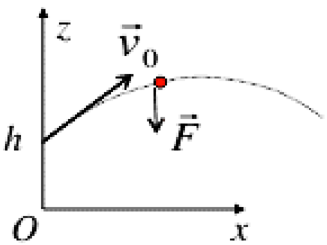
E est le champ électrique créé par le plan infini

σ est la densité de charge , ε_0 est la constante diélectrique du vide.

La force de Coulomb étant additive, on additionne donc les champs

$E_{milieu} = E+E = 2*(\sigma/2\ \varepsilon_0) = \sigma/\ \varepsilon_0$ et $E_{ext} = E-E = 0$

3. Trajectoire d'une masse m dans un champ de force constant

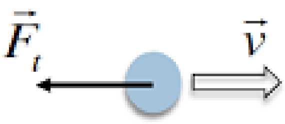


$$\vec{F} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$
$$vz(t) = v0z - at$$
$$vx(t) = v0x$$
$$z(t) = h + v0zt - \frac{at^2}{2}$$
$$x(t) = v0xt$$

m=masse, t=temps pris pour le calcul, h=hauteur initiale, v0= vitesse initiale (elle sera nulle dans la plupart des calculs pour les faciliter)

a= accélération=g=9.81

4. Mouvement d'un objet dans un fluide soumis à une force motrice constante et une force de trainée



La force totale qui s'exerce sur l'objet est égal à somme de la force motrice et de la force de trainée (qui est négative car opposée au mouvement). Il existe une vitesse limite, proportionnelle à la racine carré de la force motrice.

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

II. Dynamique de rotation

Les moments de force/moment cinétiques/moments d'inertie/vitesse angulaire correspondent à **l'application de la force/quantité de mouvement/masse/vitesse à des systèmes en rotation, c'est-à-dire au produit vectoriel du rayon de la rotation** avec leurs équivalents utilisés pour les systèmes qui subissent une accélération linéaire.

Moment de force *Γ*	Caractérise l'aptitude d'une force F à faire tourner un système	$\frac{d\vec{J}}{dt} = \overrightarrow{\Gamma tot}$ <u>Cas de la rotation libre</u> : $\frac{d\vec{J}}{dt} = 0 \leftrightarrow \overrightarrow{\Gamma tot} = 0$	Le **moment de force total** qui agit sur le système en rotation est égal à la **variation du moment cinétique au cours du temps**
Moment angulaire/cinétique *J*	Rôle analogue à la quantité de mouvement dans un système en rotation	$J = I * \omega$	Plus **I sera important** plus la **vitesse angulaire sera faible** pour un même moment cinétique. Ainsi **pour conserver** une même **vitesse angulaire** avec un **I qui augmente**, il faut augmenter le moment cinétique et donc **augmenter la force** qui agit sur le système.
Moment d'inertie *I*	Caractérise la difficulté à mettre en rotation un système, c'est l'équivalent de la masse pour un système en rotation	$I = k * mr^2$ Avec k une constante qui dépend du système étudié **K=1 pour une roue creuse ou masse ponctuelle** **K=½ pour une roue pleine**	**I**, le moment d'inertie ou difficulté à faire tourner le système, **augmente si le rayon et/ou la masse augmente**. Ainsi a rayon et masse identique il est **plus difficile de faire tourner une roue creuse qu'une roue pleine**
Vitesse angulaire *ω*	Mesure la vitesse de rotation d'un système en rotation. Correspond à une variation d'angle par rapport au temps	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$ Avec θ, l'angle effectué lors de la rotation de l'objet	Avec J constant une variation du rayon de l'objet va entrainer une variation de ω et donc de θ C'est le cas dans le retournement du chat où θ augmente ou diminue selon r

<u>Mouvement de précession :</u>

Une toupie possède un moment angulaire $S = I\omega$, **l'axe de la toupie** (le vecteur S) **tourne** avec une vitesse angulaire $\Omega = \frac{mgl}{I\omega}$ **autour de son point d'appui**, ce mouvement appelé **précession.**

III. Formalisme du potentiel

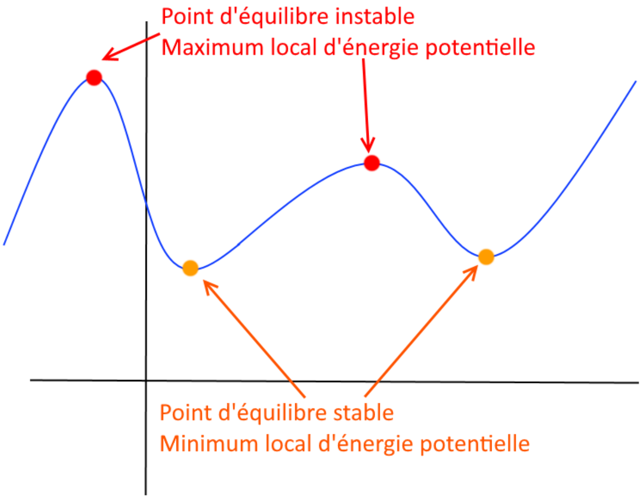
Le travail d'une force :

$W_{AB} = \int_{x_A}^{x_B} F_x(x)dx$, il peut être **moteur** ($W_{AB} > 0$) **ou résistant** ($W_{AB} < 0$)

Elle est dite **conservative** (ne dépend que des points d'arrivé et de départ : pesanteur, Coulomb, rappel d'un ressort) ou **non conservative** (forces de frottements)

Energie potentielle U :

$W_{BA} = (U(B) + constante) - (U(A) + constante)$ définie la variation d'U entre A et B, cette énergie est **définie à une constante près**.



Si l'on déplace un objet d'un point d'équilibre :

Dans le cas d'un point d'équilibre instable, les forces s'opposent au retour de l'objet sur ce point

Dans le cas d'un point d'équilibre stable, les forces permettent le retour de l'objet sur ce point

Potentiel électrique :

$V(B) - V(A) = W_{BA}$ La **tension ou différence d'énergie potentielle électrique** correspond au travail de la force électrique sur une charge unité

Relation force/énergie potentielle : $F_x = -dU_F/dx$

	Force de pesanteur	Force de rappel d'un ressort	Force de Coulomb	Force de frottement sec
Force	$F_x = -mgx$	$F_x = -kx$	$F_x = -k\frac{Qq}{x^2}$	$\vec{F}s = -\mu d * mg * sign(\vec{v})\_\vec{\imath}$
Travail de la force W_{AB}	$W_{AB} = mg(x_a - x_b)$	$W_{AB} = \frac{k}{2}(x_a^2 - x_b^2)$	$W_{AB} = kQq(\frac{1}{x_a} - \frac{1}{x_b})$	$\boldsymbol{W_{AB} = -F_s * d}$
Energie potentielle U	$U(x) = mgx + const$	$U(x) = \frac{kx^2}{2} + const$	$U(x) = \frac{kQq}{x} + const$	

Energie cinétique : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$

Energie mécanique : $\boxed{E^{(méca)} = \frac{1}{2}mv^2 + U(x)}$, elle est conservée au cours du temps si les forces sont conservatives. **U(x) est la somme des énergies potentielles de toutes les forces extérieures** conservatives qui agissent sur le système étudié

Exemple de la consommation énergétique d'un véhicule en mouvement :

Formule générale	Phase d'accélération (cas de la voiture citadine)
$W_{AB}^{(mot.)} = E_{AB}^{(méca)} + \left\|W_{AB}^{(frott.)}\right\|$	$W_{AB}^{(mot.)} = E_{AB}^{(méca)} = \frac{1}{2}mv^2$
Déplacement à vitesse constante (cas de la voiture routière)	**Phase de décélération**
$W_{AB}^{(mot.)} = \left\|W_{AB}^{(frott.)}\right\| = \left\|F_x^{(frott.)}\right\| * x_{AB} = \frac{1}{2}\rho S C_x v^2 * d$	$W_{AB}^{(mot.)} = 0$
Consommation de carburant du moteur	**Rendement (Joule/litre)**
Consommation $= \frac{dC}{dx}$ Lien travail moteur et consommation : $\frac{dW^{(mot.)}}{dx} = rendement * consommation = \left(\frac{dW^{(mot.)}}{dC}\right)\frac{dC}{dx}$	$\frac{dW^{(mot.)}}{dC} = 10^7 * rendement$

IV. Etude du dipôle électrique

Dipôle électrique	**Distribution de charges** constituée de 2 charges **+q et –q** placées en deux points espacés d'une **distance d**	Moment dipolaire associé : $\vec{p} = d * q$
Dipôle dans la matière	**Matière neutre** mais présence de charge + et – conduisant à **l'existence de distribution de charges dipolaire** (caractérisée par des barycentres, qui correspondent au **centre** de l'ensemble de la distribution **des charges**)	Moment dipolaire associé à cette distribution : $p = AB * Q_+$ AB : distance entre les barycentres de charge + et – Q : charge positive totale.
Moment dipolaire induit	Le barycentre des charges + et – coïncident, on **induit un moment dipolaire par l'ajout d'un champ électrique E** sur un matériau neutre possédant un coefficient de polarisabilité α, **les barycentres + et – se séparent**	Moment dipolaire induit $\vec{p} = \alpha\vec{E}$
Moment dipolaire permanent	Les **barycentre**s des charges + et – **ne coïncident pas au repos**, la structure géométrique de la molécule n'est **pas symétrique**	Exemple : HCl, H_2O...

Diélectrique et condensateurs :

Diélectrique : matériau soumis au phénomène de polarisation sous l'action d'un champ électrique

Condensateur : $Q = CV$ avec Q la charge, C la capacité du condensateur et V le potentiel électrique

Condensateur rempli de diélectrique : il y a diminution du champ électrique à l'intérieur du condensateur rempli de diélectrique : E'<E et les charges Q à l'intérieurs du condensateur restent identiques.

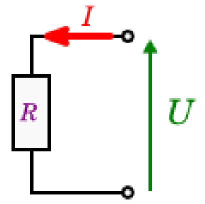
On a donc Q = CV =C'V' et E'<E donc V'<V et C'>C

V. Conduction électrique

Isolant : matériau diélectrique, pas de charges libre, sujet au phénomène de polarisation

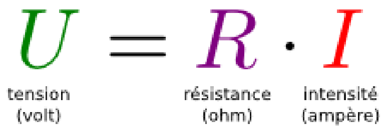
Conducteurs : charges libres, laisse passer le courant, la plupart des métaux sont conducteurs

Loi d'Ohm : elle décrit le phénomène du déplacement des charges dans un élément conducteur de résistance R sous l'effet d'un différence de potentiel électrique U, le conducteur est ainsi parcouru par un courant I



$U = R * I \leftrightarrow I = \frac{U}{R}$

R, la résistance électrique est donnée par $R = \frac{L}{S}\rho$, avec L la longueur et S la section de la résistance et ρ la résistivité propre au matériau de la résistance.



P la puissance électrique consommé pour conserver un courant constant est donné par $P = U * I = R * I^2$

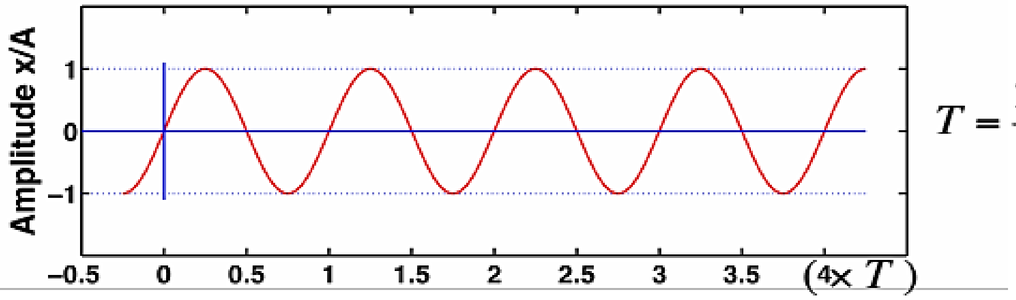
VI. Oscillateurs

Caractéristiques :

- Possèdent une **position d'équilibre stable**
- **Déplacés de cette position** le système **oscille périodiquement** autour de la position d'équilibre
- Les oscillations s'**atténuent dans le temps** sauf si elles sont entretenues par une force périodique

L'oscillateur harmonique :

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



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

Equation de mouvement : $\boxed{\frac{d^2x}{dt^2} = -{\omega_0}^2 x}$ avec ω_0 la pulsation propre de l'oscillateur.

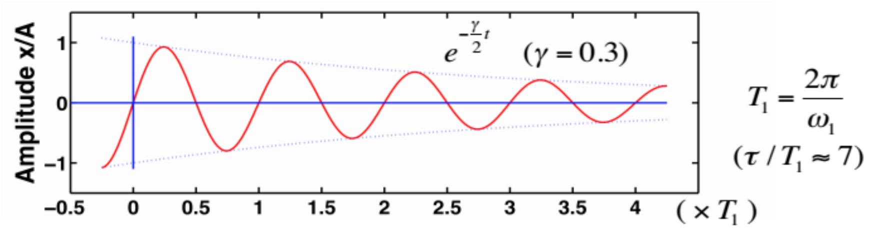
Oscillation harmonique : $x(t) = A\sin(\omega_0 t + \varphi)$ avec A l'amplitude des oscillation et φ la phase

Période des oscillations : $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

ω_0 la pulsation propre de l'oscillateur **est intrinsèque au système**, elle ne varie pas avec A

A l'amplitude des oscillation est fixé par l'énergie du système (la force exercée pour déplacé le système de sa position d'équilibre) et φ la phase dépend du choix des condition initiales (de là où se trouve le temps t=0)

L'oscillateur harmonique amorti :



Equation de mouvement : $\frac{d^2x}{dt^2} = \gamma\frac{dx}{dt} - {\omega_0}^2 x$ où γ est la caractéristique de l'amortissement

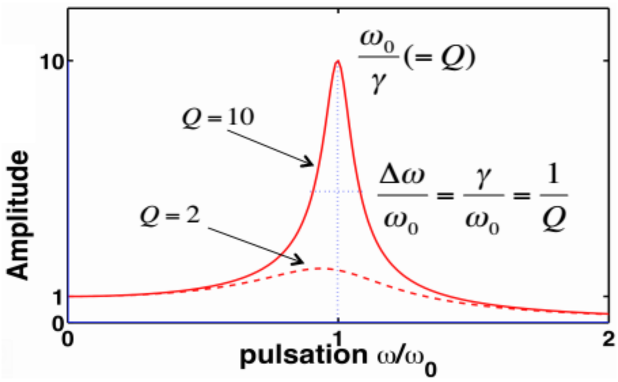
Oscillations amorties pseudo périodiques : $x(t) = Ae^{-\frac{\gamma}{2}t}\sin(\omega_1 t + \varphi)$

Ici A, l'amplitude, décroit exponentiellement au cours du temps

Temps d'amortissement : $\tau = 2\pi/\gamma$ et pseudo période $T_1 = 2\pi/\omega_1$

Facteur de qualité de l'oscillateur : $Q = \omega_0/\gamma$ plus Q est grand plus l'amortissement est faible (résonateur)

L'oscillateur harmonique amorti et entretenu :



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

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

$x(t) = A\sin(\omega_0 t + \varphi)$ ici **A et φ sont des fonctions de ω**

Un phénomène de **résonnance** survient lorsque **Q>>1**, l'amplitude A devient alors maximale en fonction de ω dans l'intervalle de la bande passante du résonateur.

Fin de cette première fiche, j'espère qu'elle vous sera utile pour vos révisions ou pour vous aider à mieux comprendre cette partie de la physique !

Ces deux cours sur la mécanique classiques sont assez difficiles et nécessitent à la fois pas mal de compréhension globale mais surtout de bien connaitre les formules pour pouvoir répondre aux qcm au concours !

Bon courage pour cette année éprouvante et pour la suite de ce semestre ☺