ENERGIE - THEOREME ENERGIE PUISSANCE

Jean-Charles DEVIGNE
Sur un document de Nicolas ROUYAU

Théorème de l’Energie-Puissance :

- Energie : définition
- Formes d’énergie
- Ordres de grandeur
- Puissance et énergie
- Rendement et efficacité énergétique
- Théories

Energie

Le mot « énergie » vient du grec *energeia* qui signifie « force en action ». L'énergie est une capacité à transformer un état. Dans le sens commun l'énergie désigne tout ce qui permet d'effectuer un travail, fabriquer de la chaleur, de la lumière, de produire un mouvement.
En mécanique, on parle de travail.

c'est un peu une monnaie d'échange commune entre les phénomènes physiques. Ces échanges sont contrôlés par les lois et principes de la physique.

L'unité officielle de l'énergie est le Joule (J) mais on lui préfère souvent le kilowatt heure (kWh). Ou encore la calorie (Cal)

Formes d’énergie

Formes thermiques :

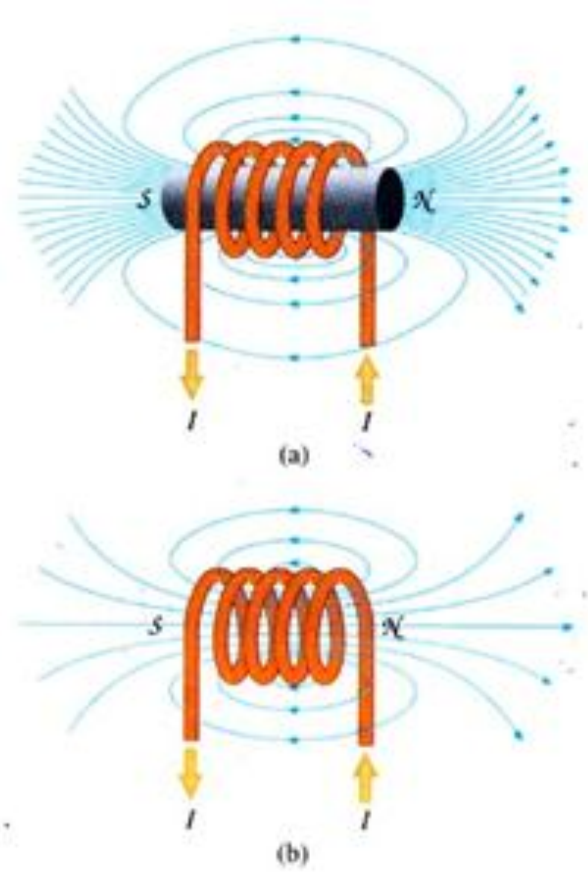
Formes électriques :

Formes mécaniques :

Formes chimiques :

Formes d’énergie

Formes magnétiques:

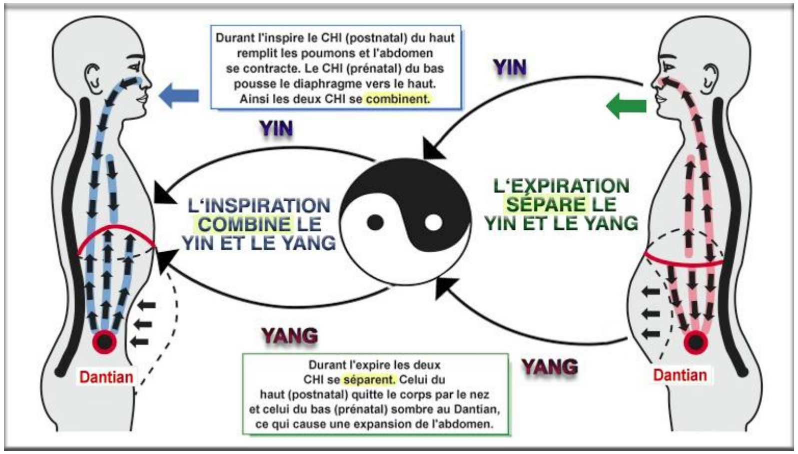


Forme atomiques ou nucléaires :

Formes d’énergie

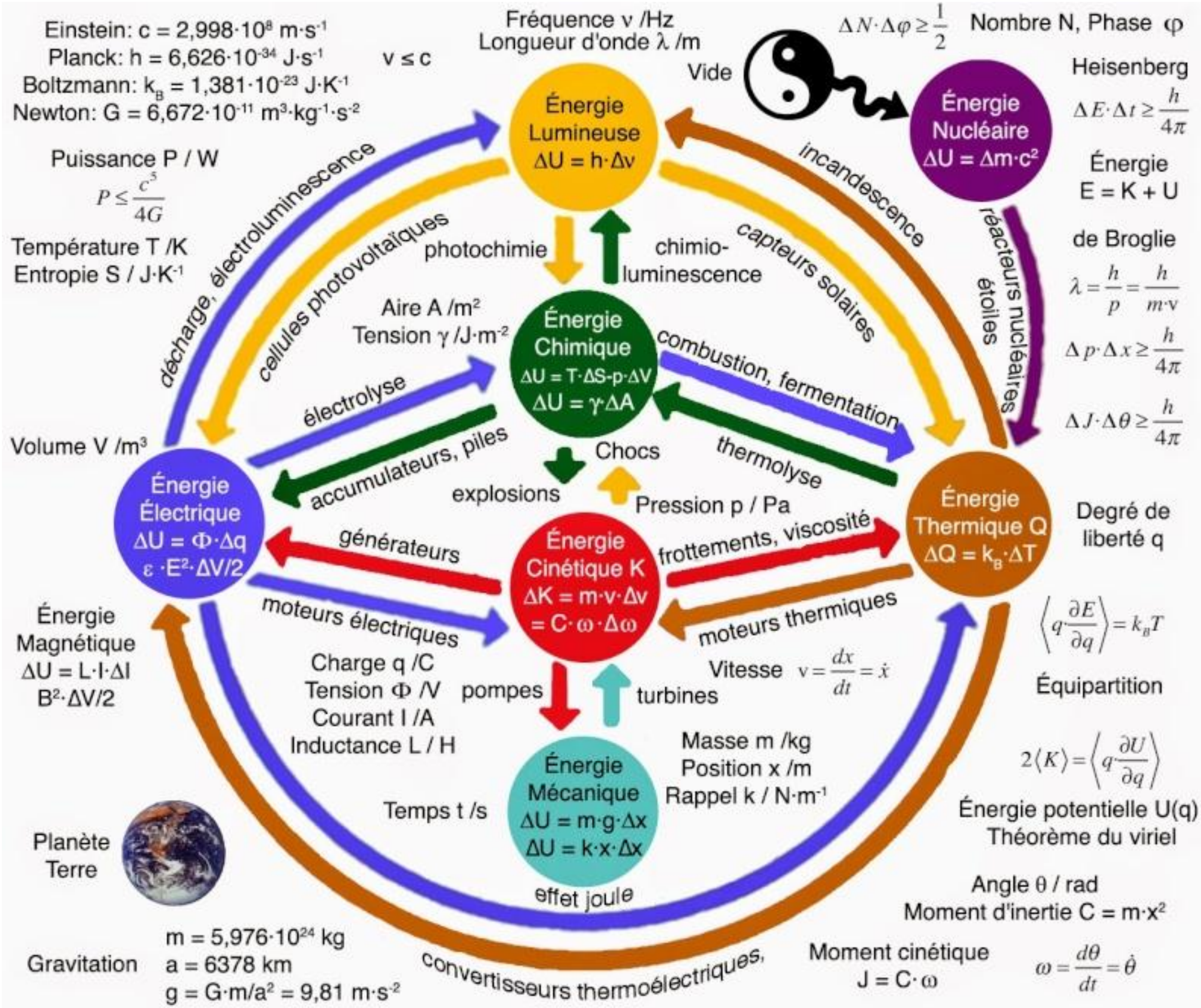
Animale

Vitale, le Chi



https://www.youtube.com/watch?v=JiecP4Osd7U

Transformation de l'énergie



Matière et énergie

Un kg de matière contient 0,5 mg de masse d'électrons. L'énergie correspondante est de 50 milliards de Joules. Soit l'énergie d'une très grosse centrale nucléaire durant un bon moment!

RENDEMENTS

Conversion de la masse en énergie selon les cas

10^{-9}	= 1 milliardième	Combustion du charbon ou du pétrole.
10^{-3}	= 0,1 %	Réacteurs à fission.
5 10^{-3}	= 0,5 %	Réacteurs à fusion, tant attendus.
10^{-2}	= 1 %	Bombe nucléaire.
1	= 100 %	Matière et antimatière en contact. La loi de conversion $E = m.c^2$ s'applique complètement.

1 kg d'antimatière donnerait l'énergie d'un jour pour les États-Unis.
Les antiprotons seraient suffisants pour propulser une fusée.
1 g d'antimatière produirait autant d'énergie que la bombe d'Hiroshima.
1 mg vaudrait 2 tonnes de pétrole.
http://villemin.gerard.free.fr/Science/Relmatie.htm

Puissance et énergie.

Définition :
La puissance est l'énergie fournie d'un système à un autre par unité de temps.

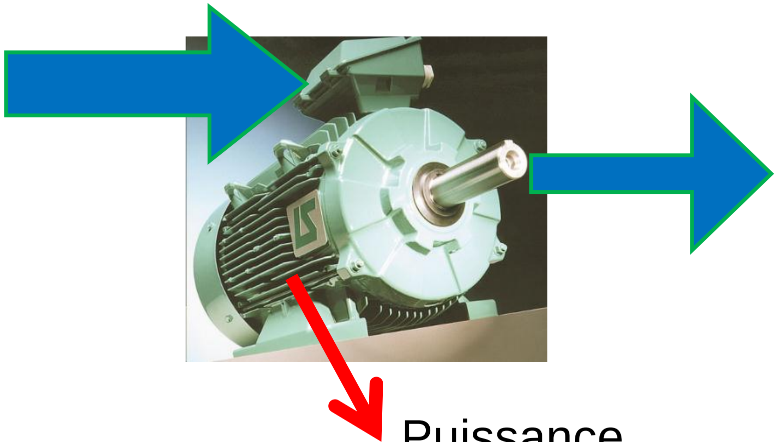
La puissance correspond donc à un débit d'énergie *: deux systèmes de puissance différente pourront fournir le même travail (la même énergie), mais le système le plus puissant sera le plus rapide.*

La puissance devrait donc s'exprimer en Joules/seconde ou en kWh/h
Par simplification l'unité de puissance est donc le Watt (W) 1W=1J/s
On peut aussi exprimer la puissance en Chevaux vapeur (HP) 1HP=736 W

Rendement et efficacité énergétique.

Le rendement est le ratio entre l’énergie absorbée et l’énergie restituée par un convertisseur d’énergie.

Puissance
électrique
absorbée



Puissance
mécanique
restituée

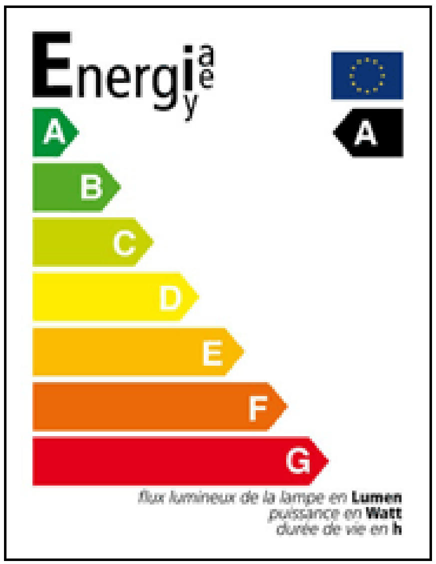
Puissance
perdue
(chaleur)

Le rendement est un nombre sans dimension.
Il est compris entre 0 et 100%.

Rendement et efficacité énergétique.

L'efficacité énergétique rend compte de l'énergie nécessaire pour rendre un service donné.

Exemple, l'efficacité lumineuse d'une lampe



Puissance électrique absorbée En Watt

Flux lumineux émis en Lumens

Efficacité lumineuse en lumens par watts

Energie - Théorème

Le théorème de l'énergie cinétique est une autre façon d'aborder la résolution d'un problème de dynamique ; le principe fondamental nous permet de connaître, après avoir isolé un solide ou un système de solides, les actions dans les liaisons, les trajectoires, l'évolution des paramètres de position. Le théorème de l'énergie cinétique, lui, nous permettra de trouver rapidement les équations de mouvement, mais ne nous permettra pas de déterminer les autres inconnues.

Energie - Théorème

Théorème de l'énergie cinétique

$\rightarrow$ équation de mouvement.

PFD $\rightarrow$ inconnues aux liaisons

Rappels

Principe de conservation de la masse (utilisé dans les démonstrations):

Si F est une fonction de P et de t :

on admet que :

$$\int (df(P,t)/dt) \, dm = d \left(\int f(P,t) \, dm \right) dt$$

Rappels

Pour un système mécanique E = {S1 + S2 + …} en mouvement dans Rg repère galiléen :

Le théorème de la résultante dynamique (1) s'écrit :

$\sum \mathbf{F\ ext \rightarrow E} = m\, \Gamma\mathbf{(G/Rg)} = m1\ \Gamma\mathbf{(G1/Rg)} + m2\ \Gamma\mathbf{(G2/Rg)} + \dots$

Le théorème du moment dynamique (2) s'écrit :

$\sum \mathbf{Mts_A\ ext \rightarrow E} = \delta_A\mathbf{(E/Rg)} = \delta_A\mathbf{(S1/Rg)} + \delta_A\mathbf{(S2/Rg)} \dots$

Le principe fondamental de la dynamique (3) s'écrit donc :

$$\{\ \mathcal{F}\ (ext \rightarrow S)\ \} = \{\ \mathfrak{D}\ (S/Rg)\ \} = \{\ \int \Gamma\mathbf{P/Rg}\ dm\ ;\ \int \mathbf{AP} \wedge \Gamma\mathbf{P/Rg}\ dm\ \}$$

Calcul du moment cinétique et du moment dynamique d'un solide S :

$$\delta_A\mathbf{(S/Rg)} = d\ [\sigma_A\mathbf{(S/Rg)}\ /\ dt\ ]_{Rg} + m\ \mathbf{VA/Rg} \wedge \mathbf{VG/Rg} \qquad (4)$$

$$\sigma_A\mathbf{(S/Rg)} = \int (\ \mathbf{AP} \wedge (\ \Omega\mathbf{S/Rg} \wedge \mathbf{AP}\ )\ + m\ \mathbf{AG} \wedge \mathbf{VA{\in}S/Rg} \qquad (5)$$

Il faut bien noter la différence entre $\mathbf{VA{\in}S/Rg}$ et $\mathbf{VA/Rg}$

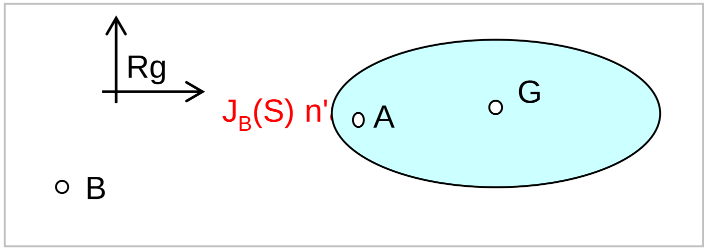
Dans un problème plan xy, de normale z , si $\mathbf{\Omega}$S/Rg = θ° **z**, alors

$$\int (\mathbf{AP} \wedge (\mathbf{\Omega S/Rg} \wedge \mathbf{AP}) = J_{\mathbf{Az}}\,(\mathbf{S})\ \ \theta°\ \mathbf{z}$$

alors $\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{A}}\,(\mathbf{S/Rg}) = J_{\mathbf{Az}}\,(\mathbf{S})\ \theta°\ \mathbf{z} + m\ \mathbf{AG} \wedge \mathbf{VA{\in}S/Rg}$ (6)

Remarques :

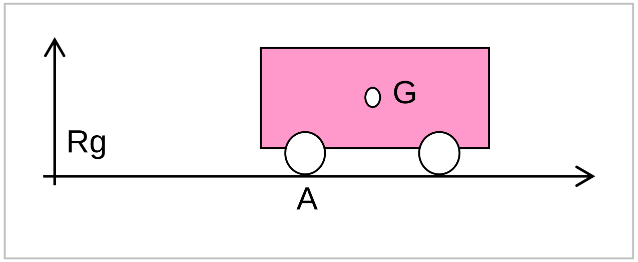
$J_{Az}(S)$ n'a de sens que si A appartient au solide.



Pour un solide S, de centre de masse G, <u>en translation</u>, rectiligne ou non, par rapport à Rg :

$\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{G}}\,(\mathbf{S/Rg}) = \mathbf{0}$.

$\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{G}}\,(\mathbf{S/Rg}) = J_{\mathbf{Gz}}\,(\mathbf{S})\ \theta°\ \mathbf{z} + \mathbf{m\ GG} \wedge \mathbf{VG{\in}S/Rg}$ **(6)**



Energie cinétique d'une particule

Pour une particule P, de masse m, l'énergie cinétique, c'est l'énergie emmagasinée par la particule P de masse m à la vitesse v :

$$Ec = ½\, m\, v^2$$

C'est une **entité scalaire**.

Justifions :

Une particule passe d'une vitesse v1 à une vitesse v2 entre les points A1 et A2, sur un axe x. La seconde loi de Newton permet d'écrire :

$F_x = m\, a_x$

$F_x = m\, dv/dt = m\, dv/dx\, dx/dt \Rightarrow F_x\, dx = m\, v\, dv$

En intégrant de A1 à A2, on obtient

$\int_1^2 F_x\, dx$ *(variation de travail, ou d'énergie)* $= m \int_1^2 v\, dv = ½\, m\, v_2^2 - ½\, m\, v_1^2$

L'énergie cinétique d'une **masse élémentaire** est donc $dEc = ½\, dm\, v^2$

Energie cinétique d'un solide

Pour un solide S, constitué de volumes élémentaires de centre P, de masse dm, l'énergie cinétique sera donc :

$$\mathbf{Ec(S/Rg) = \tfrac{1}{2} \int_{(S)} (VP/Rg)^2\ dm}$$

L'énergie cinétique se calcule en faisant le co-moment de deux torseurs, comme le montre la démonstration qui suit :

$$
\begin{aligned}
2\ Ec(S/Rg) &= \int (\mathbf{VP/Rg})^2\ dm \\
&= \int (\mathbf{VA{\in}S/Rg} + \mathbf{PA} \wedge \mathbf{\Omega S/Rg}) \bullet \mathbf{VP/Rg}\ \ dm \\
&= \mathbf{VA{\in}S/Rg} \bullet \int \mathbf{VP/Rg}\ dm + \int \mathbf{PA} \wedge \mathbf{\Omega S/Rg} \bullet \mathbf{VP/Rg}\ \ dm \\
&= \int \mathbf{VA{\in}S/Rg} \bullet \mathbf{VP/Rg}\ dm + \int \mathbf{VP/Rg} \wedge \mathbf{PA} \bullet \mathbf{\Omega S/Rg}\ \ dm \\
&= \mathbf{VA{\in}S/Rg} \bullet \int \mathbf{VP/Rg}\ dm + \mathbf{\Omega S/Rg} \bullet \int \mathbf{AP} \wedge \mathbf{VP/Rg}\ dm
\end{aligned}
$$

On reconnaît le co-moment du torseur cinématique de S dans son mouvement par rapport à Rg, écrit en A, par le torseur cinétique de S dans son mouvement par rapport à Rg, écrit en A.

Energie cinétique d'un solide

On en déduit que l'énergie cinétique d'un solide S en mouvement par rapport à Rg peut s'écrire sous la forme :

$$2\,Ec(S/Rg) = \{\, \mathbf{\Omega S/Rg}\ ;\ \mathbf{VA{\in}S/Rg} \,\} \otimes \{\, \int \mathbf{VP/Rg}\,dm\ ;\ \int \mathbf{AP} \wedge \mathbf{VP/Rg}\,dm \,\}$$

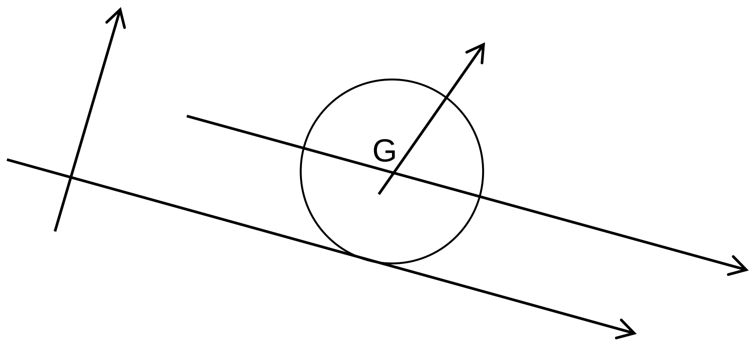
$$2\,Ec(S/Rg) = \{\, \mathcal{V}\, S/Rg \,\} \otimes \{\, \mathcal{C}\, S/Rg \,\}$$

Dans le cas de mouvement plan, en G :

$$Ec(S/Rg) = \tfrac{1}{2}\, m\, (\mathbf{VG/Rg})^2 + \tfrac{1}{2}\, J_G(S)\, (\mathbf{\Omega S/Rg})^2$$

Energie cinétique d'un solide

En application, on peut calculer l'énergie cinétique d'un cylindre de rayon R, d'inertie JGz, de masse M, dévalant sous son propre poids une pente rectiligne d'angle α avec l'horizontale, le long d'une ligne de plus grande pente, en roulant sans glisser avec une vitesse angulaire $\varphi°$. Calculer cette énergie cinétique en G, centre de masse du cylindre, puis en I, point de contact du cylindre avec le plan incliné ; on trouvera bien sur le même résultat car le co-moment ne dépend pas du point de calcul choisi.



$$(Ec(s/Rg) = \frac{1}{2} JGz\, \varphi^2 + \frac{1}{2} M R^2 \varphi^2$$

Unités

•Le **joule** (symbole : **J**) est une unité dérivée du Système international (SI) pour quantifier l'énergie, le travail et la quantité de chaleur[1].

•Le joule étant une très petite quantité d'énergie par rapport à celles mises en jeu dans certains domaines, on utilise plutôt les kilojoules (kJ) ou les calories en nutrition et dans les tableaux de valeur nutritive, et le kilowatt-heure pour mesurer l'énergie électrique ou thermique.

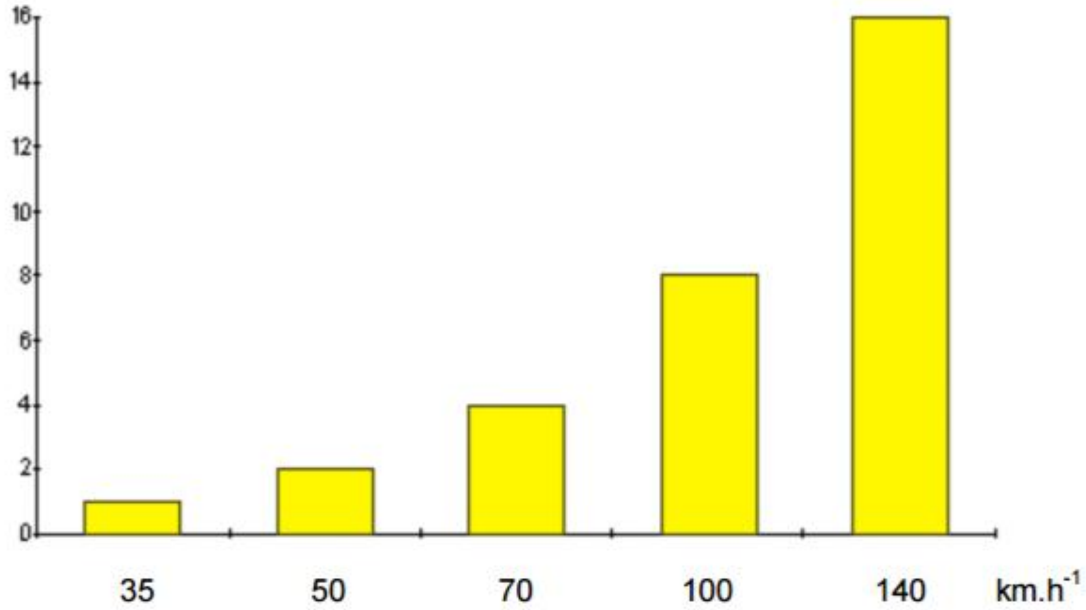
•Un kilojoule vaut 238,85 calories, et une calorie vaut 180/43 = 4,1868 joules[2,3]. Un watt-heure vaut 3 600 joules, et un kilowatt-heure vaut 3 600 kilojoules.

•L'unité doit son nom au physicien anglais James Prescott Joule.

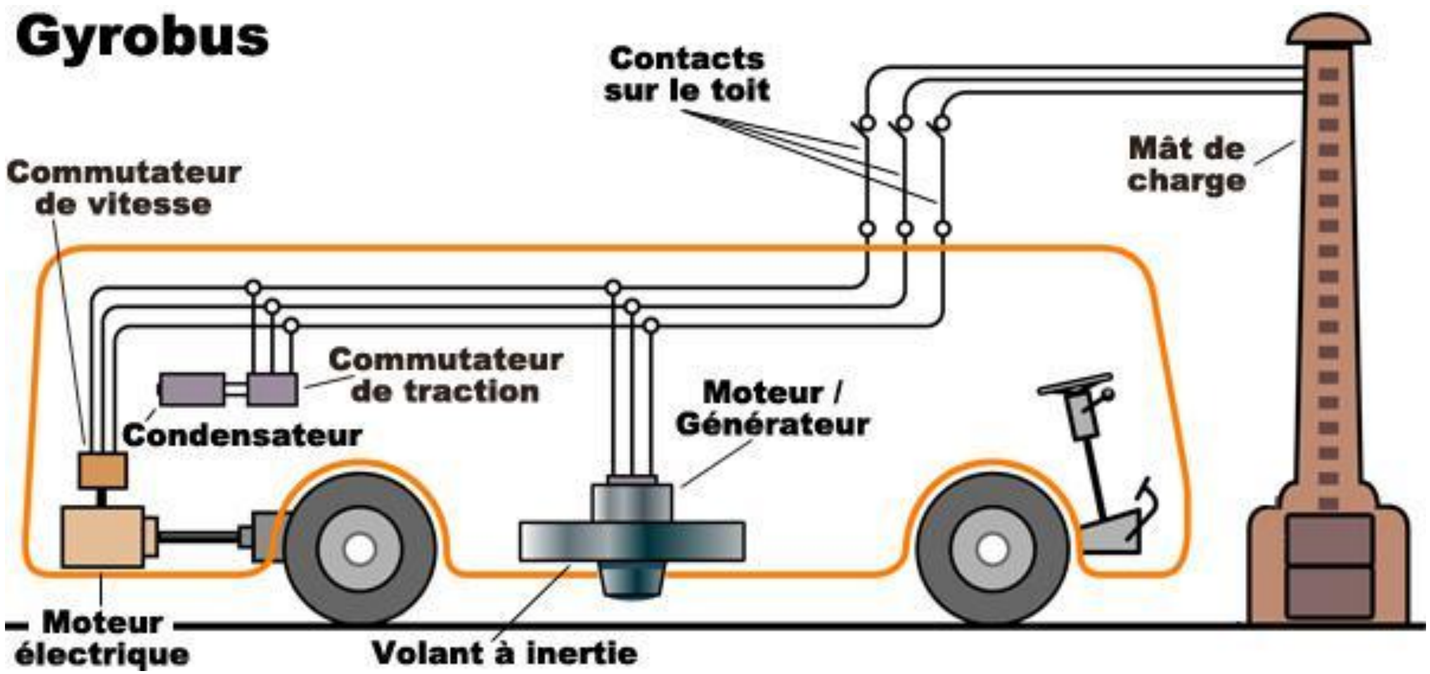
http://www.calculateur.com/energie-cinetique.html

Autrement dit, si la vitesse est multipliée par deux, l'énergie cinétique est multipliée par quatre ; si la vitesse est multipliée par trois, l'énergie cinétique est multipliée par neuf ; si la vitesse est multipliée par quatre, l'énergie cinétique est multipliée par seize, etc.

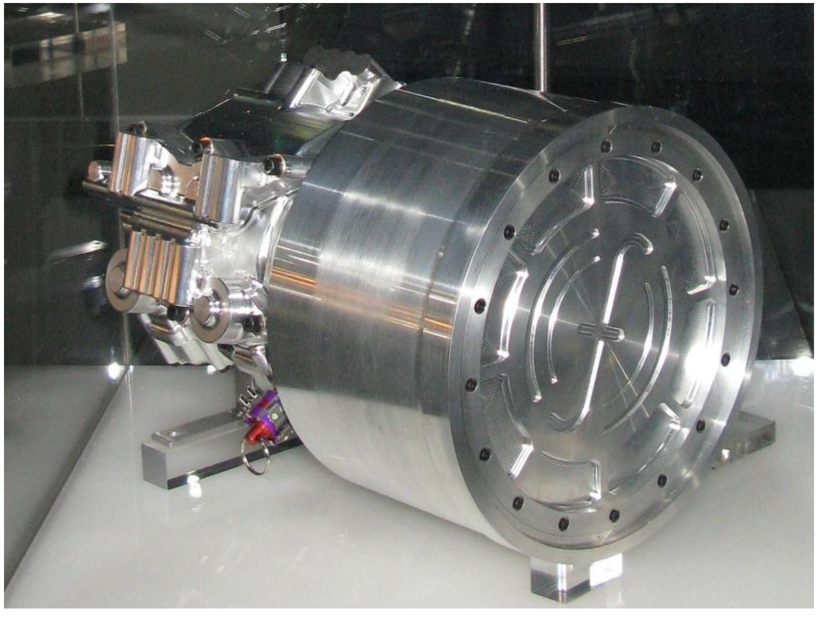
On peut également en déduire que l'énergie cinétique est multipliée par deux quand la vitesse est seulement multipliée par 1,414 puisque $2^{1/2} = 1,414$.



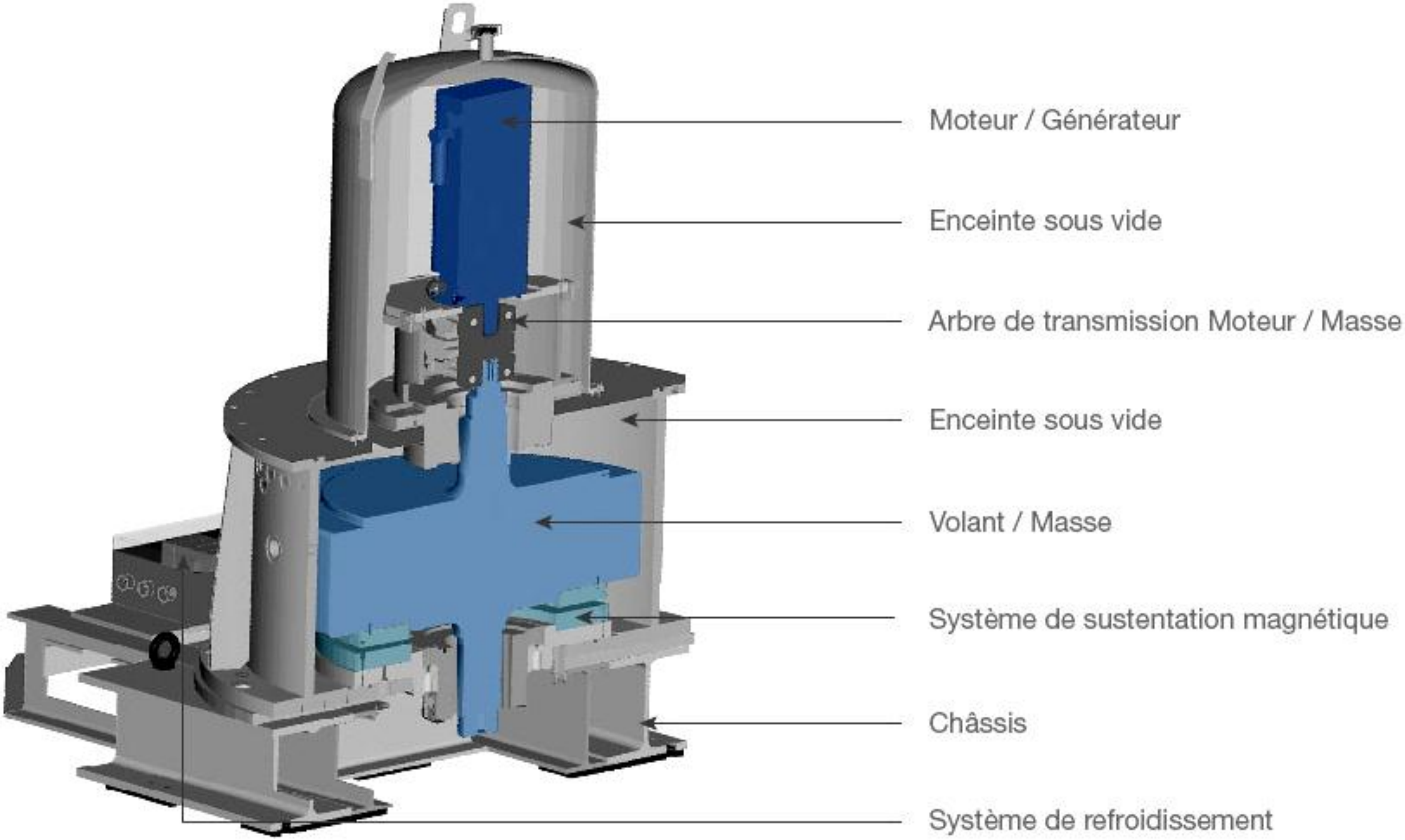
Représentation schématique de l'énergie cinétique en fonction de la vitesse.


Gyrobus
Contacts sur le toit
Mât de charge
Commutateur de vitesse
Commutateur de traction
Condensateur
Moteur / Générateur
Moteur électrique
Volant à inertie

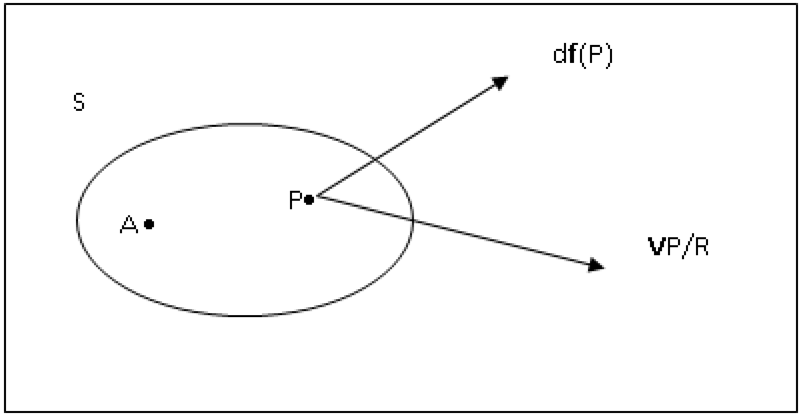
Le système a été introduit en Formule 1 durant la saison 2009. Le SREC permet une récupération d'énergie lors du freinage, que les pilotes peuvent utiliser par la suite (400 kJ maximum par tour) en poussant sur un bouton, déclenchant un afflux supplémentaire de puissance de 80 chevaux pendant 6,67 secondes (ou 40 chevaux pendant 13 secondes) dans les phases d'accélération3.



Les 400 kJ que délivre le SREC à chaque tour représentent l'équivalent en essence de 0,021 litre, soit 1,47 litre par Grand Prix4. En raison de sa masse élevée handicapant l'équilibre général des monoplaces, du coût prohibitif de son développement et de son faible rendement sur la majorité des circuits utilisés en championnat du monde, la plupart des écuries renoncèrent à l'utiliser ou à poursuivre son développement en cours de saison. Seules les écuries Ferrari et McLaren ont utilisé le système pendant la totalité de la saison.



Moteur / Générateur
Enceinte sous vide
Arbre de transmission Moteur / Masse
Enceinte sous vide
Volant / Masse
Système de sustentation magnétique
Châssis
Système de refroidissement

Puissance développée par une action mécanique



Soit le solide S, de masse m.

Isolons S, les forces exercées par l'extérieur sont les **df(P)** appliquées en P.

Soit A un point du solide.

$A \in S$

$$\mathcal{P}(ext \to S/R) = \int \mathbf{df(P)} \bullet \mathbf{VP/R}$$

$$= \int \mathbf{VP/R} \bullet \mathbf{df(P)} = \int (\mathbf{VA{\in}S/R} + \mathbf{PA} \wedge \mathbf{\Omega S/R}) \bullet \mathbf{df(P)}$$

$$= \mathbf{VA{\in}S/R} \bullet \int \mathbf{df(P)} + \int \mathbf{PA} \wedge \mathbf{\Omega S/R} \bullet \mathbf{df(P)}$$

$$= \mathbf{VA{\in}S/R} \bullet \int \mathbf{df(P)} + \int \mathbf{df(P)} \wedge \mathbf{PA} \bullet \mathbf{\Omega S/R}$$

$$= \mathbf{VA{\in}S/R} \bullet \int \mathbf{df(P)} + \mathbf{\Omega S/R} \bullet \int \mathbf{AP} \wedge \mathbf{df(P)}$$

$$\mathcal{P}(ext \to S / R) = \{\mathcal{V}(S/R) \otimes \{\mathcal{F}(ext \to S)\}$$

Quand la puissance est calculée avec le torseur cinématique de S dans son mouvement par rapport à Rg : **V (S/Rg)**, on parle alors de puissance galiléenne.

Dérivée /t de l'énergie cinétique

La dérivée de l'énergie cinétique d'un solide en mouvement par rapport à un repère galiléen Rg est égale à la puissance des actions extérieures exercées sur elle :

$$d\,[\,Ec\,(S/Rg)\,]\,/\,dt \;=\; \mathscr{P}\,(\,ext \rightarrow S\,/\,Rg\,)$$

On le démontre ainsi :

$$d[Ec(S/Rg)]/dt \quad = d[\tfrac{1}{2} \int (\mathbf{VP/Rg})^{2}\, dm] \,/\, dt$$

$$= \tfrac{1}{2} \int d(\mathbf{VP/Rg}^{2}\, dm)/dt$$

$$= \int \mathbf{VP/Rg} \bullet \mathbf{\Gamma P/Rg}\, dm$$

$$= \int \mathbf{\Gamma P/Rg} \bullet (\mathbf{VA{\in}S/R} + \mathbf{PA} \wedge \mathbf{\Omega S/R})\, dm$$

$$= \mathbf{VA{\in}S/R} \bullet \int \mathbf{\Gamma P/Rg}\, dm + \mathbf{\Omega S/R} \bullet \int \mathbf{AP} \wedge$$

$$\mathbf{\Gamma P/Rg}\, dm$$

$$d[Ec(S/Rg)]/dt = \{\mathscr{V}\,(S/Rg)\} \otimes \{\mathscr{D}\,(S/Rg)\} = \{\mathscr{V}\,(S/Rg)\} \otimes \{\mathscr{F}\,(ext{\rightarrow}S)\}$$

Dérivée /t de l'énergie cinétique

$$d\,[\,Ec\,(S/Rg)\,]\,/\,dt = \mathcal{P}\,(\,ext \rightarrow S\,/\,Rg\,)$$

Cette expression constitue le

THEOREME DE L'ENERGIE :

la dérivée par rapport au temps de l'énergie cinétique <u>galiléenne</u> d'un solide S est égale à la puissance <u>galiléenne</u> des actions mécaniques extérieures à S.

Résumé

Pour un solide S, constitué de volumes élémentaires de centres P, de masse dm, **l'énergie cinétique** s'exprime :

$$Ec(S/Rg) = \tfrac{1}{2} \int_{(S)} (VP/Rg)^2 \, dm$$

$$2\, Ec(S/Rg) = \{ \mathcal{V}\; S/Rg \} \otimes \{ \mathcal{C}\; S/Rg \}$$

Pour un solide S, constitué de volumes élémentaires de centres P, de masse élémentaire dm, la puissance **galiléenne** s'exprime

$$\mathcal{P}(ext \to S/R) = \int df(P) \bullet VP/R$$

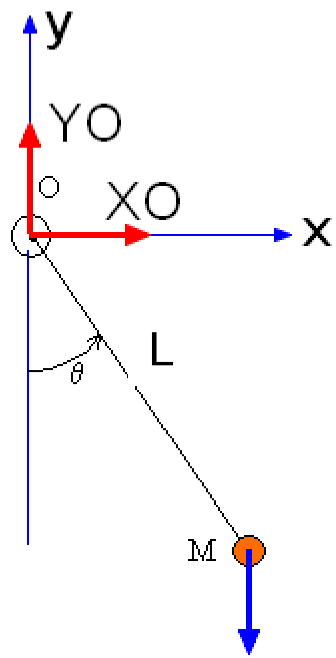
$$\mathcal{P}\,(ext \to S \,/\, Rg) = \{\mathcal{V}\,(S/Rg) \;\otimes \{ \mathcal{F}\,(ext \to S) \}$$

Le théorème de l'énergie s'énonce alors :

$$d[Ec(S/Rg)]/dt = \mathcal{P}(ext \to S/Rg)$$

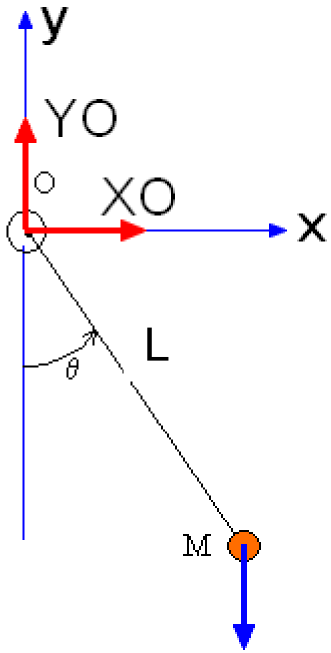
La dérivée de l'énergie cinétique d'un solide est égale à la puissance galiléenne des actions qui s'appliquent à ce solide

Exercice 1 : le pendule simple.



$$\overrightarrow{MO} = L\,\overrightarrow{y1}$$

Exercice 1 : le pendule simple.

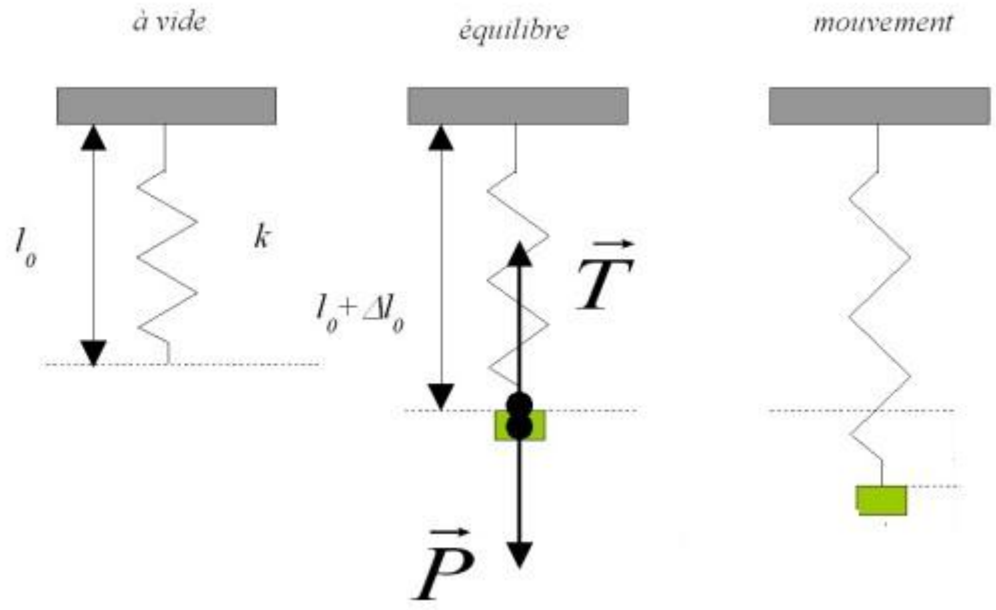


$\overrightarrow{MO} = L\,\overrightarrow{y1}$

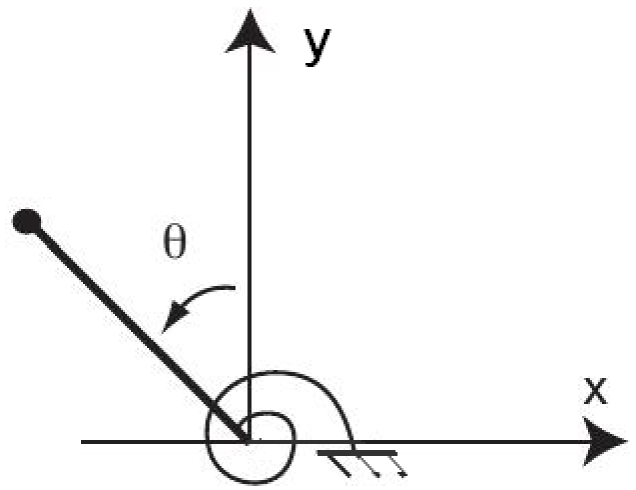
On écrit l’énergie cinétique ½ M R² θ°²
On dérive l’énergie cinétique M R² θ° θ°°
On écrit la puissance du poids – L M θ° g sinθ

M R² θ°° + L M g sinθ = 0

Exercice 2 : le ressort



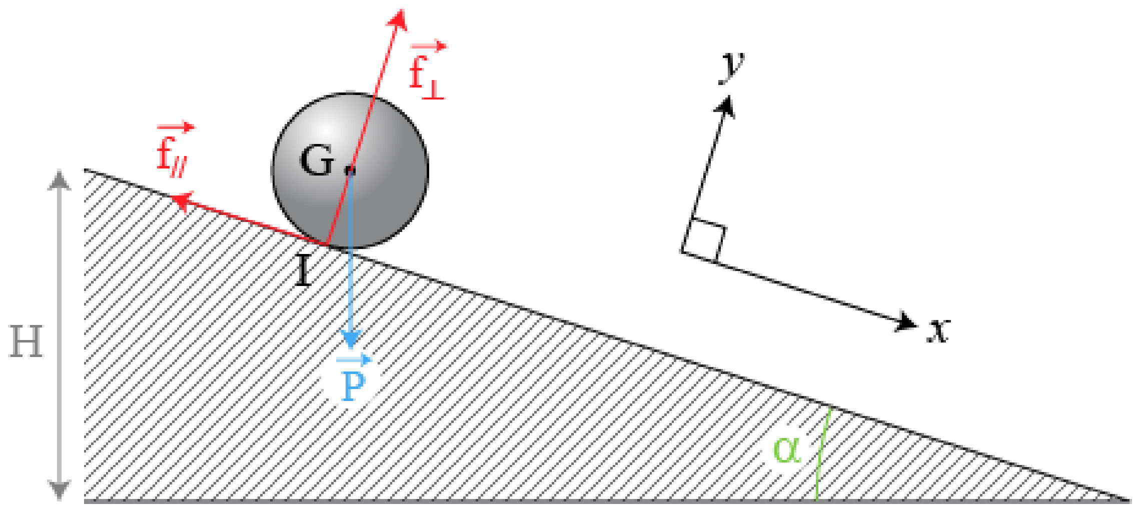
Exercice 3 : pendule de torsion



Masse M
Inertie Ioz
Pivot en O
Couple de rappel Cr (N.m/rd)
Frottement visqueux f (N.m.s/rd)

Ecrire l'énergie cinétique.
Ecrire la puissance des actions extérieures.
Déterminer l'équation différentielle du mouvement.
Cas de petites oscillations.

Exercice 4 : bille qui roule



Masse M
Inertie Ioz
Contact RSG en I

Ecrire l’énergie cinétique.
Ecrire la puissance des actions extérieures.
Déterminer l’équation différentielle du mouvement.
Cas de petites oscillations.