Bases de physique générale : éléments de mécanique classique

I. Mécanique Newtonienne

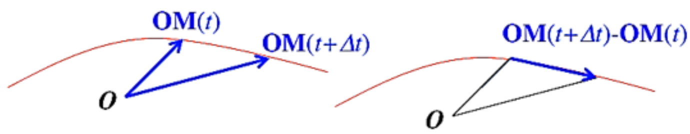
A. Cinématique des objets ponctuels

Définitions :

→ Référentiel : repère mathématique défini par 3 axes : horizontal + vertical + transversal

→ Vecteur position $\overrightarrow{OM}$: position de M par rapport au référentiel, caractérisé par 3 coordonnées x(t), y(t), z(t)

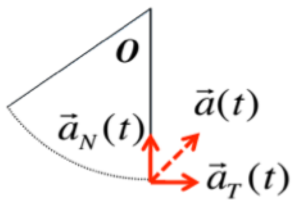
→ Vecteur vitesse : il s'agit de la variation de la position M pendant une durée t.
Dérivé du vecteur position par rapport au temps : $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}(t)}{dt}$



3 coordonnées $v_x(t)$: vitesse horizontale ; $v_y(t)$: vitesse transversale ; $v_z(t)$: vitesse verticale. **TOUJOURS TANGENT A LA TRAJECTOIRE**

→ Vecteur accélération : variation de la vitesse de M pendant une durée t.
Dérivé de v(t) par rapport au temps $\vec{a} = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$

3 coordonnées $a_x(t)$; $a_z(t)$; $a_y(t)$ et
2 composantes $a_N(t)$: accélération normale (perpendiculaire au vecteur vitesse) ; **$a_T(t)$: accélération tangentielle** (parallèle à v(t))



Si $a_N(t)$=0 : mouvement rectiligne
Si $a_T(t)$=0 : mouvement circulaire uniforme

B. Lois de Newton

Quantité de mouvement : $\vec{P}$ = m$\vec{v}$ avec m la masse et v la vitesse.

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

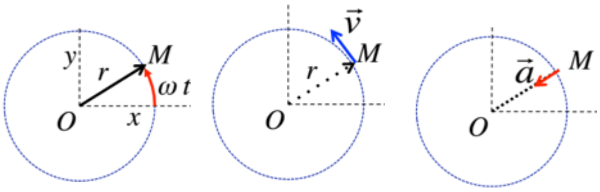
2[ème] **loi de Newton** ou Principe Fondamental de la dynamique (PFD) : $\frac{d\vec{P}}{dt} = \overrightarrow{F_{tot}}$

3[ème] **loi de Newton** ou principe d'action réaction : $\overrightarrow{F_{a/b}} = -\overrightarrow{F_{b/a}}$

Il existe 2 types de forces extérieures : **de contact** (ex : forces de frottements) et **à distance** (ex : force d'attraction gravitationnelle)

C. Applications

a. Mouvement circulaire uniforme



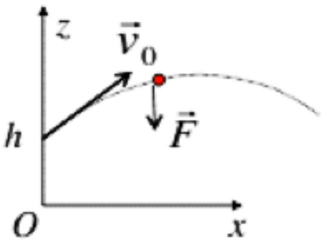
$v= \omega r \Leftrightarrow \omega = \frac{v}{r}$ et $a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$

avec ω : *vitesse angulaire* ($rad.s^{-1}$), *v : vitesse* ($m.s^{-1}$), *r : rayon* (m) et *a : accélération* ($m.s^{-2}$)

Centripète = vers le centre ≠ centrifuge = qui s'éloigne du centre

Ici, on retrouve v, tangente à la trajectoire. De plus ici l'accélération est purement centripète donc $a_T(t)$ =0 : mouvement circulaire uniforme

b. Trajectoire d'une masse m dans un champs de force constant



$\vec{F} = m\vec{a} \leftrightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

$v_z(t) = v_{0z} - at$

$z(t) = h + v_{0z}t - \frac{at^2}{2}$

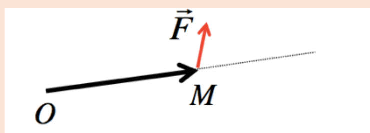
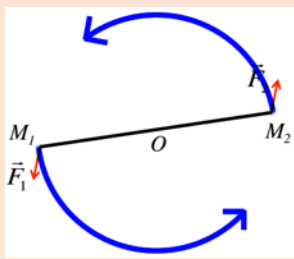
x(t) = $v_{0x}\, t$

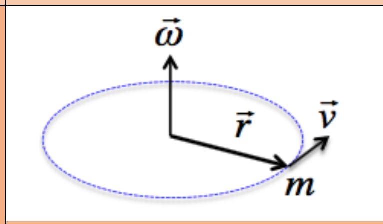
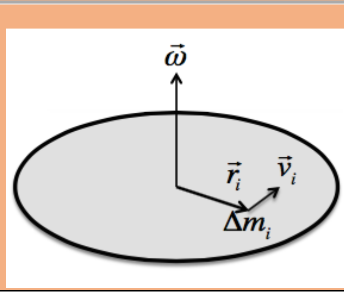
Avec m=masse, t=temps, h=hauteur initiale, v_0=vitesse initiale souvent nulle

La plupart du temps, **on limitera les forces qui agissent sur le système au poids** donc $\vec{F} = \vec{P} <=> m\vec{a} = m\vec{g} <=> \vec{a} = \vec{g}$

II. Dynamique de rotation

Point vocab : Lorsque l'on parle **de moment** (moment de force ; moment angulaire ; moment cinétique ; moment d'inertie), il s'agit de l'application d'une force ; vitesse ; quantité de mouvement ; masse à des systèmes en rotation. Il s'agit du **produit vectoriel entre le rayon de rotation du système et la force ; vitesse ; quantité de mouvement ou masse** que l'on pourrait trouver dans le système linéaire classique.

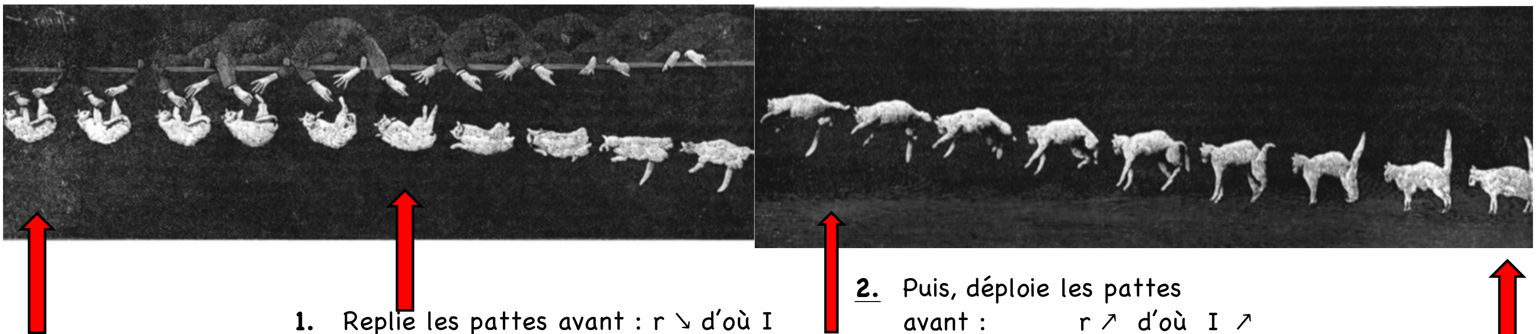
Moment d'une force Γ	$\vec{\Gamma} = \overrightarrow{OM} \wedge \vec{F}$ rappel : $\lVert a \wedge b \rVert = a.b.\sin\theta$ avec θ angle entre a et b et $\overrightarrow{OM} \wedge \vec{F} = -\vec{F} \wedge \overrightarrow{OM}$	Caractérise l'efficacité, la capacité du bras de levier à faire pivoter M si O est fixé. Autre exemple : Ici, F1 et F2 sont opposées, ainsi Ftotale = F1+F2 = 0 mais Γtot $\neq 0$	 

Moment angulaire = Moment cinétique J	$\vec{J} = \omega\vec{I}$ ω : *vitesse angulaire* $(rad.s^{-1})$ I en Kg.m^2	D'après le Principe Fondamental de la Dynamique (PFD) : $\frac{d\vec{P}}{dt} = \overrightarrow{\boldsymbol{Ftot}} \rightarrow \frac{d\vec{J}}{dt} = \overrightarrow{\Gamma \boldsymbol{tot}}$	**Cas de la rotation libre** (objet qui tournent déjà d'eux mêmes sans qu'aucune force extérieure n'intervienne): $\frac{d\vec{J}}{dt} = \mathbf{0} \leftrightarrow \overrightarrow{\Gamma \boldsymbol{tot}} = \mathbf{0}$
Moment d'inertie I	Roue creuse en rotation (ex : vélo) $I = mr^2$ Disque en rotation $I = \frac{1}{2}mr^2$	I détermine si l'objet est facile à faire tourner ou pas. Plus I est grand, plus il faudra un grand moment de force pour le faire tourner.	 

→ A rayon identique, il est **plus difficile de faire tourner une roue creuse qu'une roue pleine car son moment d'inertie est plus élevé.**

→ Dans le cas de la rotation libre J constant, si le rayon de rotation augmente, I augmente donc la vitesse angulaire ω diminue pour compenser, et inversement.

Application : le retournement du chat en rotation libre (on considère qu'aucune force extérieure n'intervient)



Départ : mouvement de rotation nul, donc moment angulaire J nul

1. Replie les pattes avant : r ↘ d'où I ↘ d'où ω ↗ car $\vec{J} = \omega\vec{I}$ = cste et allonge les pattes arrières : r ↗ d'où I ↗ d'où ω ↘ car $\vec{J} = \omega\vec{I}$ = cste

csq : la partie avant du corps tourne le plus vite. Les pattes avant viennent vers nous, les pattes arrières vont dans l'autre sens pour garder un moment angulaire total constant.

2. Puis, déploie les pattes avant : r ↗ d'où I ↗ d'où ω ↘ car $\vec{J} = \omega\vec{I}$ = cste et replie ses pattes arrières r ↘ d'où I ↘ d'où ω ↗ car $\vec{J} = \omega\vec{I}$ = cste

csq : la partie arrière du corps tourne plus vite que la partie avant

Arrivée : sur ses pattes ☺

→L'orientation du chat peut être modifiée sans variation de son moment angulaire total !

Pour visualiser le truc vous pouvez allez voir la petite vidéo du prof : tapez « **Slow Motion Flipping Cat Physics** » sur youtube ☺

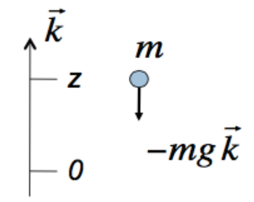
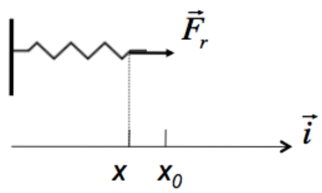
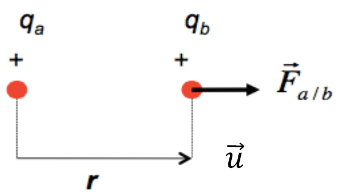
III. Le formalisme du potentiel

A. Travail d'une force

Le travail d'une force W_{AB} correspond à l'énergie fournie pour déplacer un objet d'un point A à un point B.
W s'exprime en Joules (1 J = 1N.m)

$W_{AB} > 0$: travail moteur
$W_{AB} < 0$: travail résistant

Elle est dite **conservative si W ne dépend que des points de départ et d'arrivée** (ex : force de pesanteur, force de rappel d'un ressort, force de Coulomb). Si W dépend du chemin suivi, elle est dite non conservative (ex : forces de frottement)

	FORCE DE PESANTEUR	**FORCE DE RAPPEL D'UN RESSORT** (déformation élasrique)	**FORCE DE COULOMB**
FORCE	$\vec{F} = -mg\vec{k}$ m : masse (kg) g : constante de pesanteur ($m.s^{-2}$)	$\vec{F_r} = -kx\ \vec{\imath}$ k : constante de rappel du ressort ($N.m^{-1}$) x : position (m)	$\vec{F} = \frac{kqQ}{x^2}\ \vec{u}$ k : $9.10^9 N.m^2.C^{-2}$ q et Q : charges (C) x : distance qui les sépare (m)
TRAVAIL	W_{AB} = mg $(x_a - x_b)$	$W_{AB} = \frac{k}{2}(x_a^2 - x_b^2)$	$W_{AB} = kQq(\frac{1}{x_a} - \frac{1}{x_b})$
			

B. Energie potentielle

L'énergie potentielle U_p **est une énergie qui dépend de la position de l'objet** dans l'espace.
Dans le cas d'un objet soumis à une force conservative, l'énergie potentielle correspond au travail de la force à une constante près.

$$U_p(x) = W_x + constante$$

ex : pour la force de pesanteur $U_p(x) =$ mg$x$ $+ constante$

Ainsi, entre deux points A et B séparés d'une distance d,

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

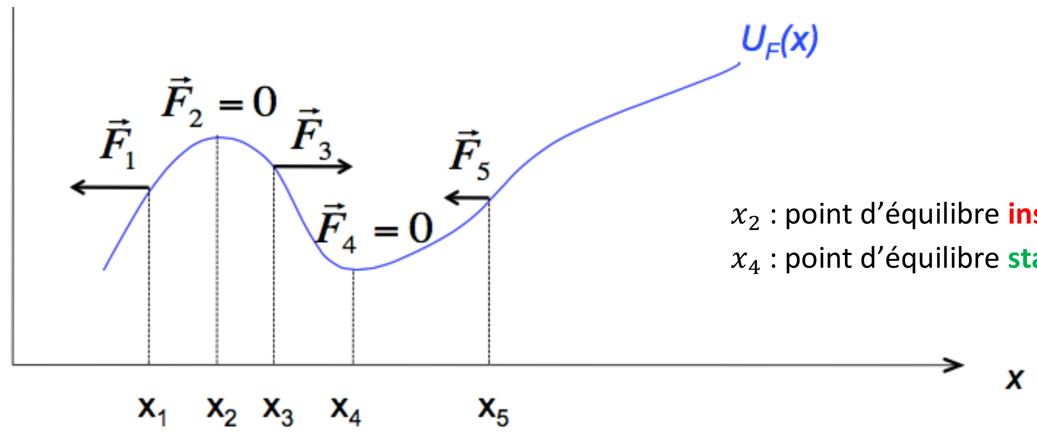
Quelle est la relation entre Force et Energie potentielle ?

En pratique, au niveau expérimental on part des variations d'énergie potentielle pour remonter à la force.

La force est définie comme l'opposée de la dérivée de l'énergie potentielle.

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

ex : Force élastique d'un ressort : $U_F(x) = k\,\frac{x^2}{2} \quad \Rightarrow F_x = -kx$



x_2 : point d'équilibre **instable**

x_4 : point d'équilibre **stable**

On prend un balle :

- En x_2 : F_1 *et* F_3 *s'opposent au retour de la balle en* x_2 → **Maximum d'énergie potentielle**
- En x_4 : F_3 et F_5 facilitent son retour en x_4 → **Minimum d'énergie potentielle**

C. Energie cinétique (Ec) et mécanique (Em)

$Ec = \frac{1}{2}mv^2$

$E_m = E_C + U = \frac{1}{2}mv^2 + U$ dans le cas où les forces sont conservatives. Dans le cas de frottements, l'énergie est perdue sous forme de chaleur, cette équation n'est plus valable.

Théorème de l'énergie cinétique :

La variation d'E_C entre les positions A et B est égale au travail des forces des forces extérieures entre ces deux positions :

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

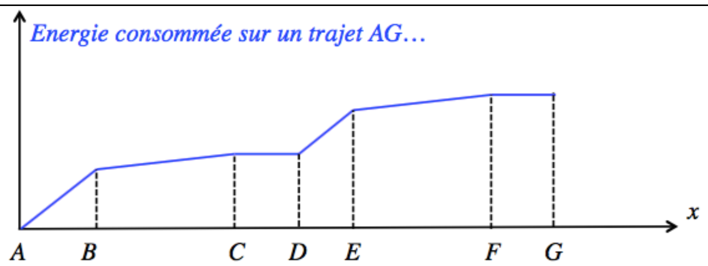
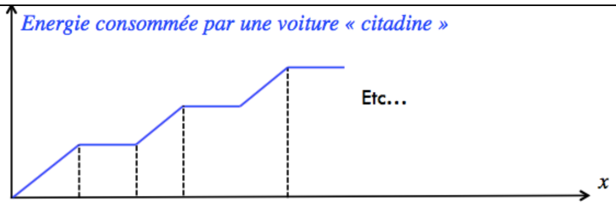
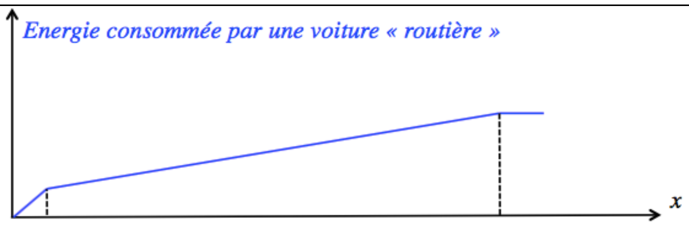
Application à la circulation routière :

<u>3 forces</u> agissent sur un véhicule en mouvement :

- **Force motrice** (exercée par le moteur sur le véhicule)
- **Force de frottement** qui comprend : <u>forces de frottement sec</u> (entre les pièces du moteur), celles <u>entre les pneus et la route</u> et et les <u>forces de frottement de trainée</u> (proportionnelle à v^2).
- **Force conservatives** : essentiellement la force de pesanteur

Ainsi, $W_{AB}^{(mot.)}$ dépend essentiellement de la dépense énergétique utilisée pour compenser les pertes d'énergie due aux forces de frottement ainsi que de l'énergie dépensée dans les accélération/freinage successifs :

$$W_{AB}^{(mot.)} = E_{AB}^{(méca)} + \left|W_{AB}^{(frott.)}\right|$$

 *AB* : phase d'accélération *BC* : déplacement à vitesse constante *CD* : phase de décélération *DE* : accélération, etc…	AB : accélération, frottements négligeables : $\boldsymbol{W_{AB}^{(mot.)} \simeq E_{AB}^{(méca)} = \frac{1}{2}mv_b^2}$ BC : maintient de la vitesse constante $\boldsymbol{W_{AB}^{(mot.)} = \left\|W_{AB}^{(frott.)}\right\|}$ CD : arrêt, pas de consommation d'énergie $W_{AB}^{(mot.)} = 0$
 	<u>Ville :</u> consommation influencée ++ par les accélérations, <u>vitesse et masse</u> influent → on privilégie des <u>véhicules légers</u>
 	**Autoroute :** consommation due essentiellement aux frottements → on joue sur le **coefficient aérodynamique** et la **surface apparente**

Dans les deux cas <u>l'énergie consommée est proportionnelle **au carré** de la vitesse</u>.

IV. Conduction électrique

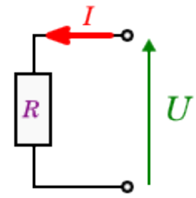
A. Isolants et conducteurs

<u>Isolants :</u> matériaux ne disposant **pas de charges électriques libres** mais **sujets au phénomène de polarisation** si on leur applique un champ électrique.

<u>Conducteurs :</u> matériaux **possédant des charges libres** pouvant donc faire passer le courant. (ex : la plupart des métaux)

B. Loi d'Ohm

Loi d'Ohm décrit le phénomène du déplacement de charges électriques dans un élément conducteur sous l'effet d'une différence de potentiel (ddp) :



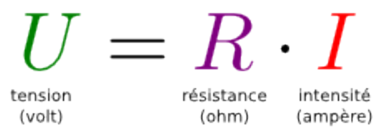
$$U = RI$$

U : tension (Volt V) ; R : résistance (Ohm Ω) ; I : intensité (Ampère A)

Chaque conducteur est caractérisé par une résistance qui lui est propre

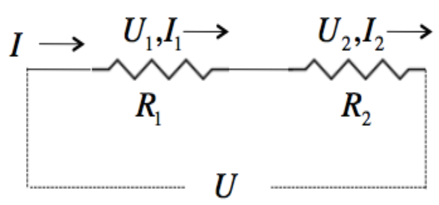
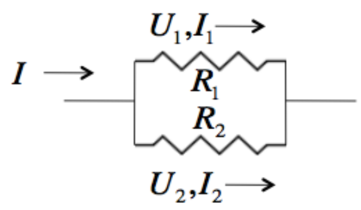
$$R = \frac{l}{S}\rho$$

l : longueur du conducteur ; S : section ; ρ : résistivité électrique



et qui **s'oppose au passage des charges** dissipant l'énergie sous forme de chaleur.

Ainsi, la puissance électrique consommée correspond à cette énergie : $P = UI = RI^2$

Résistances en série	Résistance en parallèle
 $R_{tot} = R_1 + R_2$	 $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

V. Oscillateurs

Les oscillateurs ont **trois propriétés** :

- Possèdent une **position d'équilibre stable**
- Déplacé de cette position, le système présente des **oscillations périodiques autour de cette position d'équilibre**
- Les oscillations **s'atténuent dans le temps**

Oscillateur harmonique : système dynamique dont l'équation du mouvement peut se mettre sous la forme suivante : $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 x$

ω_0 : cste appelée pulsation propre de l'oscillateur, **intrinsèque au système**, elle ne dépend pas de l'amplitude

$\frac{d^2x}{dt^2}$: accélération de x

Voilà pour cette première fiche qui résume les deux premiers cours de physique ! C'est un cours qui demande d'apprendre beaucoup de formules, donc plus vite vous les voyez et les apprenez, plus vite vous aurez de facilité à jongler avec ces formules qui reprennent quand même pas mal d'éléments de terminale ! Petit dédicace à Eva, Amélie, Oksana, Adel, Emma, Daniel, Quentin, Bastien, Charlène et toute la clic' ! Bossez l'UE3a, elle vous le rendra !