

Partie Comprendre : Lois et modèles

CHAP 07-POLY Travail et énergie

Objectifs : Comment varie l'énergie d'un système mécanique ?

- Etablir et exploiter les expressions du travail d'une force constante : cas de forces conservatives et non conservatives
- Connaître les conditions de conservation et non conservation de l'énergie mécanique et analyser les transferts énergétiques qui ont lieu au cours d'un mouvement

Notions et contenus	Compétences exigibles
Travail d'une force.	Établir et exploiter les expressions du travail d'une force constante (force de pesanteur, force électrique dans le cas d'un champ uniforme).
Force conservative ;	Établir l'expression du travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
Energie potentielle. Forces non conservatives : exemple des frottements. Énergie mécanique.	Analyser les transferts énergétiques au cours d'un mouvement d'un point matériel. Pratiquer une démarche expérimentale pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un oscillateur.
Étude énergétique des oscillations libres d'un système mécanique. Dissipation d'énergie.	Extraire et exploiter des informations sur l'influence des phénomènes dissipatifs sur la problématique de la mesure du temps et la définition de la seconde.

1. TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE

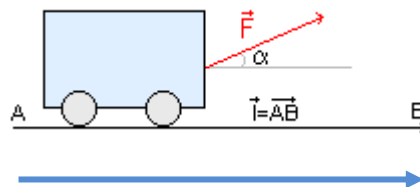
1.1. Définition

Le **travail d'une force** est par cette force lorsque son point d'application se (l'objet subissant la force se déplace ou se déforme).

Le travail est exprimé en, et est souvent noté, initiale du mot allemand **Werk** qui signifie travail.

2.2 Travail d'une force constante sur un déplacement rectiligne

Soit un chariot se déplaçant sur un trajet rectiligne **AB** sous l'action d'une force \vec{F} .



Les effets de la force \vec{F} dépendent de:

-
-
-

On appelle travail d'une force constante \vec{F} , lors d'un déplacement rectiligne de son point d'application, le

..... de la force \vec{F} par le déplacement \vec{AB} . On le note

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) =$$

$W_{AB}(\vec{F})$: Travail de la force \vec{F} en joules (J).

\vec{AB} : Déplacement du point d'application de la force en mètres (m).

α : Angle existant entre les vecteurs \vec{F} et \vec{AB}

Remarque

Une force ne travaille pas si

- Son point d'application ne se déplace pas (.....).
- Sa direction est perpendiculaire au déplacement (.....).

$\alpha = 0^\circ$ $\cos \alpha = 1$		$W_{AB}(\vec{F}) = \dots$ $W_{AB}(\vec{F}) = \dots$	La force est parallèle à la trajectoire rectiligne et elle est dans le sens du mouvement. Le travail est positif; il est dit
$\alpha = 90^\circ$ $\cos \alpha = 0$		$W_{AB}(\vec{F}) = \dots$	La force ne travaille pas quand son point d'application se déplace dans une direction perpendiculaire à celle de la force.
$\alpha = 180^\circ$ $\cos \alpha = -1$		$W_{AB}(\vec{F}) = \dots$ $W_{AB}(\vec{F}) = \dots$	La force est parallèle à la trajectoire rectiligne et elle est opposée au sens du mouvement. Le travail est négatif; il est dit

1.3. Travail du poids

Soit un solide S de poids \vec{P} se déplaçant d'un point A d'altitude z_A vers un point B d'altitude z_B .

- Etablir que le travail du poids du solide S s'écrit:

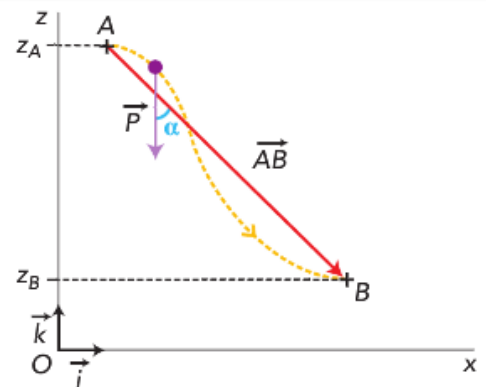
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g(z_A - z_B)$$

W : le travail en Joules J

$h = (z_A - z_B)$: l'altitude en mètres m

m : la masse de l'objet en kg

g : la constante de pesanteur en $N \cdot kg^{-1}$



Si h est c'est à dire si l'objet perd de l'altitude $W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$ est, le travail est

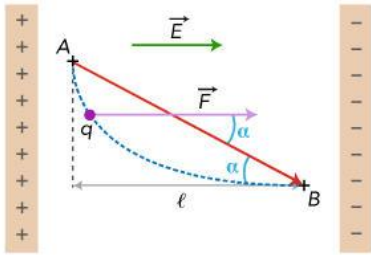
Si h est c'est à dire si l'objet gagne de l'altitude $W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$ est, le travail est

Dans le champ de pesanteur uniforme, le travail du poids ne dépend que des positions de départ et d'arrivée.

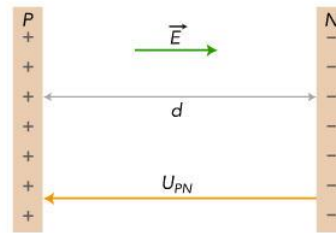
Le poids est une force

1.4. Travail d'une force électrostatique

Dans un champ électrostatique uniforme \vec{E} , la force électrostatique $\vec{F} = \dots\dots\dots$ qui s'exerce sur une particule de charge q assimilée à un point matériel est $\dots\dots\dots$ (doc. 4).



Doc. 4 Force électrostatique \vec{F} constante qui s'exerce sur une particule de charge positive q se déplaçant de A à B.



Doc. 5 Champ électrostatique entre deux armatures planes. $U_{PN} = E \cdot d$.

- Etablir que lorsque la particule se déplace d'un point A à un point B, le travail de la force électrostatique est donné par la relation :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \cdot U_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

U_{AB} ; tension entre le point de départ et l'arrivée (en volts)

l distance entre le point de départ et l'arrivée (en mètres)

Rq : $U_{AB} = V_A - V_B$ (avec V_A le potentiel au point A et V_B le potentiel au point B en volts)

Dans un champ électrostatique uniforme, le travail de la force électrostatique à laquelle est soumise une particule ne dépend que des positions de son point de départ et de son point d'arrivée.

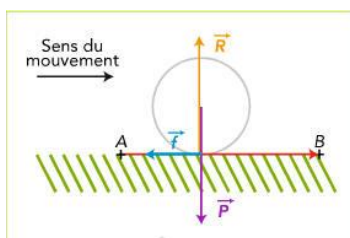
La force électrostatique est une force $\dots\dots\dots$

1.5. Travail des forces de frottements

On se limite à l'étude d'un mouvement $\dots\dots\dots$ au cours duquel l'intensité de la force de frottement reste $\dots\dots\dots$

a) Les forces de frottements

Exemple :



Doc. 6 Force de frottement \vec{f} qui agit sur une balle de golf en mouvement rectiligne ($\vec{P} + \vec{R} = 0$).

- Point d'application ; $\dots\dots\dots$

- Sa direction ; $\dots\dots\dots$

- Son sens ; $\dots\dots\dots$

- Sa valeur ; $\dots\dots\dots$

b) Travail de la force de frottement

Une balle de golf est soumise à une force de frottement \vec{f} dont le point d'application se déplace de A à B (doc. 6).

- Etablir que lors d'un mouvement rectiligne de longueur AB, le travail d'une force de frottement \vec{f} d'intensité constante est donné par la relation :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -f \cdot AB$$

Rq :

-On dit que **ce travail est**, car il est toujours négatif .

-le travail des forces de frottements dépend de la longueur du chemin parcouru et pas seulement des positions de départ et d'arrivée. **Les forces de frottements sont**

2. LES TRANSFERTS ENERGETIQUES

2.1. Forces conservatives et énergies potentielles

À toute force conservative, on associe une énergie appelée énergie potentielle.

On définit ainsi une énergie potentielle de pesanteur, une énergie potentielle électrique, etc.

a) énergie potentielle de pesanteur

Soit un objet qui se trouve à l'altitude z au temps t :

$$E_{PP} =$$

E_{pp} : l'énergie potentielle de pesanteur en joules J
 m : masse de l'objet en kg
 g : la constante de pesanteur en $N \cdot kg^{-1}$
 z : altitude en mètres m

b) énergie potentielle électrique

L'énergie potentielle électrique d'une particule de charge q en un point de potentiel V est égale à :

$$E_{Pé} =$$

$E_{pé}$: l'énergie potentielle électrique en joules J
 q : charge de la particule (coulombs : C)
 V : potentiel de la particule en un endroit donné (volt : V)

c) Variation d'énergie potentielle

La variation d'énergie potentielle d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est égale à
 effectué par les forces conservatives de **somme \vec{F}** qui s'exercent sur ce système :

$$\Delta E_p = E_p(B) - E_p(A) = - W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

2.2 . Energie cinétique

$$E_c =$$

E_c : Energie cinétique en joules (J)
 m : masse en kg
 v : vitesse en $m.s^{-1}$

2.3 . Energie mécanique

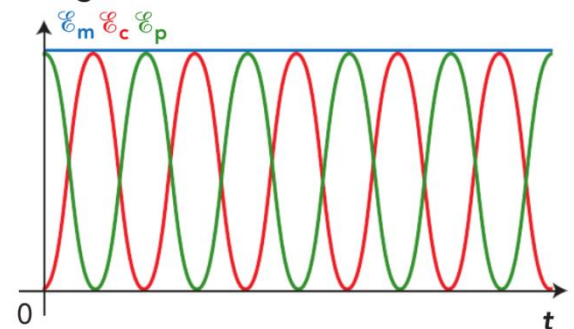
L'énergie mécanique E_m d'un système est de l'énergie cinétique E_c et de l'énergie potentielle E_p :

$$E_m =$$

2.4. Conservation de l'énergie mécanique

- Lorsqu'un système est soumis à des forces (pas de frottements) son énergie mécanique
- La variation d'énergie mécanique ΔE_m au cours du mouvement est donc
- Lorsqu'il y a conservation de l'énergie mécanique, il y a transfert de l'énergie potentielle en énergie cinétique ou inversement.

Énergies



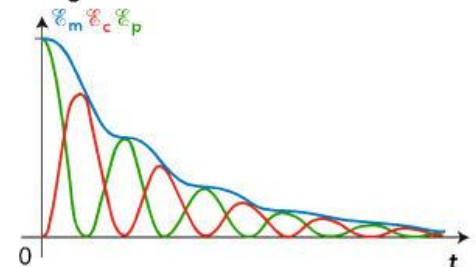
Doc. 9 Diagramme énergétique d'un pendule en l'absence de frottements

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = \quad \text{donc } \Delta E_c =$$

2.4.Non conservation de l'énergie mécanique

- Lorsqu'un système est soumis à des forces conservatives (les frottements), son énergie mécanique; sa variation est égale au
- Lorsqu'il y a non-conservation de l'énergie mécanique, il y a transfert de l'énergie potentielle en énergie cinétique ou inversement.

Énergies



Doc. 10 Diagramme énergétique du pendule amorti.

La variation d'énergie mécanique ΔE_m au cours du mouvement est donc :

$$\Delta E_m =$$

où \vec{f} est la résultante des forces non conservatives (frottements).

3. ETUDE ENERGETIQUE DES OSCILLATIONS LIBRES (cf TP)

Au milieu du XXe siècle, ce sont les oscillations mécaniques (pendules, ressorts) qui ont permis de mesurer le temps. Étudions les échanges d'énergie pour un système oscillant.

3.1. Définition

Un système mécanique oscillant est un système dont :

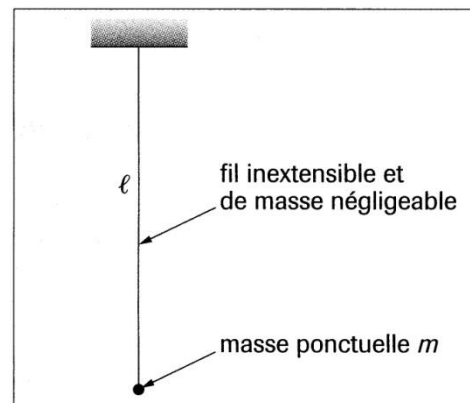
- Le mouvement est , c'est à dire qu'il se reproduit identique à lui même au cours du temps
 - Le mouvement s'effectue de part et d'autre d'une
- (ex : balançoire ; balancier d'une horloge)

3.2. Systèmes oscillants libres

Un oscillateur est dit libre lorsqu'il n'est soumis à aucun apport extérieur après sa mise en mouvement

3.3. Le pendule simple

Il est constitué d'un objet ponctuel attaché à l'extrémité d'un fil inextensible et de masse négligeable.



3.4. Grandeurs caractéristiques d'un pendule simple

a) Position d'équilibre stable

- C'est la position « naturelle » du pendule quand il est immobile
- Il y a toujours oscillation autour de sa position d'équilibre stable

b) Abscisse angulaire et amplitude angulaire

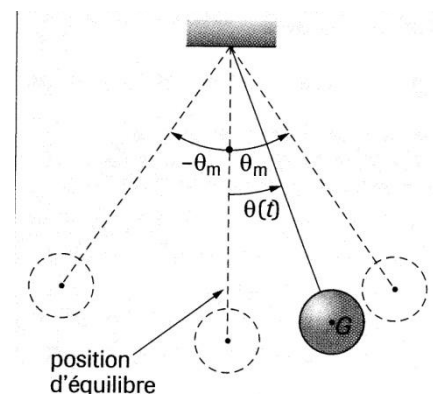
b.1. Abscisse angulaire

- Notée θ (téta) elle s'exprime en radians, c'est l'angle formé par le pendule par rapport à sa position d'équilibre stable
- C'est une grandeur algébrique
- θ varie en fonction du temps

b.2. Amplitude angulaire

Notée θ_m , c'est la valeur absolue de l'abscisse angulaire θ lorsque celle-ci est max.

Fig. 9 Abscisse angulaire et amplitude du mouvement d'un pendule.



3.5. Amplitude et période du pendule simple non amorti

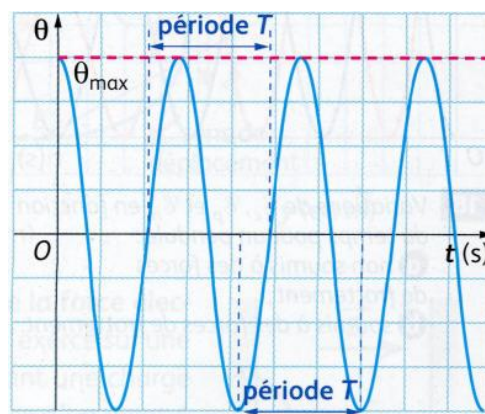
Non amorti c'est à dire qu'il n'y a pas de

a) Allure de l'amplitude des oscillations

Les oscillations sont

b) Isochronisme des petites oscillations

- La période d'un pendule simple de l'amplitude θ_m de oscillations si celle-ci reste ($< 20^\circ$) on appelle cela l'isochronisme des petites oscillations
- Cette période est appelée notée T_0



c) Expression de la période propre du pendule simple

$$T_0 =$$

T_0 : en secondes (s)

l : la longueur du pendule en mètres (m)

g : intensité de la pesanteur ($N.kg^{-1}$)

On a également la fréquence propre notée $f_0 = \frac{1}{T_0}$

3.6. Pendule simple amorti

C'est à dire qu'il y a

a) Allure de l'amplitude des oscillations

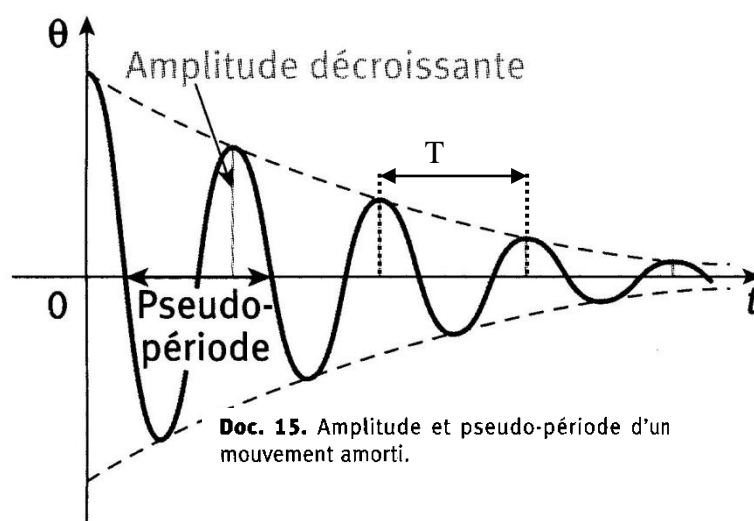
Si l'amortissement est suffisamment

....., le mouvement peut être décrit

par des oscillations d'amplitude

Ces oscillations sont dites

AMORTIES OU PSEUDO-PERIODIQUES



Doc. 15. Amplitude et pseudo-période d'un mouvement amorti.

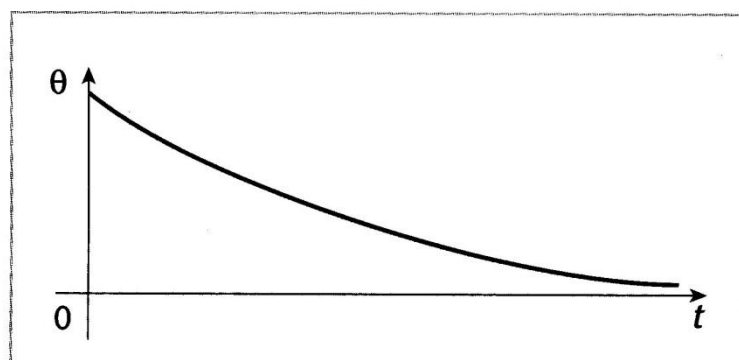
3.7. Pendule simple : Cas d'un amortissement fort

Si l'amortissement est important, le système ne peut plus osciller ;

Il revient rapidement à sa position d'équilibre.

Le mouvement est alors dit

APERIODIQUE : il n'y a plus



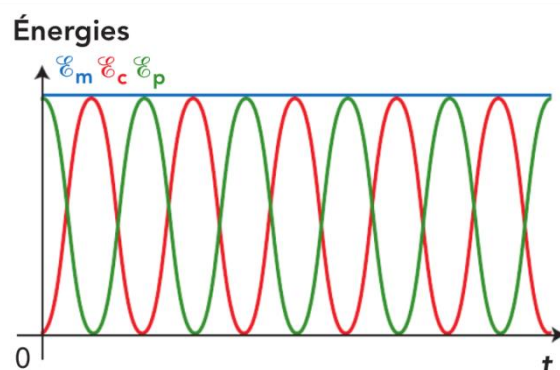
Doc. 17. Exemple de mouvement apériodique.

3.8. Transferts d'énergie au cours des oscillations

- Lors de ses oscillations libres, la boule du pendule est soumise à un ensemble de forces qui résultent de son interaction avec la Terre (\vec{P}), de l'interaction avec le fil (\vec{T}) et de son interaction avec l'air (\vec{f}_{air}).
- La force \vec{T} exercée par le fil sur la boule n'intervient pas dans le bilan énergétique, son travail au cours des oscillations étant car sa direction est (perpendiculaire) au déplacement.

a) Système non soumis à des forces de frottement

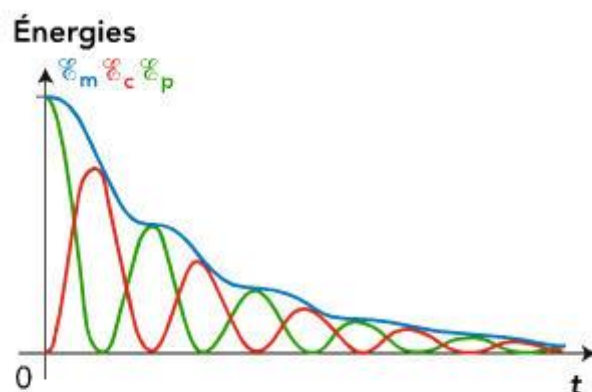
- *Au cours des oscillations libres d'un pendule non soumis à des forces de frottements, l'énergie mécanique du système se conserve*
- *Il y a transfert d'énergie à l'intérieur du système entre l'énergie cinétique et potentielle.*



Doc. 9 Diagramme énergétique d'un pendule en l'absence de frottements

b) Système soumis à des forces de frottement

- L'énergie mécanique du pendule, soumis à des forces de frottement diminue progressivement.*
- Elle est dissipée par*



Doc. 10 Diagramme énergétique du pendule amorti.

Résumé : [ANIMATION](#)

Remarque :

Dans les horloges mécaniques, les oscillations sont pour compenser le phénomène Dans une horloge à balancier, par exemple, la chute lente d'un « poids » permet de transférer à chaque oscillation de l'énergie à l'oscillateur