

LP 8 – Conservation de l'énergie

Manon LECONTE et Joachim GALIANA - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 30 avril 2020

Merci à Thibault Clarté et Jérémy Sautel pour leur précieuse aide.

Mots-clé : conservation de l'énergie, travail, frottements, chute libre, pendule simple, énergie interne, bilan thermique du corps humain.

Niveau : TS

Pré-requis :

- Dynamique : notion de force [seconde]
- Interactions fondamentales : poids et force coulombienne [TS]
- Énergie et puissance [1S]
- Incertitudes [TS]

Bibliographie :

- Taillet, *Dictionnaire de physique* [Niveau **]
- Belin, TS (programme 2012) [Niveau *]
- Nathan, 1^{re} enseignement scientifique, chap. 7 (programme 2019) [Niveau *]
- Hachette TS, chap. 7 (programme 2012) [Niveau *]

Plan proposé

I - Notion de travail	2
A/ Travail d'une force constante	2
B/ Travail d'une force conservative	3
C/ Travail d'une force non conservative	4
II - Conservation de l'énergie	4
A/ Théorème de l'énergie mécanique	4
B/ Chute libre	5
C/ Pendule simple	6
III - Du macroscopique au microscopique	6
A/ Énergie interne et conservation	7
B/ Bilan d'énergie du corps humain	7

Liste de matériel

Chute libre

- bille ;
- éprouvette graduée de 500 mL ;
- caméra avec une grande résolution temporelle ;
- ordinateur avec Latispro.

Oscillations d'un pendule

- pendule simple relié à un potentiomètre et possédant un embout amortisseur ;
- carte Sysam ;
- ordinateur avec Latispro.

Introduction pédagogique

Dans le cadre des anciens programmes. Cette notion est déjà vue en première, mais on va un peu plus loin en terminale S pour comprendre les phénomènes. Ce cours se place juste après un cours de dynamique, où la 2^{de} loi de Newton est introduite.

On traite en fin de cours l'exemple du bilan thermique du corps humain, qui entre en résonance avec les nouveaux programmes (enseignement scientifique) et qui est plus concret pour les élèves.

Ce cours présente également une méthodologie à mener pour résoudre un exercice faisant intervenir des énergies : savoir définir un système, présenter un bilan des forces et travaux...

Difficultés :

- Ne pas confondre travail, énergie et puissance, notions liées mais différentes ;
- Comprendre que si l'énergie ne semble pas se conserver, c'est qu'on a mal défini le système ;
- Calcul du travail : produit scalaire et signes ;
- Faire attention aux unités.

Exemples de TD : applications simples du cours, avec des situations quotidiennes (montagnes russes, skieur sur une pente, ...).

Exemples de TP : chute libre, oscillations d'un pendule, calorimétrie.

Introduction

L'énergie se conserve, notamment au travers de conversions entre différents types d'énergie. Par exemple, un skieur qui descend une piste transfère son énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique. Il y a également des transferts d'énergie dans le corps humain : les aliments que l'on mange nous apportent de l'énergie, que l'on dissipe ensuite dans nos muscles en faisant des efforts.

Objectifs – Comprendre et savoir appliquer le principe de conservation de l'énergie.
Comprendre les origines microscopiques et macroscopiques de l'énergie.

I - Notion de travail

| **Source** – Hachette TS (p. 190).

A/ Travail d'une force constante

| **Définition** – **Travail** : échange d'énergie dû au déplacement, à la déformation (ou à la modification interne) du système sous l'effet d'une action extérieure.

Remarque – Le travail est homogène à une énergie, il s'exprime en Joule, mais ce n'est pas une énergie !

Définition mathématique pour une force \vec{F} constante sur le chemin rectiligne \overrightarrow{AB} suivi.

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = \|\vec{F}\| \cdot \|\overrightarrow{AB}\| \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

Il existe trois types de travaux :

- **moteur** : l'angle entre \overrightarrow{AB} et \vec{F} est **inférieur à 90°** (figure 1a) ;
- **résistant** : l'angle entre \overrightarrow{AB} et \vec{F} est **supérieur à 90°** (figure 1b) ;
- la force **ne travaille pas** : l'angle entre \overrightarrow{AB} et \vec{F} est **nul** (figure 1c) ;

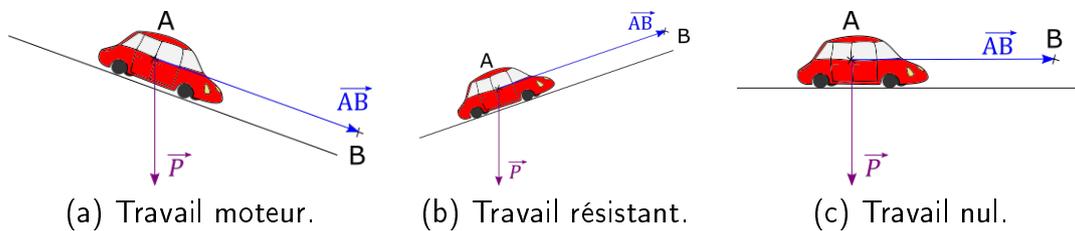


Figure 1 – Les trois types de travaux.

B/ Travail d'une force conservative

Déterminons les travaux de forces connues.

Travail du poids On se place dans un repère avec \vec{g} vers le bas et z définit positivement vers le bas.

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = mg\vec{e}_z \cdot (z_A - z_B)\vec{e}_z = mg(z_B - z_A) \quad (2)$$

On reconnaît l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur, donc :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) \quad (3)$$

Le travail du poids traduit donc la variation d'énergie potentielle du système entre le point de départ et le point d'arrivée.

Travail de la force électrostatique Dans un champ électrique constant \vec{E} , pour une charge q .

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \overrightarrow{AB} = q\vec{E} \cdot \overrightarrow{AB} = q(V(B) - V(A)) \quad (4)$$

et donc de même :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) = E_{pe}(A) - E_{pe}(B) \quad (5)$$

En fait, les travaux des **forces conservatives** sont **indépendants du chemin suivi**. L'expression (1) est donc valable même si la trajectoire entre A et B n'est pas rectiligne pour ces forces.

C/ Travail d'une force non conservative

On se limite dans le cadre de la terminale à l'étude d'un mouvement selon une trajectoire rectiligne, avec des **frottements solides** :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} \quad (6)$$

Au contact d'un solide, un objet en mouvement subit deux **forces de contact**, appliquées au contact entre le solide et l'objet (figure 2) :

- la **réaction normale** \vec{R} , qui est **normale à la surface du solide**. Ici, elle est également normale à la trajectoire de la voiture et ne travaille donc pas ;
- une **force de frottements solides** \vec{f} , **tangentielle à la surface du solide** donc orthogonale à la réaction normale, qui donne forcément lieu à un **travail résistant ou nul**.

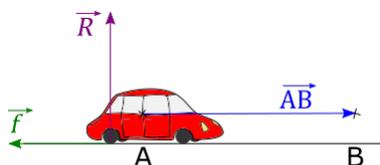


Figure 2 – Forces de contact exercées par le sol sur la voiture en mouvement.

Remarque – En toute rigueur, il faudrait dessiner une réaction normale et une force de frottement sur chacune des roues de la voiture. Pour alléger le schéma, ça n'a pas été fait.

II - Conservation de l'énergie

A/ Théorème de l'énergie mécanique

| **Source** – Belin TS (p. 143).

Rappels Energie mécanique : $E_m = E_p + E_c$, avec $E_c = \frac{1}{2}mv^2$.

On peut exprimer un principe de conservation sur l'énergie mécanique :

| **Définition** – **Théorème de l'énergie mécanique (TEM)** :

$\Delta E_m = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{NC})$, avec \vec{F}_{NC} l'ensemble des forces non conservatives appliquées sur le système.

On remarque que s'il n'y a **pas de forces non conservatives** ou si elles ne **travaillent pas**, l'énergie mécanique **se conserve**.

B/ Chute libre

On va essayer de comprendre pourquoi un plongeur qui plonge dans une piscine ne touche pas le fond.

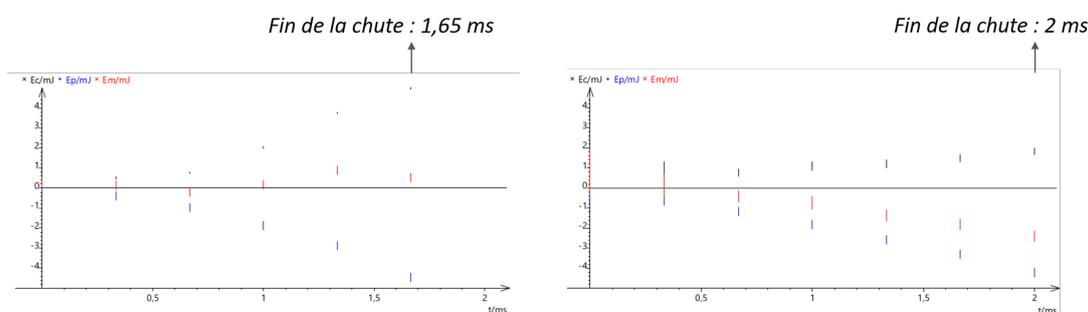
Méthode

1. *Système* : le {plongeur};
2. *Référentiel* : terrestre supposé galiléen;
3. *Repère* : cartésien;
4. *Direction du mouvement* : $\overrightarrow{AB} = z\overrightarrow{e}_z$;
5. *Bilan des forces* : $\overrightarrow{P} = mg\overrightarrow{e}_z$;
6. *Calcul des travaux des forces non conservatives, des énergies potentielle et cinétique* : $E_{pp} = mgz$, $E_c = \frac{1}{2}mv^2$;
7. *TEM* $\Rightarrow \Delta E_m = 0$ en l'absence de frottements et $\Delta E_m < 0$ en présence de frottements.

À noter qu'en présence de frottements (dans l'eau en particulier), ΔE_m est différent de 0.

Expérience – Chute libre d'une bille dans l'air et dans l'eau.

Pointage vidéo et tracés dans les deux cas des énergies cinétiques, potentielles et mécaniques.



(a) Tracés des énergies mécanique, potentielle et cinétique de la bille au cours de sa chute dans l'air.

(b) Tracés des énergies mécanique, potentielle et cinétique de la bille au cours de sa chute dans l'eau.

Figure 3 – Expérience de la chute libre d'une bille dans l'air et dans l'eau.

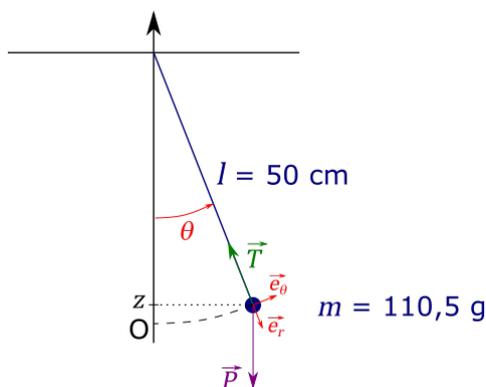
Script Python – Tracé des courbes d'énergies mécanique, potentielle et cinétique pour la chute d'une bille dans l'air (en l'absence de frottements).

On remarque que la chute libre dans l'air est plus rapide (figure 3a) et que l'énergie mécanique ne se conserve pas dans l'eau (figure 3b).

C/ Pendule simple

Vérifions de même si l'évolution de l'énergie mécanique lors des oscillations d'un pendule simple. Tout d'abord, calculons les expressions des énergies mécanique, cinétique et potentiel en fonction de l'angle θ . Pour cela, on reprend la méthode de la sous-partie B/ :

1. *Système* : la {masse} du pendule ;
2. *Référentiel* : terrestre supposé galiléen ;
3. *Repère* : polaire ;
4. *Direction du mouvement* : $\overrightarrow{AB} = l\theta\vec{e}_\theta$ (l'expression n'est pas à retenir) ;
5. *Bilan des forces* : $\vec{P} = m\vec{g} = mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta)$, $\vec{T} = -T\vec{e}_r$;
6. *Calcul des travaux des forces non conservatives, des énergies potentielle et cinétique* : $W_{A\rightarrow B}(\vec{T}) = 0$, $E_{pp} = mgl(1 - \cos\theta)$, $E_c = \frac{1}{2}m\left(l\frac{d\theta}{dt}\right)^2$;
7. *TEM* $\Rightarrow \Delta E_m = 0$ en l'absence de frottements et $\Delta E_m < 0$ en présence de frottements.



Expérience – Acquisition de l'angle du pendule en fonction du temps par LatisPro, avec et sans frottements solides.

Tracé des évolutions des énergies mécaniques au cours du temps.

Remarque – La notice du pendule n'est pas fiable. Il faut calculer soi-même le facteur de conversion angle-tension.

Script Python – Tracé des courbes d'énergies mécanique, potentielle et cinétique pour les oscillations d'un pendule en l'absence de frottements.

III - Du macroscopique au microscopique

L'énergie mécanique ne se conserve pas dans certains cas. Pour comprendre comment elle est dissipée, il faut passer à l'échelle microscopique.

A/ Énergie interne et conservation

Définition – Énergie interne U : énergie qui prend en compte les phénomènes microscopiques. Elle est exprimée en joules (J).

Pour un solide ou un liquide hors changement d'état, l'énergie interne vérifie :

$$\Delta U = C\Delta T = mc\Delta T \quad (7)$$

où C est la **capacité thermique** du composé.

Comme pour l'énergie mécanique, on peut énoncer un **principe de conservation d'énergie**, plus fort que celui de l'énergie mécanique, pour un **système fermé** :

$$\Delta E_m + \Delta U = Q + W \quad (8)$$

où Q est un transfert thermique et W le travail des forces non conservatives.

B/ Bilan d'énergie du corps humain

Source – Nathan *Enseignement scientifique 1^{re}* (p. 158) – Regarder l'énoncé de l'activité documentaire.

Le corps humain reçoit de l'énergie des aliments qui sont consommés : ils sont oxydés par le métabolisme du corps, ce qui lui apporte de l'énergie chimique. On peut lire l'énergie apportée par les aliments sur les étiquettes énergétiques des produits que l'on consomme. Souvent, ces énergies sont exprimées en kcal.

Définition – Calorie : énergie à apporter à un gramme d'eau pour passer de $14,5^\circ\text{C}$ à $15,5^\circ\text{C}$: $1\text{ cal} = 4,18\text{ J}$.

Le corps dépense une grande partie de cette énergie en faisant des efforts. Les muscles utilisent l'énergie chimique pour produire de l'énergie mécanique : ils sont mis en mouvement.

Au repos, le corps **rayonne** de l'énergie. Cette énergie est environ égale à **100 W par jour**.

Si l'on fait le bilan de l'apport d'énergie par les aliments et la dépense par les efforts physiques et par rayonnement, on trouve une énergie nulle : l'énergie se conserve dans le corps humain (figure 4).

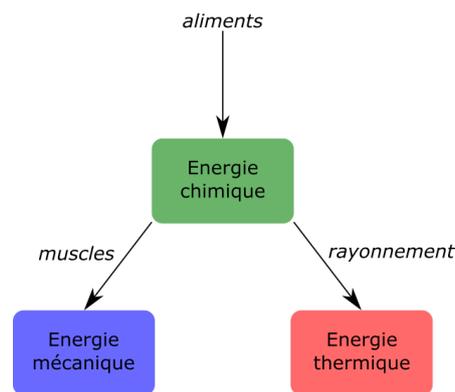


Figure 4 – Bilan thermique du corps humain.

Conclusion

Formulaire

- Travail d'une force constante : $W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB}$ (connaître les exemples du poids, de la force électrostatique et des frottements solides) ;
- Théorème de l'énergie mécanique : $\Delta E_m = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{NC})$;
- Théorème général de conservation : $\Delta E_m + \Delta U = Q + W$.

Méthode de résolution des exercices

1. Définition du système ;
2. Définition du référentiel ;
3. Définition du repère ;
4. Expression de la direction du mouvement ;
5. Bilan des forces ;
6. Calcul des travaux des forces non conservatives, des énergies potentielle et cinétique ;
7. TEM.

Le cours "LP n° 14 – Transferts thermiques" détaille le terme de transfert thermique Q de l'équation de conservation.