Mini-projet de Physique :

Le ressort linéaire et le ressort spiral

GANA Malek-Mahmoud & ATAKOUI Yann Loïc Aero 1PG1

Octobre-Novembre 2019

Sommaire :

1ère PARTIE : Généralités sur les ressorts

Introduction :
Dans ce mini-projet, nous avons étudié 2 types de ressorts : les ressorts linéaires et les ressorts spirales. L'objectif de ce projet est d'étudier les caractéristiques de ces deux types de ressorts, notamment, leur capacité à reprendre leur forme d'origine suite à un étirement (allongement), et les différentes forces qui entrent en jeu lors du phénomène.

1.1 Observations

Définition : Un ressort est un dispositif mécanique qui absorbe de l'énergie mécanique, produit un mouvement, ou exerce un effort en utilisant ses propriétés élastiques.

Un ressort peut se définir comme un corps élastique capable de supporter des déformations plus ou moins importantes suite à l'action d'une force (ou d'un couple de force) et qui peut reprendre sa forme initiale après avoir été plié, tendu, comprimé ou tordu par ces forces.

Un ressort, soumis à une force de traction s'allonge. Dès que cette force cesse d'agir, le ressort reprend sa forme initiale, sauf si l'effort appliqué est trop élevé. Dès lors, on observe une déformation permanente de celui-ci.

Dans notre vie quotidienne, il existe de nombreux objets élastiques :

-Suspensions d'une voiture

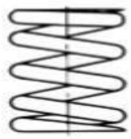
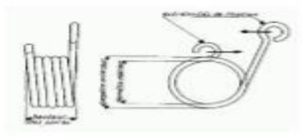
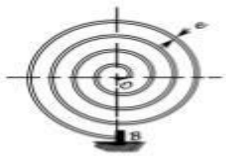
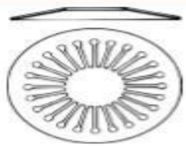
-Une lame (scie, couteau, rasoir…)

-Certains tissus

-Du gaz

-Un ballon, une balle

1.2 Différents types de ressorts

Ressort conique	Ressort de compression
	
Ressort hélicoïdal	**Ressort de traction**
	
Ressort spiral	**Ressort en lames**
	
Ressort en coupelles	**Ressort en fil**
	

-

2ème PARTIE : LES RESSORTS LINEAIRES

2.1 Etude de la force de rappel ou tension d'un ressort

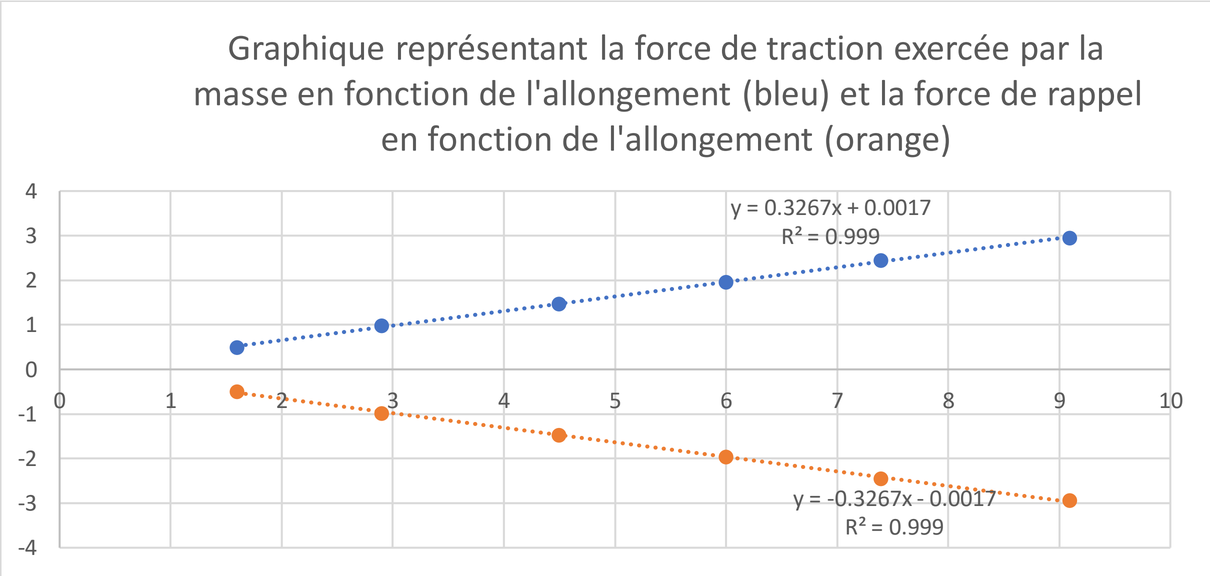
1) Pour que le système soit en repos, il faut que les forces extérieures se compensent.
   Cela implique : $\sum \overrightarrow{Fext} = \vec{0}$

$$<=> \vec{F} + \vec{P} = \vec{0}$$

2) On fait varier la masse suspendue au ressort afin de constater l'allongement du ressort en fonction de la force de traction qui lui est appliqué. Les résultats de l'expérience sont reportés dans le tableau ci-dessous :

masse (kg)	10^-3	50	100	150	200	250	300
allongement l (m)	10^-2	1,6	2,9	4,5	6	7,4	9,1
incertitude absolue dm (kg)		0,5	1	1,5	2	2,5	3
incertitude relative dm/m (%)		1	1	1	1	1	1
force de traction F (N)		0,4905	0,981	1,4715	1,962	2,4525	2,943
incertitude absolue dF (N)		0,004905	0,00981	0,014715	0,01962	0,024525	0,02943
incertitude relative dF/F (%)		1	1	1	1	1	1
incertitude absolue dx (m)		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
incertitude relative dx/x (%)		6,25	3,448276	2,222222	1,666667	1,351351	1,098901
force de rappel (N)		-0,4905	-0,981	-1,4715	-1,962	-2,4525	-2,943

3) Et 4)



5) La constante de raideur k correspond au coefficient directeur de la droite représentant la force en fonction de l’allongement.

   $F = k.x$ D’où $k = \frac{F}{x}$

   D’après l’équation de la courbe de tendance de F en fonction de x on a

   y= 0,3267x + 0,0017

   Donc on peut dire que K= 0,3267*10^2 ≈ 32 N/m

   Cela correspond à la force nécessaire pour allonger ou comprimer le ressort sur un mètre.

6) Le solide est à l’équilibre $\vec{F} + \vec{P} = \vec{0}$.

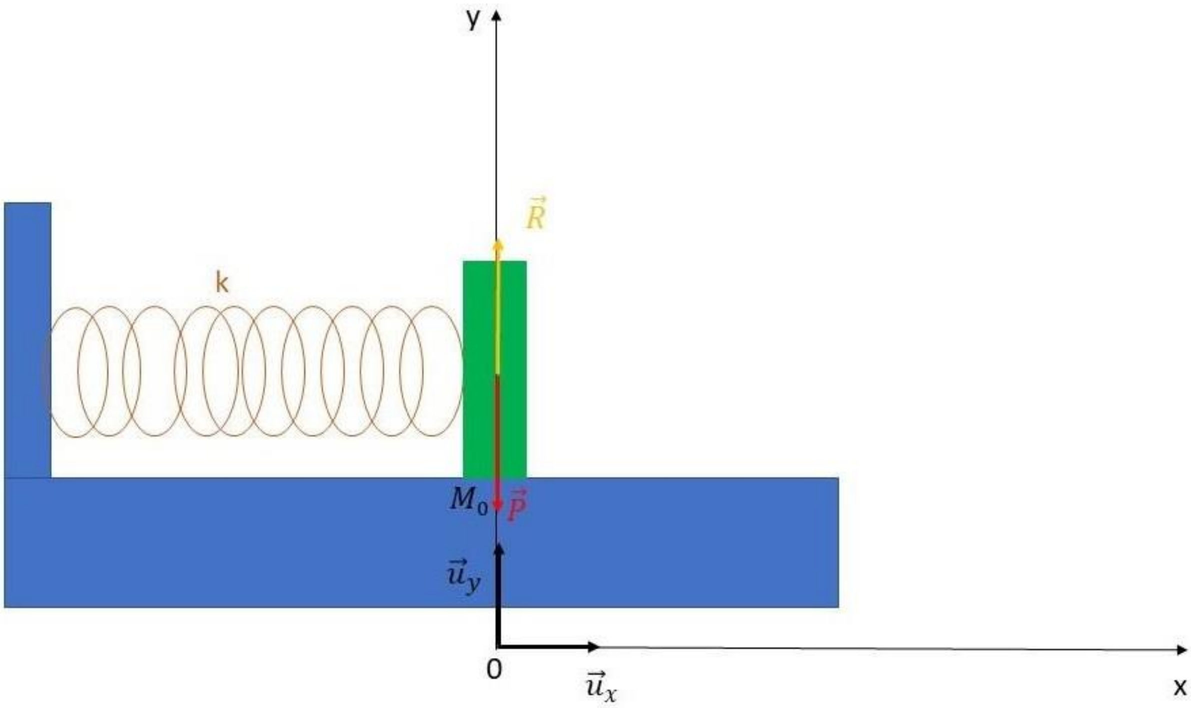
   Alors $\vec{F} = -\vec{P}$

   On sait aussi que : $\vec{F_R} = -\vec{F}$

   D’où : $\vec{F_R} = -kx\overrightarrow{u_x}$

2.2 Etude du travail d'une force

1)



D'après l'énoncé, on néglige les forces de frottements ;
Au repos, le solide est soumis à deux forces qui s'équilibrent : la réaction du support et le poids, qui ont ces propriétés :

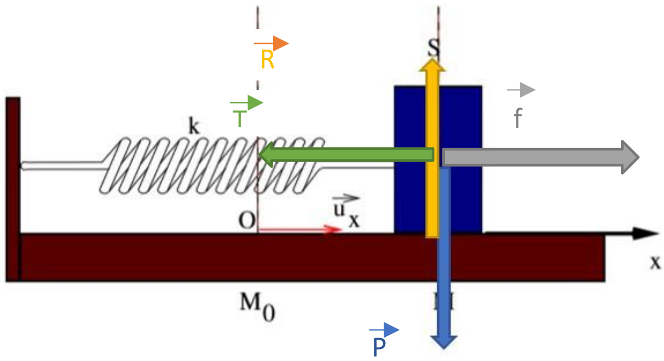
- Le poids $\vec{P}$:
  - Appliqué en G, centre de gravité du solide
  - direction verticale
  - sens vers le bas
  - valeur $\vec{P}$ = m.$\vec{g}$

- La réaction (normale) $\vec{R}$:
  - Appliquée au point de contact entre le solide et le support
  - direction verticale
  - sens vers le haut
  - valeur $\vec{R}$ = -$\vec{P}$

On obtient donc que la somme des forces extérieures est égale à :

$$\vec{F} + \vec{P} = \vec{0}$$

2)



<u>Bilan des forces</u>

Le mouvement est rectiligne uniforme car d'après l'énoncé, la vitesse est constante.

Au point M le solide est à l'équilibre car, la force de traction et la force de rappel se compensent.
Quand M est à l'équilibre, le bilan des forces est :

$\vec{P}+\vec{R}+\vec{f}+\vec{T}=\vec{0}$
On sait que P et R se compensent ; Donc $\vec{P}+\vec{R}=\vec{0}$

D'où : $\vec{0}+\vec{F}+\vec{T}=\vec{0}$

$\vec{f}=-\vec{T}$

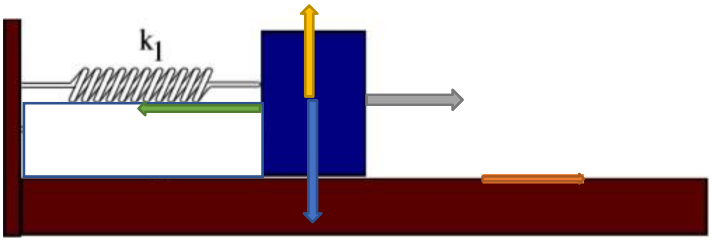
$\vec{f} =-(-kx\vec{u}_x)$

$\boldsymbol{\vec{f}= kx\vec{u}_x}$

3) À vitesse constante : $\overrightarrow{P} + \vec{R} + \vec{T} + \overrightarrow{f'} = \vec{0}$

L'équilibre s'explique par la compensation des forces de rappel $\boldsymbol{T}$ et de compression f.

On retrouve la même expression que lors de l'étirement car x est maintenant négatif et le mouvement est donc opposé.



force de traction : F →   force de rappel : T ←

<u>Schéma des forces s'exerçant sur le solide lors d'une compression à vitesse constante</u>

4) La formule utilisée pour calculer le travail d'une force f sur un déplacement M_oM est habituellement W = f. M_0 M. Or, pour pouvoir appliquer cette formule, il faut que la force f soit constante sur chaque point du segment. Dans le cas étudié, f n'est pas constante car d'après sa formule $\overrightarrow{f} = k.\overrightarrow{u\,x}$, la force varie en fonction de l'allongement du ressort. On doit donc utiliser une autre formule.

5) On note l'expression du travail élémentaire δW pour un déplacement élémentaire δx :

$$\delta W = f.dx = kx \,.\, dx$$

6) On détermine le travail qu'il faut fournir pour amener le solide de masse m de la position Mo à la position M :

$$W_{MO \rightarrow M}(\overrightarrow{f}) = \int_{x_{MO}}^{x_M} \delta W$$

$$= \int_{x_{MO}}^{x_M} \mathrm{k}x\mathrm{d}x$$

$$= \int_{x_{MO}}^{x_M} x'\mathrm{d}x$$

$$= [\frac{1}{2}\mathrm{k}x^2]\int_{x_{MO}}^{x_M}$$

$$= (\frac{1}{2}\mathrm{k}\,x_M{}^2 - \frac{1}{2}\mathrm{k}\,x_{Mo}{}^2)$$

$$= (\frac{1}{2}\mathrm{k}\,x_M{}^2)$$

$$= (\mathrm{k}\,\frac{(M_oM)^2}{2})$$

7) Pour la force de rappel, c'est le même travail mais dans l'autre sens.

$\delta W' = \vec{T}.\overrightarrow{dx}$ = - kx . dx car $\vec{T}$ = -kx

D'où $W_{Mo\rightarrow M}(\vec{T}) = -W_{Mo\rightarrow M}(\vec{f})$

$$= -(\mathrm{k}\,\frac{(M_oM)^2}{2})$$

8) $W_{Mo\rightarrow M}(\vec{f}) + W_{Mo\rightarrow M}(\vec{T}) = 0$

On a donc: la somme des travaux des forces qui agissent sur le solide est nulle, cela est en adéquation avec le théorème du travail et de l'énergie cinétique :

$\Sigma Wf = \Delta Ec = Ecf - Eco = 0$

2.3 Etude de l'énergie potentielle du ressort

1) Pour le cas où l'énergie potentielle ne dépend que de x, la force de rappel s'écrit sous la forme de l'expression suivante :

$$\vec{T} = -\frac{\delta E_p}{\delta x}\overrightarrow{u_x} = -\mathrm{Ep}'(x)\,\overrightarrow{u_x}$$

2) $\vec{T} = -\frac{\delta E_p}{\delta x}.\vec{u}x \Leftrightarrow T = -\frac{\delta E_p}{\delta x}$

$$\Leftrightarrow -\delta Ep = T.\delta x$$

$$\Leftrightarrow \delta Ep = -T.\delta x$$

$$\Leftrightarrow Ep = -\int_0^x T.dx$$

3) On sait que $\vec{T} = -kx.\overrightarrow{u_x}$, on peut alors trouver la formule de l'énergie potentielle élastique d'un ressort qui est égale à:

Epe= -∫ T.dx

Epe = - ∫ $-kx$.dx

Epe = ∫ kx.dx

Epe = $\frac{1}{2}k\,x^2$

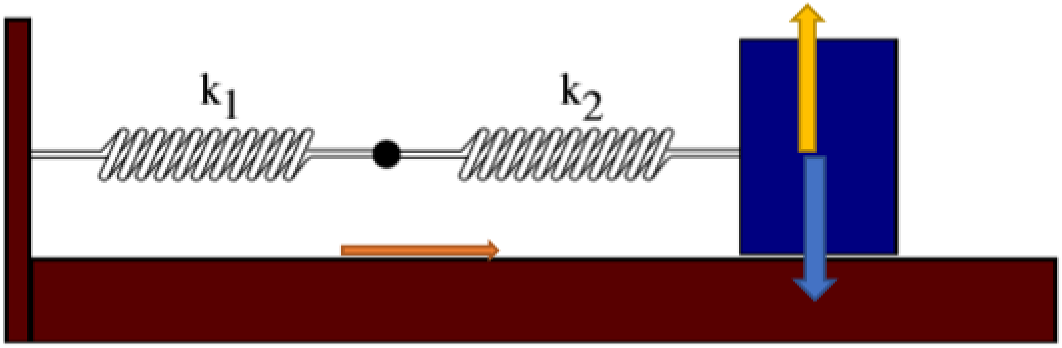
4)

FORCES DERIVANT D'UN POTENTIEL	ENERGIES POTENTIELLES
Force gravitationnelle : $\vec{F}_{A/B} = -G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{u}_{A\to B}$	Energie potentielle gravitationnelle E_{pg} (-GmA. mB)/r
Force de pesanteur : $\vec{P} = -mg\vec{u}_z$	Energie potentielle de pesanteur E_{pp} = m.g.z
Force de Coulomb : $\vec{F}_{A/B} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_A q_B}{r^2}\vec{u}_{A\to B}$	Energie potentielle électrostatique E_{pelec} = q.V
Force de rappel d'un ressort : $\vec{F} = -kx\vec{u}_x$	Energie potentielle élastique E_{pe} = ½ kx2

<u>Tableau des forces dérivant d'un potentiel et de leurs énergies potentielles respectives</u>

2.4 Association de ressorts

1) Ici, on monte 2 ressorts en série (l'un à la suite de l'autre). On cherche alors à déterminer la constante de raideur équivalente K_{eq} des ressorts de constantes respectives K_1 et K_2. On a alors le système suivant :



Le vecteur jaune représente la force de rappel R
Le vecteur bleu représente le poids P qui s'applique dans le sens opposé
Le vecteur orange représente la composante du repère selon x

On sait que

- $\vec{F} = -kx\vec{u_x}$
- $\Delta l = \Delta l1 + \Delta l2$ *et* Δl=x

On peut donc écrire :

$-F/k\text{eq} = -F1/\ k1 - F2/\ k2$

$\Leftrightarrow F/\ k\text{eq} = F1/\ k1 + F2/\ k2$

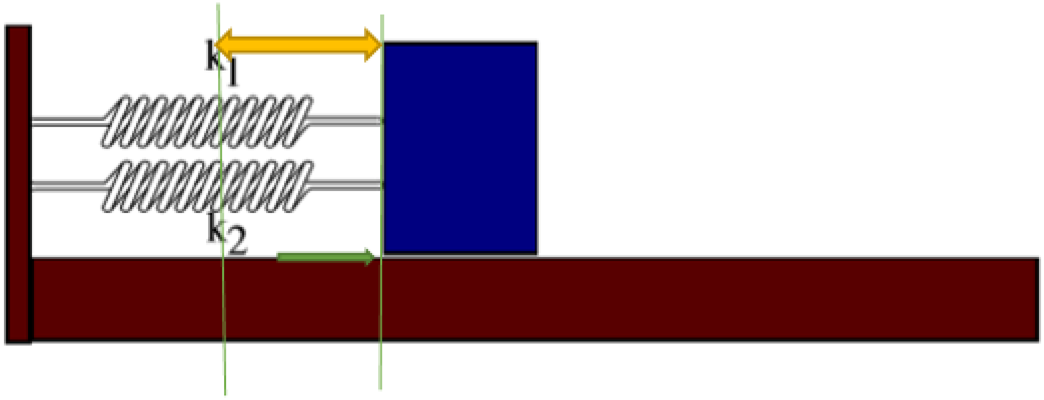
Or: $F = F1 = F2 = 1$

Sous l'action de la contrainte appliquée, les allongements respectifs des ressorts s'additionnent, la constante équivalente de raideur a donc pour expression :

1/keq=1/k1+1/k2

$\boldsymbol{keq} = \boldsymbol{k1}.\boldsymbol{k2}\ /\boldsymbol{k1} + \boldsymbol{k2}$

2) Ici, on place les 2 ressorts en dérivation, comme sur le schéma



Les deux ressorts sont placés en parallèle donc les distances à la masse sont équivalentes (flèche jaune)

Pour trouver la constante équivalente $k$eq en parallèle on sait que:

- $F = F1+F2$

$- k\text{eq}\, \Delta l = -k1\Delta l1 - k2\Delta l2$

$\Delta l = \Delta l1 = \Delta l2 \ \ avec\ \Delta l = x\ et\ \ x1 = x2$

Quand deux ressorts de constante de raideur $k1$ et $k2$ sont placés en parallèle, le poids de la masse impose que l'allongement des 2 ressorts est égal :

$\boldsymbol{Keq} = \boldsymbol{K1} + \boldsymbol{K2}$

3.1- Etude du moment d'une force

1-1- Le moment d'une force est une grandeur physique, qui définit la capacité d'une force à faire tourner un système par rapport à un point. Dans la cadre d'un ressort spirale, l'étude du moment sert à déterminer le couple de forces qui s'exerce sur le ressort.

Le bilan des forces à l'équilibre est donc égal à : $F_1+F_2=0$

$$\overrightarrow{\mathrm{M}_{\vec{\mathrm{F}}/_{\mathrm{O}}}} = \vec{\mathrm{R}} \wedge \vec{\mathrm{F}}$$

$\mathrm{M}_{\vec{\mathrm{F}}/_0} = \mathrm{R.F.}\sin(\vec{\mathrm{R}};\vec{\mathrm{F}}) = \mathrm{F.d}$ sachant que

$\sin(\vec{\mathrm{R}};\vec{\mathrm{F}}) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{R}} \Leftrightarrow \mathrm{d} = \sin(\vec{\mathrm{R}};\vec{\mathrm{F}}).\mathrm{R}$

De plus, à l'équilibre: $\sum \vec{\mathrm{F}} = \vec{0}$

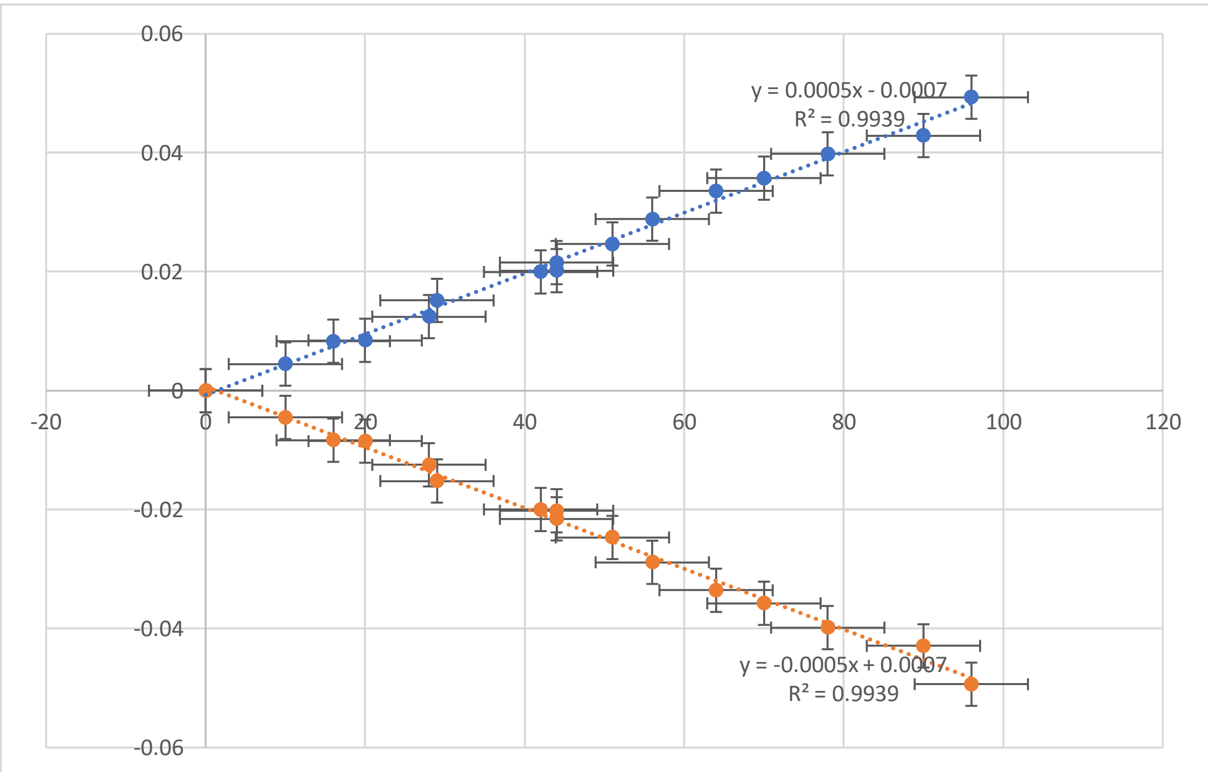
$$\sum \vec{M} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{\vec{P}/o} + \vec{M}_{ressort} = \vec{0}$$

2-

Masse m (kg)	0,001	0	25,4	25,4	25,4	25,4	49,9	49,9	49,9	49,9	75,4	75,4	75,4	100,6	100,6	100,6	176,5
Distance d (m)	0,01	0	8,1	5	3,4	1,8	7,3	4,4	3,1	1,7	5,8	3,9	2,7	5	3,4	2,5	2,3
angle θ (°)		0	44	28	20	10	70	44	29	16	90	56	42	96	64	51	78
moment de la force M (N.m)		0	0,0201831	0,0124587	0,0084719	0,0044851	0,0357349	0,0215388	0,0151751	0,0083218	0,0429011	0,0288473	0,0199712	0,0493443	0,0335541	0,0246722	0,0398237
incert. absolue δm (kg)	0,001	0	0,254	0,254	0,254	0,254	0,499	0,499	0,499	0,499	0,754	0,754	0,754	1,006	1,006	1,006	1,765
incert. Relative δm/m		1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
incert. Absolue δd (m)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
incert. Relative δd/d			1,23	2	2,94	5,56	1,36	2,27	3,2	5,9	1,7	2,56	3,7	2	2,94	4	4,3
incert.absolue δθ (°)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
incert.relative δθ/θ (%)			2,2727273	3,5714286	5	10	1,4285714	2,2727273	3,4482759	6,25	1,1111111	1,7857143	2,3809524	1,0416667	1,5625	1,9607843	1,2820513
Incert. relative δM/M (%)			1,62	2,39	3,33	5,95	1,56	2,47	3,4	6,1	1,83	2,69	3,83	2,1	3,04	4,1	4,35
moment de rappel (N.M)	0	0	-0,0201831	-0,0124587	-0,0084719	-0,0044851	-0,0357349	-0,0215388	-0,0151751	-0,0083218	-0,0429011	-0,0288473	-0,0199712	-0,0493443	-0,0335541	-0,0246722	-0,0398237

3) et 4)



<u>Graphique représentant le moment de la force exercée par la masse en fonction de l'angle de rotation (bleu) et le moment de rappel du ressort exercé par le ressort en fonction de l'angle de rotation (orange)</u>

5-La constante de torsion correspond au coefficient directeur de la courbe du moment de force en fonction de l'angle de rotation duquel tourne le ressort. Elle s'exprime en Newton-mètre par degré.

La constante est donc égale à : C=**51,034 N.m/°**

. Cette constante compare chacune des forces à l'angle de torsion : cette constante est donc appelée : constante angulaire de rappel.

6- La formule qui lie le vecteur moment de rappel et l'angle de rotation est : $\overrightarrow{\boldsymbol{M}}_{\vec{F}_r} = \boldsymbol{C}.\boldsymbol{\Delta\theta}.\boldsymbol{d\vec{l}}$

3-2 Travail du moment d'une force

1-Le travail élémentaire δW pour une rotation élémentaire δθ a pour expression :

$$\delta W = \vec{F}.d\vec{l} = F.R.d\theta$$

avec F.R = M, on a :

$$\delta W = M.d\theta$$

2-Le travail à fournir afin d'amener le ressort de la position Mo, position d'équilibre à la position M d'angle ϑ est :

$$W = \int \delta W = \int M.d\theta = \int C.\theta.d\theta = -\frac{1}{2}C\theta^2$$

3.3 Etude de l'énergie potentielle du ressort

1) On note la formule de l'énergie potentielle élastique d'un ressort spiral:

$$Epe = \frac{1}{2}.C.\theta^2$$

2) On peut faire alors une analogie entre le ressort spiral et le ressort linéaire précédemment étudié: $\boldsymbol{\delta W = F \cdot dx = M \cdot d\theta}$

4ème partie :

		Ressort linéaire	Ressort spiral
Grandeurs mécaniques	**Caractéristiques**	**Translation selon l'axe Ox**	**Rotation autour de l'axe Δ**
		Grandeur	Grandeur
	Cause du mouvement	Force (N)	Moment de la force
		$F = m * g$	$M = m * g * d$
	Grandeur fondamentale	Masse (kg)	Moment d'inertie
			$I = m * r^2$
	Déplacement (déformation)	Linéaire (axe) : x	Angulaire : θ
	Relation entre la cause et Le déplacement du ressort	$F = -K * x$	$M = -C * \theta$

		Ressort linéaire	Ressort spiral
Énergie	**Caractéristiques**	**Translation selon l'axe Ox**	**Rotation autour de l'axe Δ**
		Grandeur	Grandeur
	Déformation élémentaire	Linéaire : dx	Angulaire : dθ
	Travail élémentaire δW	$\delta W = f * dx = -K * x * dx$	$\delta W = M * d\theta = -C\theta d\theta$
	Energie potentielle élastique	$E_{pe} = \frac{1}{2} * k * x^2$	$E_{pe} = \frac{1}{2} * c * \theta^2$
	Énergie cinétique de la masse	$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 = \frac{1}{2} * m * \dot{x}^2$	$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 = \frac{1}{2} * m * (r * \theta)^2 = \frac{1}{2} * I * \dot{\theta}^2$

5ème PARTIE : ANNEXES

Définition du ressort et notions d'élasticité, et loi de Hooke :

Un ressort peut se définir comme un corps élastique capable de supporter des déformations plus ou moins importantes suite à l'action d'une force (ou d'un couple de force) et qui peut reprendre sa forme initiale après avoir été plié, tendu, comprimé ou tordu par ces forces. Les ressorts peuvent être utilisés pour amortir des chocs (amortisseurs de voiture par exemple), par absorption d'énergie pour produire un mouvement comme dans le cas des ressorts d'horlogerie. Les ressorts occupent donc une place importante dans la vie de tous les jours.

La capacité qu'on les ressorts à reprendre leur forme originelle est appelée l'élasticité. Tous les corps, ou presque possèdent une élasticité. Cette notion, peut globalement se définir comme la capacité qu'a un corps à reprendre sa forme d'origine après avoir subi une déformation quelconque. Ainsi, les gaz, les ballons, ou même un couteau, possèdent une élasticité. De plus, la notion d'élasticité, repose grandement sur les notions physiques de conservation de l'énergie, qui nous étudierons à l'aide des deux types de ressorts (que nous verrons un peu plus loin).

De ce fait, pour parler de l'élasticité d'un corps, on utilise la Loi de Hooke. Elle a été définie par le physicien anglais Robert Hooke en 1676, de manière simple, relie l'allongement d'un ressort, à la force qui est appliquée à ce ressort. La Loi de Hooke, correspond aussi au terme de premier ordre d'une série de Taylor. Il s'agit donc d'une approximation, qui peut très vite devenir inexacte dans le cas où l'allongement devient trop important ; la valeur donnée par la loi, étant alors trop éloignée de la réalité de l'expérience. De plus, la Loi de Hooke a des limites, puisque dans le cas d'un allongement trop excessif, le ressort peut ne jamais reprendre sa forme d'origine. La loi de Hooke est alors invalidée. De manière générale, cette loi est alors utilisée dans le cas d'allongements suffisamment petits, pour que l'approximation se rapproche le plus des conditions réelles.

Dans le cadre des ressorts, la loi de Hooke peut s'écrire sous cette forme :

$$\mathbf{F} = -k\,\Delta\ell$$

K est la constante de raideur (ou de rappel) et Delta L correspond à l'allongement du ressort. Le tout est précédé du signe – pour indiquer que cette force s'oppose à la déformation du ressort, elle va dans le sens opposé à l'étirement du ressort : si le ressort est déformé vers le bas, alors la Loi de Hooke (qui est en réalité une force) s'applique vers le haut.

Si l'on applique la loi de Hooke à d'autres corps que des ressorts, alors pour exprimer la loi, on divise la force par l'aire de la section de la pièce (on calcule alors la valeur de la contrainte σ, exprimée en Pa), et on divise l'allongement par la longueur initiale (*déformation* ou *allongement relatif* ε, sans dimension).

La loi de Hooke s'écrit alors dans le cas d'autres corps :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Avec :

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad \text{et} \quad \sigma = \frac{F}{S}$$

En physique, la loi de Hooke modélise le comportement des solides élastiques soumis à des contraintes. Elle stipule que la déformation élastique est une fonction linéaire des contraintes. C'est le terme de premier ordre d'une série de Taylor, cela peut donc devenir inexacte quand la déformation est trop grande ou qu'elle atteint un seuil la rendant permanente.

Le module de Young ou module d'élasticité(longitudinale)ou encore module de traction est la constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et le début de la déformation d'un matériau élastique isotrope(continus). L'élasticité désigne la capacité d'un corps à se déformer sous la contrainte d'une force extérieure. Lorsqu'on travaille sur l'élasticité d'un corps, on s'intéresse exclusivement à la déformation. Le physicien britannique Thomas Young (1773-1829) avait remarqué que le rapport entre la contrainte de traction appliquée à un matériau et la déformation qui en résulte (un allongement relatif) est constant, tant que cette déformation reste petite et que la limite d'élasticité du matériau n'est pas atteinte.

Rappel de cours sur les notions d'énergie :

Une force peut mettre en mouvement un objet ou modifier son mouvement, le déformer, le maintenir en équilibre….

Une force est un vecteur, caractérisé par sa direction, son sens et sa valeur. Une force est dite constante lorsque ces paramètres ne varient pas au cours du temps, qu'ils restent constants. Le point d'application d'une force, est le point ou l'action de la force s'exerce.

Le travail, est quant à lui une grandeur algébrique qui permet d'évaluer l'effet d'une force sur l'énergie d'un objet en mouvement. Le travail correspond à un transfert d'énergie, et s'exprime en joules (J)

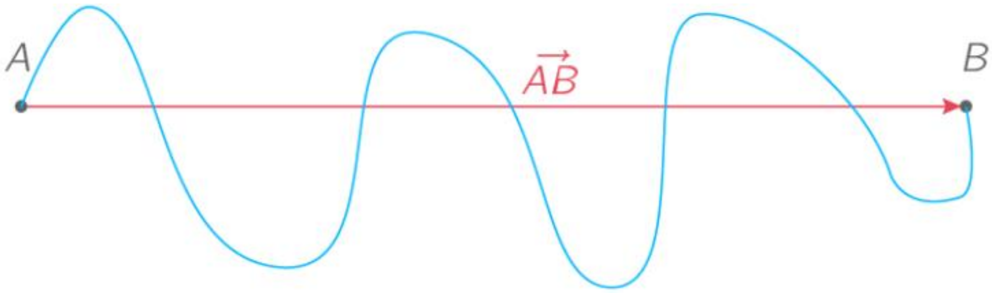
Le travail d'une force constante, en déplacement entre un point A et B a pour expression :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{F}\right) = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos(\alpha)$$

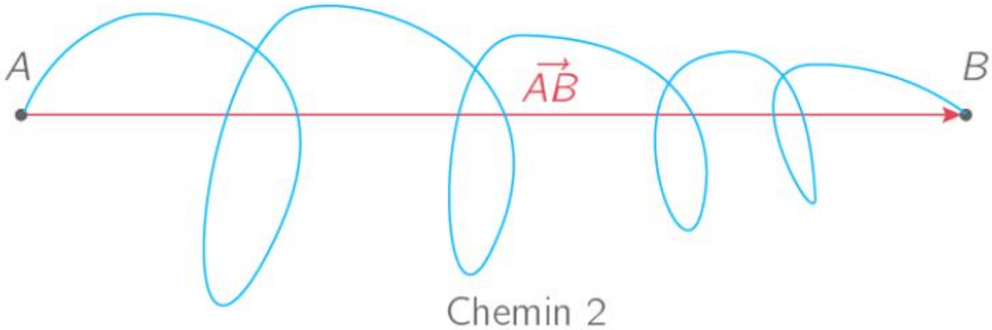
Avec :

- $W_{AB}\left(\overrightarrow{F}\right)$ le travail de la force $\overrightarrow{F}$ (en joules, notés J)
- $\overrightarrow{F}$ la force appliquée sur le système (dont la norme F s'exprime en N)
- $\overrightarrow{AB}$ le vecteur déplacement du point d'application de $\overrightarrow{F}$ (dont la norme AB s'exprime en m)
- α est l'angle entre les vecteurs $\overrightarrow{F}$ et $\overrightarrow{AB}$

Si le déplacement du mobile n'est pas rectiligne, alors la définition du travail est la même. De plus, le travail de la force est indépendante du chemin suivi : Il ne dépend que des positions des points A et B ; la force est alors considérée comme conservative.



Chemin 1



Chemin 2

Enfin, l'effet d'une force sur le mouvement du mobile est différent en fonction de l'orientation de la force par rapport au déplacement sur l'axe AB.

Si le travail de la force est supérieur à 0, le travail est alors dit moteur (favorise le mouvement, le déplacement)

Si le travail est inférieur à 0, le travail est alors dit résistant, c'est-à-dire qu'il s'oppose au déplacement, au mouvement de l'objet.

Si la valeur du travail est égale à 0, le travail est dit nul, sans incidence sur le mouvement du mobile.

Le travail d'une force :

En général, le travail d'une force traduit les échanges d'énergie qui s'opèrent sur un système en mouvement d'un point A vers un point B. Ce travail est le produit de l'intensité de la force dans la direction du déplacement avec la longueur du déplacement. Le travail d'une force s'exprime en Joule dans le système international.

Le travail d'une force de rappel :

Réciproquement, le travail d'une force de rappel est l'opposé du travail d'une force.

TRAVAIL DU POIDS-ENERGIE POTENTIELLE-ENERGIE CINETIQUES-TRANSFERTS

Le poids d'un objet, peut être considérée comme une force. On parle alors du travail du poids (le champ de pesanteur et la masse étant supposé constant)

Le repère pour l'étude du travail du poids est un référentiel terrestre, dont l'axe vertical est dirigé vers le haut.

Le point d'application du poids est le centre de gravité de l'objet. Ainsi, lors du déplacement de l'objet d'un point A à un point B, le travail du poids est donné par :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

Avec :

- $W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right)$ le travail du poids (en J)
- m la masse du système (en kg)
- g la valeur de l'accélération de la pesanteur (9,81 en $m.s^{-2}$)

On parle aussi d'énergie potentielle de pesanteur.

$$\Delta_{AB} E_p = -W_{AB}\left(\overrightarrow{F_c}\right)$$

Si le champ de pesanteur est uniforme, le travail du poids, ne dépend alors que des altitudes du point de départ et d'arrivée. Le poids est une force conservative.

On vient d'évoquer la notion d'énergie potentielle. Dans un mobile en mouvement, il y a 3 différentes énergies (potentielle, cinétique, mécanique) qui se transfèrent entre elles, mais seulement dans le cas des forces conservatives.

A toute force conservative, on associe une énergie potentielle de pesanteur, notée E_{pp} ;

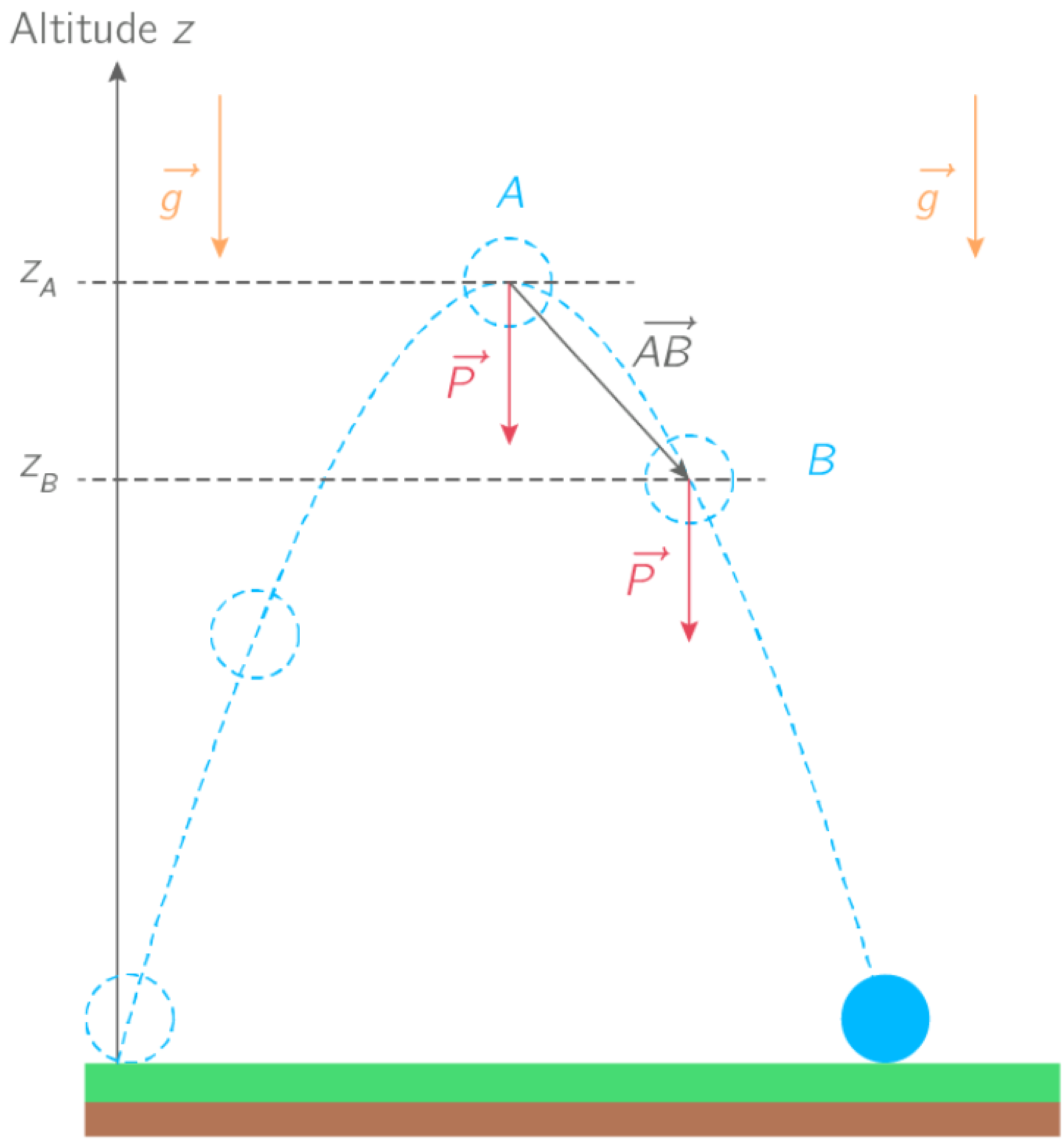
E_{pp} =M*g*Z

Z correspondant à la distance entre les deux altitudes. A l'altitude que l'on choisit comme référence de l'étude, l'énergie potentielle est nulle.

On peut aussi exprimer la variation de l'énergie potentielle, en faisant la différence des énergies potentielles entre les points A et B.

On peut donc dire que la variation d'énergie potentielle d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est égale à l'opposé du travail effectué par les forces conservatives.

$$\Delta_{AB}E_{p_p} = -W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = -m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$



Dans un objet en déplacement, sous l'action de forces conservatives, il y a des transferts, entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique, de formule :

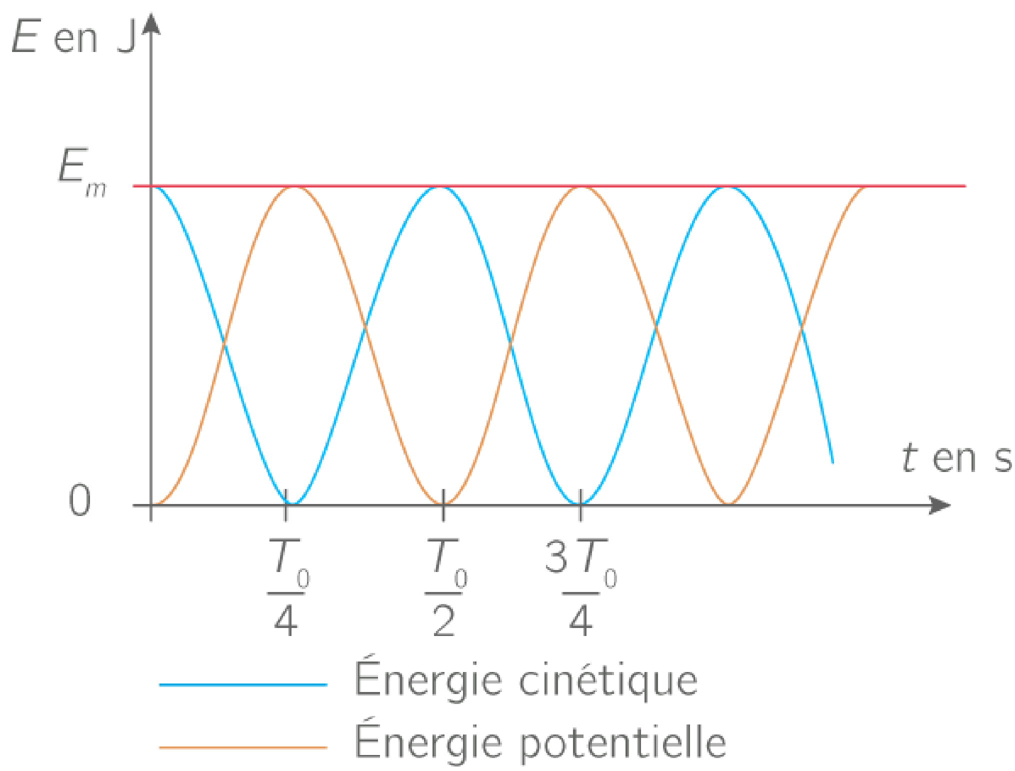
$$E_C(t) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v(t))^2$$

Avec :

- $E_c(t)$ l'énergie cinétique du système à l'instant t (en J)
- m la masse du système (en kg)
- $v(t)$ la vitesse du système à l'instant t (dont la norme est en $m.s^{-1}$)

Ces transferts d'énergie, résultent de la conservation de l'énergie mécanique, qui impose que sous l'action de forces conservatives, il y a conservation de l'énergie mécanique. On obtient alors la formule :

$$E_m(t) = E_p(t) + E_c(t)$$



Transferts d'énergie en régime périodique

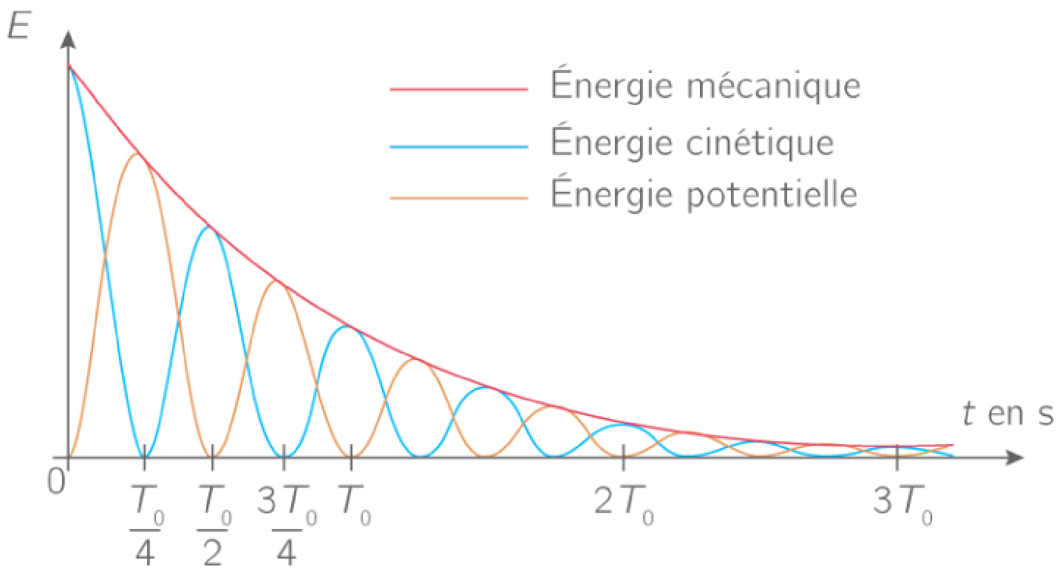
En résumé donc, pour qu'il y a conservation de l'énergie mécanique à n'importe quel moment du déplacement, il faut un transfert entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique.

Dans le cas où l'objet est soumis à des forces non conservatives (forces de frottements par exemple ($W_{AB}\left(\overrightarrow{F_f}\right) = -F_f \cdot AB$) il y a une non conservation de l'énergie mécanique. Ainsi, on peut donc exprimer la variation de l'énergie mécanique par le théorème de l'énergie mécanique :

$$\Delta_{AB}E_m = W_{AB}\left(\overrightarrow{F_{nc}}\right)$$

Avec :

- $\Delta_{AB}E_m$ la variation d'énergie mécanique entre les positions A et B du système (en J)
- $W_{AB}\left(\overrightarrow{F_{nc}}\right)$ le travail des forces non conservatives entre les positions A et B du système (en J)



Dissipation de l'énergie mécanique par frottements