

PARTIE 2 - COMPRENDRE : LOIS ET MODÈLES

Chapitre 7 : Travail et énergie (p. 183)

Compétences exigibles :

- ✓ Extraire et exploiter des informations relatives à la mesure du temps pour justifier l'évolution de la définition de la seconde.
- ✓ *Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence :**
 - les différents paramètres influençant la période d'un oscillateur mécanique ;
 - son amortissement.
- ✓ Établir et exploiter les expressions du travail d'une force constante (force de pesanteur, force électrique dans un champ uniforme).
- ✓ Établir l'expression du travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
- ✓ 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.**
- ✓ 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.
- ✓ Extraire et exploiter des informations pour justifier l'utilisation des horloges atomiques dans la mesure du temps.

(*) *Savoir-faire expérimentaux.*

I- Comment définir le travail d'une force ? (p. 190)

ED n°1 : Travail d'une force (Activité 1 page 184)

App, Ana

1. Notion de force et de travail d'une force (p. 190)

Une force **modélise** une action mécanique. Elle est caractérisée par son **point d'application**, sa **direction**, son **sens** et sa **valeur**.

Pour traduire les effets, lors d'un **déplacement**, d'une action mécanique modélisée par une force, les physiciens ont créé une grandeur appelée **travail**.

Le travail d'une force se traduit par un **transfert d'énergie** entre deux systèmes. Il s'exprime en **joule (J)**.

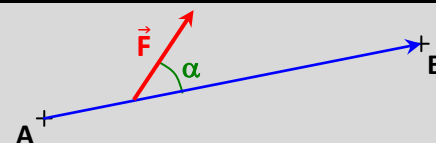
Cela modifie la vitesse, la direction, l'altitude, la température ou la forme du système qui le reçoit.

2. Travail d'une force constante (p. 190)

Le **travail**, noté $W_{AB}(\vec{F})$, d'une force \vec{F} **constante**, lors du déplacement rectiligne de son point d'application de A vers B, est le produit scalaire des vecteurs \vec{F} et \overrightarrow{AB} :

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

$W_{AB}(\vec{F})$ s'exprime en joule (J), F est l'intensité de la force en newton (N), AB la longueur du déplacement en mètre (m) et α l'angle formé par les vecteurs \vec{F} et \overrightarrow{AB} .

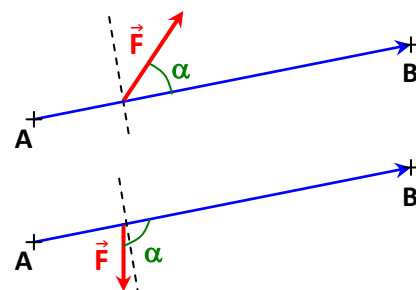


Remarque :

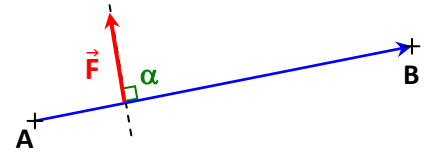
- Une force **constante** est une force qui conserve même direction, même sens et même intensité au cours de son déplacement (le vecteur qui la représente reste constant aussi).
- Le travail est une grandeur algébrique qui dépend de l'angle α entre la force \vec{F} et le vecteur déplacement \overrightarrow{AB} :

➤ Si $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$, alors le travail est positif ($W_{AB}(\vec{F}) > 0$) : il est dit **moteur** et la force **favorise le déplacement**.

➤ Si $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$, alors le travail est négatif ($W_{AB}(\vec{F}) < 0$) : il est dit **résistant** et la force **s'oppose au déplacement**.



- Si $\alpha = 90^\circ$, alors le travail est nul ($W_{AB}(\vec{F}) = 0$) et la force, orthogonale au déplacement, **ne travaille pas**, donc elle **n'a pas d'effet sur le déplacement**.



3. Travail du poids (p. 191)

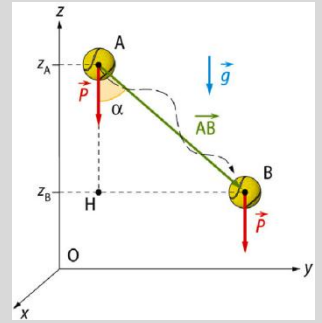
Une force est dite **conservative** si son travail **ne dépend pas du chemin suivi** par son point d'application, mais uniquement des positions de départ et d'arrivée.

Le **travail de la force de pesanteur** (poids) exercée sur un corps de masse m se déplaçant de A vers B dans un champ de pesanteur uniforme \vec{g} a pour expression :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = P \times AB \times \cos \alpha \quad \text{or} \quad \cos \alpha = \frac{z_A - z_B}{AB}$$

$$\text{d'où : } W_{AB}(\vec{P}) = P (z_A - z_B) = m \times g \times (z_A - z_B) = m g z$$

avec $W_{AB}(\vec{P})$ en joule (J), g en $m \cdot s^{-2}$, m en kilogramme (kg) et $z_A - z_B$ en mètre (m).



Remarque :

- ➔ Le travail du poids ne dépend que du point de départ et du point d'arrivée. Le **poids** est une **force conservative**.

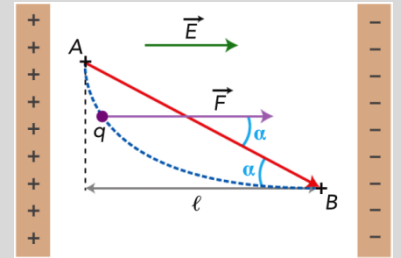
4. Travail d'une force électrique (p. 191)

Lors du déplacement de A à B d'une particule dans un champ électrostatique uniforme \vec{E} , le **travail $W_{AB}(\vec{F}_e)$ de la force électrique \vec{F}_e** exercée a pour expression :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = |q| \times E \times AB \times \cos \alpha \quad \text{or} \quad E = \frac{U_{AB}}{\ell} \quad \text{et} \quad \ell = AB \cos \alpha$$

$$\text{d'où : } W_{AB}(\vec{F}_e) = q \times U_{AB}$$

$W_{AB}(\vec{F}_e)$ s'exprime en joule (J), q , charge électrique portée par la particule, en coulomb (C) et U_{AB} , tension électrique entre les points A et B, en volt (V).



Remarque :

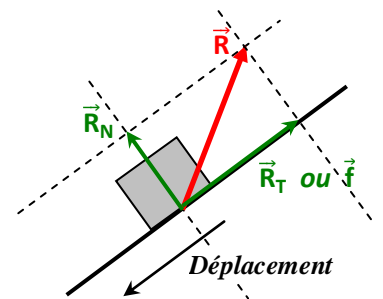
- ➔ Le travail de la force électrique ne dépend que du point de départ et du point d'arrivée. La **force électrique** est une **force conservative**.

5. Force non conservative : cas des forces de frottement (p. 192)

Une force est dite **non conservative** si son travail **dépend du chemin suivi** par son point d'application.

Pour un objet en déplacement rectiligne de A vers B, sur un support plan, ce dernier exerce deux forces :

- ➔ une réaction **normale** perpendiculaire au support \vec{R}_N ,
- ➔ une réaction **tangentielle** \vec{R}_T appelée « **force de frottements** », notée \vec{f} , de sens opposé au vecteur-vitesse.

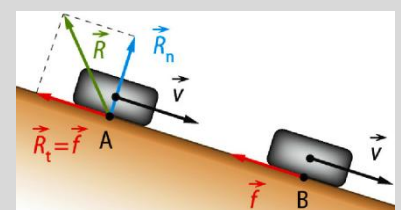


Lors d'un déplacement rectiligne de A à B, le **travail d'une force de frottement d'intensité constante f** , a pour expression :

$$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = f \times AB \times \cos \alpha = -f \times AB$$

$W_{AB}(\vec{f})$ en joule (J), f en newton (N) et AB en mètre (m).

Cette force est toujours **résistante**.



Remarque :

- ➔ Le travail de la force de frottement dépend du chemin suivi. La **force de frottement** est une **force non conservative**.

Exercices n°(1) p. 195, n°(3) p. 196, n°5, 6, (7), 8 p. 198, n°9 et (10) p. 199

II- Comment s'effectuent les transferts énergétiques ? (p. 192)

TP n°12 : Oscillations d'un pendule

App, Ana, Réa

L'énergie caractérise la capacité à fournir du travail, à donner du mouvement, à modifier la température ou à transformer la matière.

Elle est produite à partir de différentes sources que l'on trouve dans la nature : le bois, le charbon, le pétrole, le gaz, le vent ou le rayonnement solaire. Elle peut prendre différentes formes : chaleur, énergie mécanique ou énergie électrique...

Ses formes multiples peuvent se transformer l'une en l'autre, par exemple, de chaleur en énergie mécanique, dans un moteur de voiture, ou en énergie électrique, dans une centrale électrique au charbon ou au gaz.

1. Énergie cinétique (Rappel p. 128)

L'énergie cinétique d'un solide caractérise son état de mouvement.

L'énergie cinétique E_c d'un solide de masse m dont le centre d'inertie G est animé d'un mouvement de translation à la vitesse v_G s'écrit :

$$E_c = \frac{1}{2} m v_G^2 \quad \text{avec } m \text{ en kilogramme (kg), } v_G \text{ en mètre par seconde (m.s}^{-1}\text{) et } E_c \text{ en joule (J).}$$

2. Forces conservatrices et énergies potentielles (p. 192)

L'énergie potentielle d'un système est l'énergie qu'il possède du fait de sa position ou de sa forme.

Une énergie potentielle est associée à chaque force conservatrice.

La variation d'énergie potentielle d'un système se déplaçant d'un point A vers un point B est égal à l'opposé du travail effectué par la force conservatrice associée :

$$\Delta E_p = E_p(B) - E_p(A) = -W_{AB}(\vec{F}) \quad \text{avec } E_p \text{ et } W \text{ en joule (J).}$$

Remarque :

→ Une énergie potentielle étant définie par ses variations, elle est toujours connue à une constante arbitraire près.

→ Une énergie potentielle ne dépend que des positions initiale et finale.

▲ Énergie potentielle de pesanteur

L'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un solide de masse m dont le centre d'inertie G est situé à une altitude z_G a pour expression :

$$E_{pp}(z_G) = m g z_G$$

avec E_{pp} en joule (J), m en kilogramme (kg), z_G en mètre (m) et g , l'intensité de pesanteur, en $N.kg^{-1}$.

▲ Énergie potentielle électrostatique

L'énergie potentielle électrostatique $E_{pé}$ d'une particule de charge q est liée au potentiel électrostatique V_A qui règne au point A :

$$E_{pé}(A) = q V_A$$

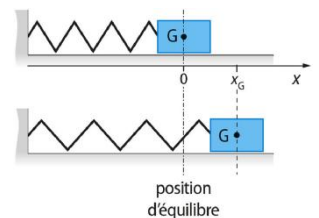
avec $E_{pé}$ en joule (J), q en coulomb (C) et V_A , potentiel électrique au point A, en volt (V).

▲ Énergie potentielle élastique

L'énergie potentielle élastique $E_{pél}$ d'un ressort de constante de raideur k est liée à la position x_G de son extrémité libre par rapport à sa position d'équilibre :

$$E_{pél}(x_G) = \frac{1}{2} k x_G^2$$

avec $E_{pél}$ en joule (J), k en $N.m^{-1}$ et x_G , l'élongation, en mètre (m).



3. Conservation de l'énergie mécanique (p. 193)

Par définition, l'énergie mécanique d'un système est la somme de l'énergie cinétique et de toutes ses énergies potentielles :

$$E_m = E_p + E_c$$

Lorsqu'un système est soumis à des forces conservatrices et/ou à des forces non conservatrices dont le travail est nul, il y a conservation de l'énergie mécanique : elle est constante dans le temps :

$$E_m = \text{cste} \Leftrightarrow \Delta E_m = 0$$

On assiste alors à un transfert d'énergie entre l'énergie cinétique et les énergies potentielles.

4. Non conservation de l'énergie mécanique (p. 193)

Lorsqu'un système est soumis à des forces non conservatrices, il n'y a pas conservation de l'énergie mécanique et sa variation au cours du temps est égale au travail de la résultante des forces non conservatives appliquées au système :

$$E_m \neq \text{cste} \Leftrightarrow \Delta E_m = W_{AB}(\vec{f})$$

avec \vec{f} la résultante des forces non conservatrice.
 On assiste alors à un transfert d'énergie partiel entre l'énergie cinétique et les énergies potentielles.

Remarque :

→ Le plus souvent, ces forces non conservatrices sont des forces de frottement. Dans ce cas l'énergie mécanique perdue est soit transférée au système sous forme de chaleur, soit transférée à un autre système.

III- Applications aux oscillateurs

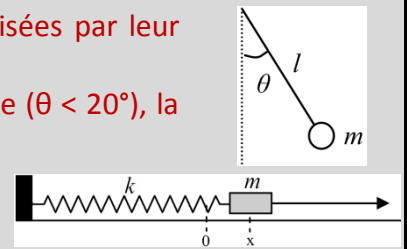
1. Présentation

Un **oscillateur mécanique** est un système dont le centre d'inertie possède un mouvement **périodique** autour d'une **position d'équilibre stable**.

Abandonné à lui-même, le système possède des **oscillations libres** caractérisées par leur durée appelée **période propre T_0** , c'est-à-dire la durée d'un aller-retour.

Pour un pendule simple, si l'amplitude des oscillations est suffisamment faible ($\theta < 20^\circ$), la période propre est indépendante de l'amplitude et vaut : $T_0 = 2\pi\sqrt{l/g}$.

Pour un pendule élastique (ressort), la période propre ne dépend que de la constante de raideur k du ressort et de la masse du système : $T_0 = 2\pi\sqrt{m/k}$.

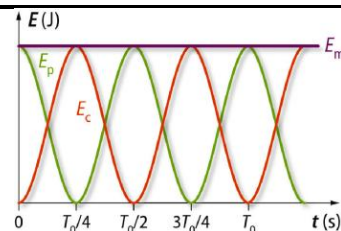
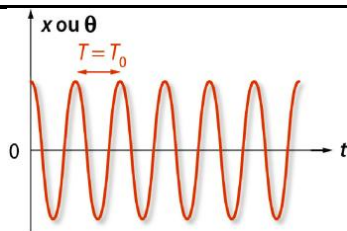


Exemple : balancier d'une horloge, balançoire, suspension d'un véhicule, sauteur à l'élastique...

2. Étude énergétique

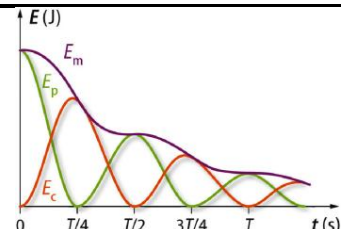
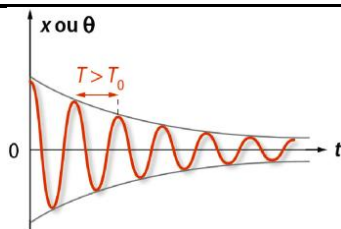
▲ Cas d'oscillations non amorties

Si les frottements sont négligeables, on observe un **régime périodique** de période T_0 .
 Le système ne subit **aucune force non conservative**, son **énergie mécanique reste constante** au cours du temps (sa valeur ne dépend que des conditions initiales : vitesse, amplitude).
 L'oscillateur est **non amorti**.



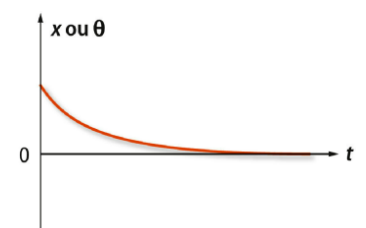
▲ Cas d'oscillations amorties

Si les frottements ne sont pas négligeables, on observe un **régime pseudopériodique** de **pseudo-période $T \geq T_0$** .
 Les **oscillations** sont **amorties** : leur amplitude diminue.
 Le système subit **une force non conservative** (les frottements), son **énergie mécanique varie** au cours du temps (sa valeur dépend des conditions initiales : vitesse, amplitude).
 Il y a alors diminution de l'énergie mécanique du système. Elle est dissipée sous forme d'énergie thermique au milieu extérieur, dont la température s'élève.



Remarque :

- Plus les frottements sont importants, plus l'amortissement est important et plus la pseudo-période s'allonge.
- Si les frottements sont très importants, on peut observer un régime **apériodique**, c'est-à-dire sans oscillation.
- La variation d'énergie mécanique est égale au travail des forces non conservatives.



Exercices n°(2) p. 195, n°(4) p. 197, n°11, (12), 13, (14) p. 199, n°15, (16), 17, (18) p. 200, n°21 p. 201 et n°22, 23, 24 p. 202

IV- Le temps et sa mesure

ED n°2 : Mesure du temps et définition de la seconde : la quête de la précision

(Activité 5 page 188)

App, Com

1. Mesure avec un système oscillant

Les **systèmes mécaniques oscillants** (horloges, montres...) ont permis à l'Homme de mesurer le temps en se substituant aux **repères périodiques naturels** (jours, saisons).

Alors que mes **systèmes mécaniques oscillants** subissent des phénomènes dissipatifs, le **quartz** vibre toujours quasi rigoureusement à la même fréquence lorsqu'il est traversé par un courant.

2. La mesure du temps aujourd'hui

L'**horloge atomique** de référence est celle au césium 133. La fréquence étalon est la **fréquence** stable du rayonnement qui accompagne la transition **entre deux niveaux d'énergie**, parfaitement connue, de l'atome de césium.

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux de l'état fondamentale de l'atome de césium 133.

Le **temps atomique international** (TAI) est établi en effectuant la **moyenne** des informations provenant de plusieurs **centaines d'horloges atomiques** réparties en différents endroits du globe.

Exercice n°20 p. 201