

## PARTIE 4 : MECANIQUE

### Séquence 4 : Travail et énergie

#### Séance 2 : Etude énergétique du pendule, un oscillateur mécanique

## I. Oscillateurs mécaniques

### 1. Définition

Un oscillateur mécanique est un système dont :

- le mouvement est périodique, 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 position d'équilibre stable  
(Ex : balançoire ; balancier d'une horloge)

### 2. Le pendule simple

C'est un solide ponctuel G de masse m, suspendu en un point fixe par un fil sans masse, inextensible de longueur  $\ell$ .

Remarque : si le solide n'est pas de petite dimension on parle de **pendule pesant**.

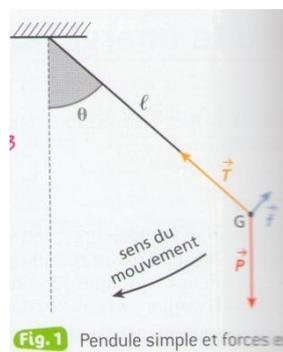
Système étudié : {pendule}

Référentiel : terrestre supposé galiléen

Bilan des forces :

- son poids  $\vec{P}$
- la tension du fil  $\vec{T}$  qui est perpendiculaire à la direction du mouvement
- frottement de l'air  $\vec{f}$
- poussée d'Archimède  $\vec{P}_A$  qui est négligée

$\vec{T}$  est perpendiculaire à la direction du mouvement et donc ne travaille pas.



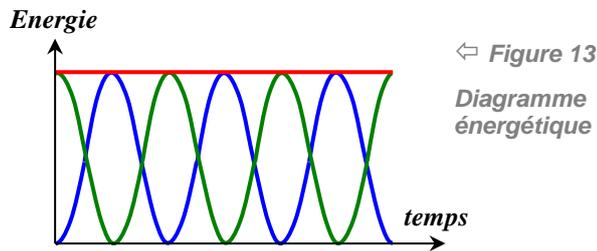
A l'équilibre le fil est vertical et la position de G est repérée par l'angle  $\theta$  entre le fil et sa position d'équilibre appelé **écart angulaire**.

La valeur extrême (ou maximale) prise par  $\theta(t)$ , notée  $\theta_m$ , est appelée **amplitude angulaire** de l'oscillation.

Si les frottements peuvent être négligés l'énergie mécanique du pendule est constante au cours du temps :

$$\mathbf{E_m = E_c + E_{pp} = c^{te}}$$

L'énergie cinétique se transforme en énergie potentielle de pesanteur et réciproquement, au cours du mouvement.



⇨ **Figure 13**  
**Diagramme**  
**énergétique**

**Application**

**Vitesse et position d'un pendule**

Un pendule est modélisé par un point G de masse  $m = 100$  g accroché à un fil de longueur  $\ell = 40$  cm. Il est lâché sans vitesse initiale d'un angle  $\theta_0 = 10^\circ$  avec sa position d'équilibre A. Tout frottement est négligé. Déterminer la vitesse  $v_{\max}$  de G au passage par sa position d'équilibre.

À l'instant initial, l'énergie potentielle de pesanteur de G est  $E_{pp}(0) = mg\ell(1 - \cos\theta_0)$  si la référence est prise au point A (Fig. 3). L'énergie cinétique initiale est nulle puisque l'objet est lâché sans vitesse initiale. L'énergie mécanique initiale est donc :

$$E_m(0) = E_{pp}(0) = mg\ell(1 - \cos\theta_0).$$

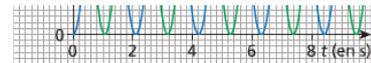
Au passage par la position d'équilibre, l'énergie potentielle de pesanteur est nulle et l'énergie cinétique vaut  $E_{c\max} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$ .

Comme tout frottement est négligé et comme la tension du fil ne travaille pas, l'énergie mécanique est constante. Cela donne :

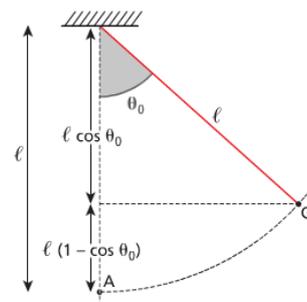
$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = mg\ell(1 - \cos\theta_0) \text{ d'où s'extrait } v_{\max} = \sqrt{2g\ell(1 - \cos\theta_0)}.$$

Le calcul donne  $v_{\max} = \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,40 \times (1 - \cos(10^\circ))} = 0,35 \text{ m.s}^{-1}$ .

► **Exercices 7, 8 et 9** p. 252 et 253



**Fig. 2** Courbes représentatives des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique d'un pendule simple en fonction du temps lors d'oscillations sans frottement.



**Fig. 3** Situation initiale du pendule.

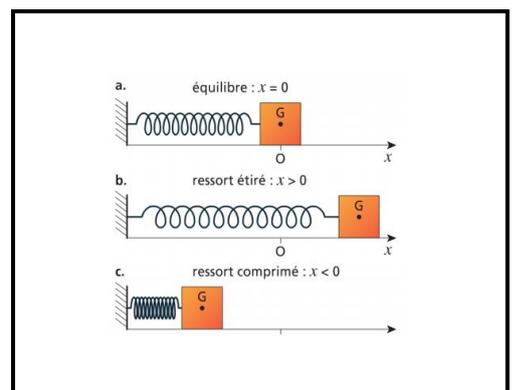
### 3. Le pendule élastique horizontal

Un pendule élastique est composé d'un objet de masse  $m$  accroché à l'extrémité d'un ressort de constante de raideur  $k$ .

$k$  traduit la capacité du ressort à résister à son allongement.

A l'équilibre le ressort n'est ni étiré, ni allongé. La position de l'objet est repérée par l'**élongation**  $x$  du ressort.

La déformation du ressort (étirement ou compression) lui confère une certaine forme d'énergie appelée **énergie potentielle élastique**  $E_{pe}$  telle que  $E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$



Si les frottements peuvent être négligés l'énergie mécanique du pendule est constante au cours du temps :

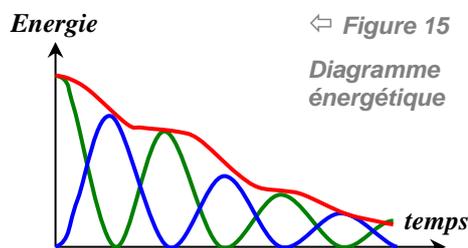
$$\mathbf{E_m = E_c + E_{pe} = c^{te}}$$

L'énergie cinétique se transforme en énergie potentielle élastique et réciproquement, au cours du mouvement.

## II. Dissipation d'énergie

Si les forces de frottement ne peuvent être négligées, des forces non conservatives travaillent.

Dans le cas du pendule, le diagramme énergétique devient alors :



Les oscillations s'accompagnent d'une **dissipation d'énergie**, c'est-à-dire une diminution progressive de l'énergie mécanique, par transfert thermique entraînant l'échauffement du milieu.

**L'énergie mécanique ne se conserve pas et sa variation au cours du temps est égale au travail de la résultante des forces non conservatives appliquées au système.**

$$E_m \neq cste \quad \Leftrightarrow \quad \Delta E_m = W(\sum \vec{f})$$

## III. Définition et mesure du temps

Activité documentaire p 188 et 189 (HACHETTE)

La seconde (s) est l'unité de mesure d'une durée dans le système international (S.I)

### 1. Oscillateurs et mesure du temps

De nombreux dispositifs de mesure du temps utilisent des oscillateurs mécaniques. Leur période sert de référence de durée : mesurer le temps revient à compter un nombre d'oscillations de période connue.

#### a) Période des oscillations d'un pendule simple

Pour de petites oscillations, la période  $T$  d'un pendule simple de longueur  $l$  est :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

avec  $g$  : valeur du champ de pesanteur

$T$  est indépendante de la masse du pendule.

➤ Analyse dimensionnelle :  $[T_0] = \sqrt{\frac{[l]}{[g]}} = \sqrt{\frac{L}{L \times T^{-2}}} = \sqrt{T^2} = T$

**La période propre du pendule simple a bien la dimension d'un temps**

## **b) Période des oscillations d'un oscillateur élastique**

La période  $T$  d'un pendule élastique comportant un solide de masse  $m$  accroché à un ressort de raideur  $k$  est :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

## **2. Evolution de la mesure de la seconde**

La seconde, unité SI de temps, a été établie selon les connaissances et les possibilités techniques de chaque époque.

- Elle a d'abord été définie comme la fraction  $1/86400$  du jour solaire terrestre moyen.
- En 1956, pour tenir compte des imperfections de la rotation de la Terre qui ralentit notamment à cause des marées, elle a été basée sur la révolution de la Terre autour du Soleil et définie comme la fraction  $1/31\,556\,925,9747$  de l'année tropique 1900 (*c'est-à-dire de la durée écoulée entre deux équinoxes de printemps en 1900 (milieu du printemps)*).
- Depuis 1967, la seconde n'est plus définie par rapport à l'année, mais par rapport à une propriété de la matière : les oscillations atomiques.

## **3. Définition actuelle de la seconde**

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes (d'un nombre fixé) de la radiation correspondant à une certaine transition électronique dans l'atome de césium 133.

La seconde, étalon de mesure du temps, est ainsi un multiple de la période de l'onde émise par un atome de césium 133 lorsqu'un de ses électrons change de niveau d'énergie.