

Chapitre 16 - Formes et conservation de l'énergie

Manuel pages 274 à 291

Choix pédagogiques

Dans ce dernier chapitre de la partie du programme « Comprendre - Lois et modèles », nous faisons appel aux connaissances des élèves concernant différentes formes d'énergie rencontrées dans les chapitres précédents et en classe de troisième. Il s'agit d'amener les élèves à découvrir et exploiter un principe fondamental de la physique : celui de conservation de l'énergie.

Nous avons choisi d'orienter les activités expérimentales sur des expériences de mécanique afin de vérifier le principe de conservation de l'énergie mécanique dans les situations de chute libre. Des situations mettant en jeu d'autres formes d'énergie, abordées dans la première activité par exemple, conduisent à exploiter le principe plus général de conservation de l'énergie.

La découverte du neutrino vient clôturer le chapitre. Afin de la présenter aisément, nous avons choisi d'en faire l'un des sujets de la double page de « Culture scientifique et citoyenne ». Véritable illustration des avancées contemporaines s'appuyant sur une démarche scientifique, elle permet de montrer que l'observation de résultats d'expériences peut nécessiter – pour les expliquer sur la base de connaissances, lois et modèles existants – de créer de nouveaux concepts vérifiés expérimentalement à posteriori.

Des simulations et des vidéos ont été créées pour illustrer ce chapitre et aider à sa compréhension. Elles sont disponibles dans le manuel numérique enrichi et sur le site compagnon.

Double page d'ouverture

Saut en parachute : prendre de la hauteur pour prendre de la vitesse

En faisant appel aux connaissances des élèves et à l'observation de la photo, la chute du parachutiste permet de faire le lien entre des énergies déjà rencontrées en classe de troisième et les paramètres – masse, hauteur, vitesse, etc – dont elles peuvent dépendre. Elle permet d'introduire les expressions d'énergies cinétique et potentielle.

Le Soleil : une boule d'énergie

Cette photographie permet, sous forme d'un débat en groupe, de dégager l'existence de formes d'énergie autres que mécanique. Elle peut aussi donner l'occasion d'introduire deux modes de transfert possibles (thermique ou par rayonnement).

Thermographie d'une voiture en freinage

Il s'agit d'aborder simplement le fait que l'énergie n'est pas une grandeur qui se détruit. L'énergie de la voiture a diminué (diminution de la vitesse sans changement d'altitude) mais l'énergie perdue par le système sous l'effet des frottements a simplement été transférée, par transfert thermique et par rayonnement, au milieu extérieur ce qui se traduit par une augmentation de la température des pneus et des freins.

Découvrir et réfléchir

Activité documentaire 1. Formes et transferts d'énergie d'un système

Commentaires

Il s'agit d'une activité introductive. Les formes d'énergies et modes de transfert sont cités. L'intention est de manipuler ces termes, d'en comprendre le sens, d'attirer l'attention sur les notions de système et de milieu extérieur, puis d'envisager les possibilités de conversions d'énergie au sein d'un système et des échanges avec le milieu extérieur.

Réponses

1. Observer

a. et b.

Photo	a	b	c	d
Système	Soleil	Cycliste + vélo	Lampe	Bûches
Forme d'énergie	Nucléaire	Mécanique	Électrique	Chimique
Mode de transfert <i>illustré par la photo</i>	Transfert par rayonnement	Transfert thermique et par forces de frottement	Transfert thermique et par rayonnement	Transfert thermique et par rayonnement

2. Analyser

Photo	e	f	g	h
Système	Éolienne	Moteur	Muscle	Barrage
Conversion d'énergie opérée par le système	Mécanique → Électrique	Électrique → Mécanique	Chimique → Mécanique	Mécanique → Électrique

3. Exploiter

a. Système : { Deux parachutistes + Terre }. Le milieu extérieur est constitué par l'air.

b. Au cours de la chute, l'énergie de position, appelée par la suite énergie potentielle de pesanteur, est convertie en énergie cinétique.

c. Toute l'énergie de position perdue suite à la perte d'altitude n'est pas convertie en énergie cinétique. Ainsi, l'énergie mécanique du système ne reste pas constante. Le système échange de l'énergie avec le milieu extérieur selon un transfert thermique du fait des frottements.

Remarque. Le transfert thermique entraîne notamment un échauffement des combinaisons des parachutistes. Ceci explique qu'un parachutiste puisse sauter en simple tee-shirt sous sa combinaison en dépit de températures très faibles à haute altitude où l'utilisation de combinaison résistant à une température de 120 °C pour des sauts à 8 000 m d'altitude alors que la température moyenne de l'air ambiant peut atteindre -50 °C à cette altitude.

Activité expérimentale 2. Vérifier la conservation de l'énergie

Commentaires

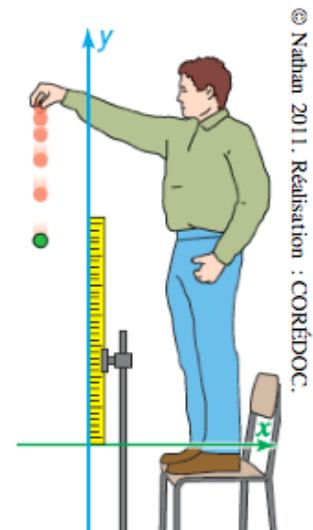
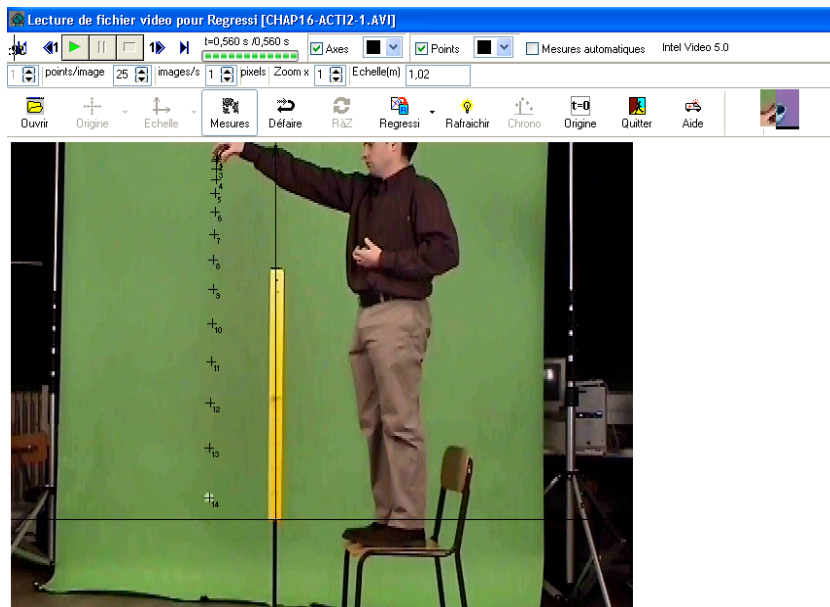
L'intention est d'exploiter deux enregistrements – l'un avec une vitesse initiale nulle, l'autre avec une vitesse initiale non nulle et non verticale – pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle d'un système (balle en interaction avec la Terre) au cours du mouvement de chute considérée comme libre, et de constater que l'énergie se conserve dans les deux cas.

L'élève est ainsi amené à énoncer ou vérifier le principe de conservation de l'énergie mécanique dans le cas d'un objet ponctuel en chute libre.

Cette activité donne l'occasion à l'élève de se familiariser avec un logiciel de pointage et de traitement de données. Afin de disposer d'une durée suffisante pour exploiter sereinement cette activité, la réalisation d'un enregistrement est reportée à l'activité suivante.

Exemples de résultats obtenus dans le cas de l'exploitation des enregistrements proposés sur le site compagnon. Masse de la balle : 45 g

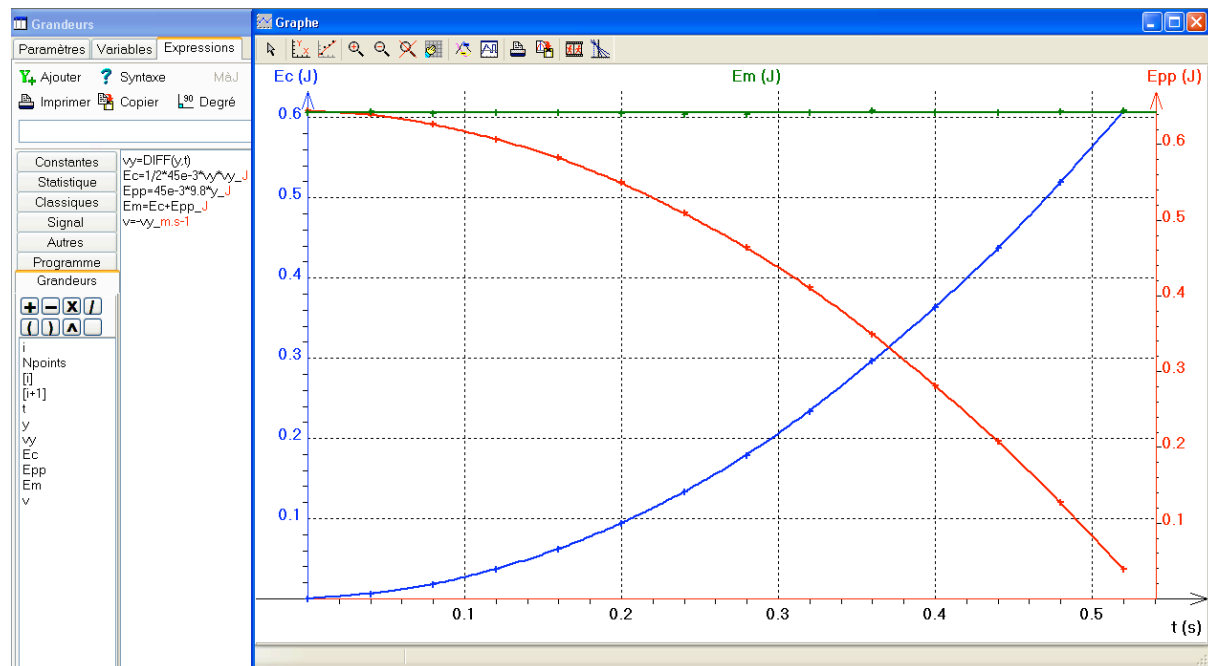
Expérience 1



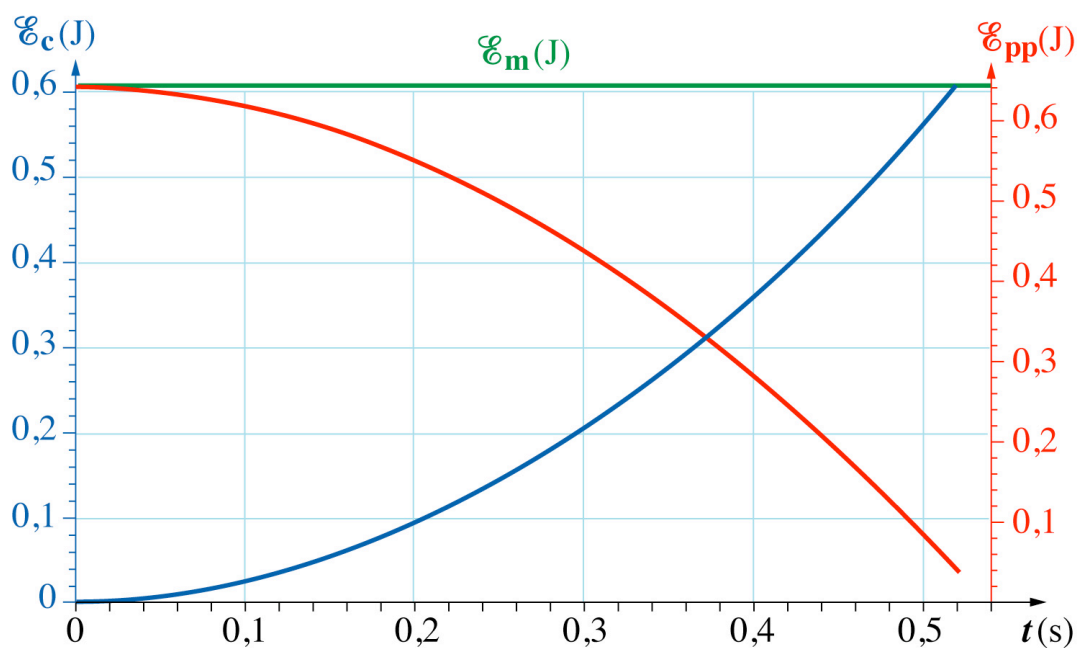
Capture d'écran sur le logiciel Regressi et schéma du dispositif (mouvement de chute sans vitesse initiale).

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur

Chapitre 16. Formes et conservation de l'énergie



Capture d'écran du résultat sur le logiciel Regressi



Évolution de l'énergie cinétique ($\mathcal{E}_c$), de l'énergie potentielle de pesanteur ($\mathcal{E}_{pp}$) et de l'énergie mécanique ($\mathcal{E}_m$) en fonction du temps.

© Corédoc. Nathan 2011

Réponses

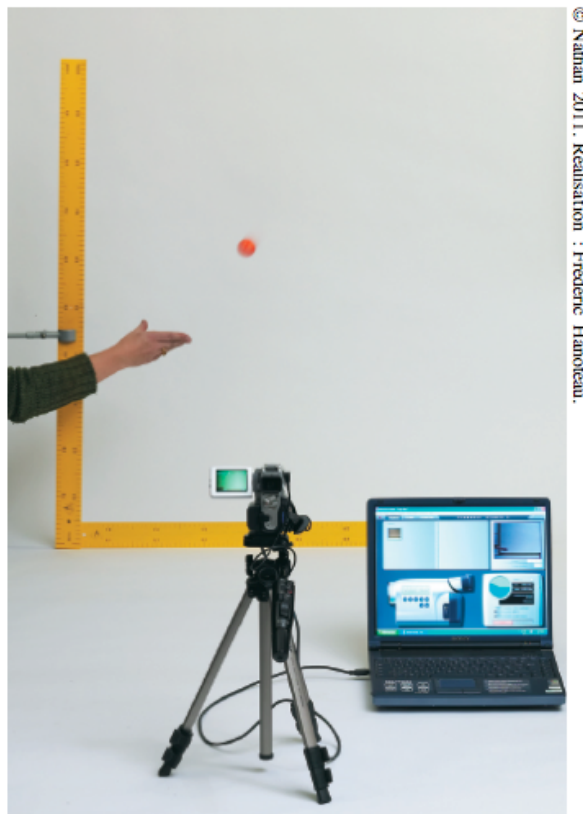
1. Observer

- a. Au cours de la chute de la balle dans le référentiel terrestre et pour le système étudié $\{ \text{balle en interaction avec la Terre} \}$, $\mathcal{E}_c$ augmente, $\mathcal{E}_{pp}$ diminue mais $\mathcal{E}_m = \text{constante}$.
- b. Au cours de la chute observée, la vitesse v de la balle augmente, ce qui est compatible avec une augmentation de l'énergie cinétique $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$.

2. Interpréter puis conclure

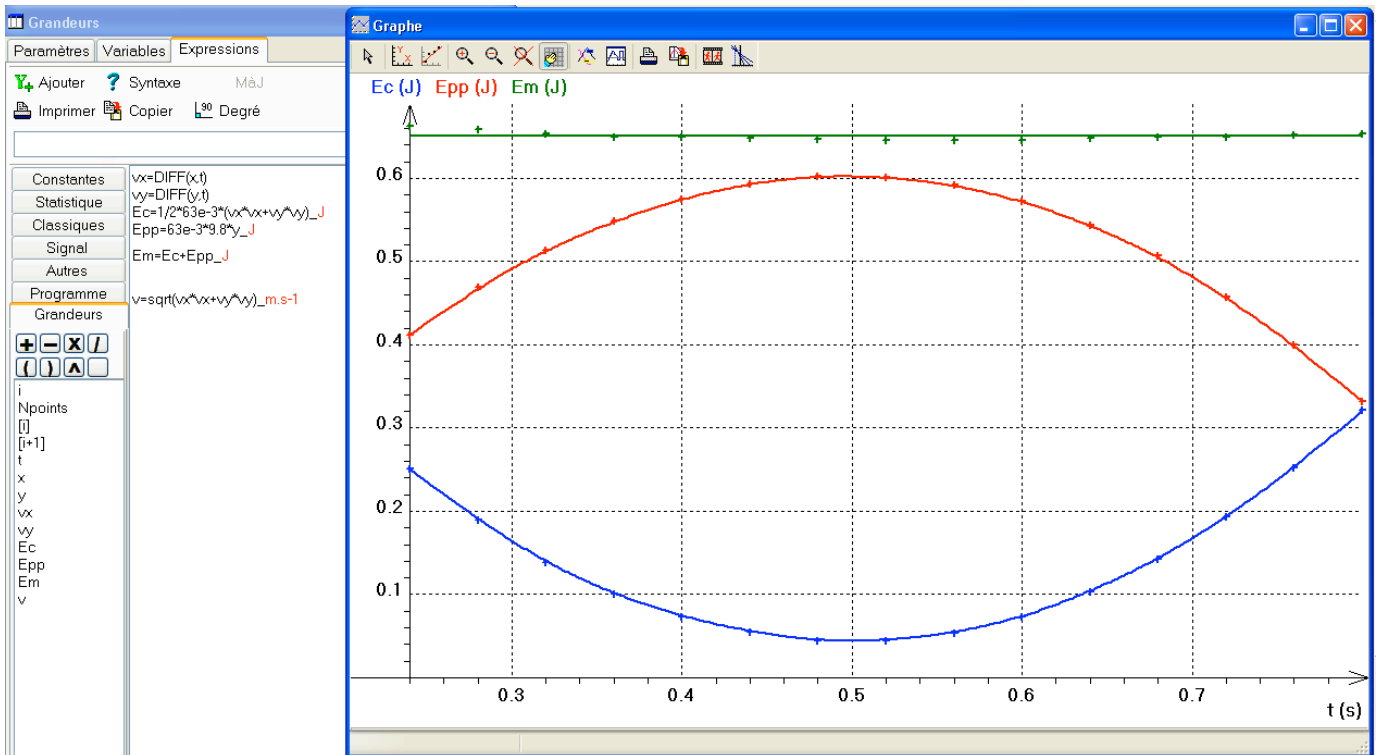
- a. Au cours de la chute observée, la balle se rapproche du sol. Son altitude diminue, ce qui se traduit par une diminution de $\mathcal{E}_{pp}$.
- b. $\mathcal{E}_m$ reste constante donc, au cours de la chute de la balle, l'énergie mécanique se conserve. Il y a échange continu d'énergie cinétique en énergie potentielle de pesanteur de telle sorte que l'énergie mécanique se conserve : $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{pp} = \text{cte}$.

Expérience 2

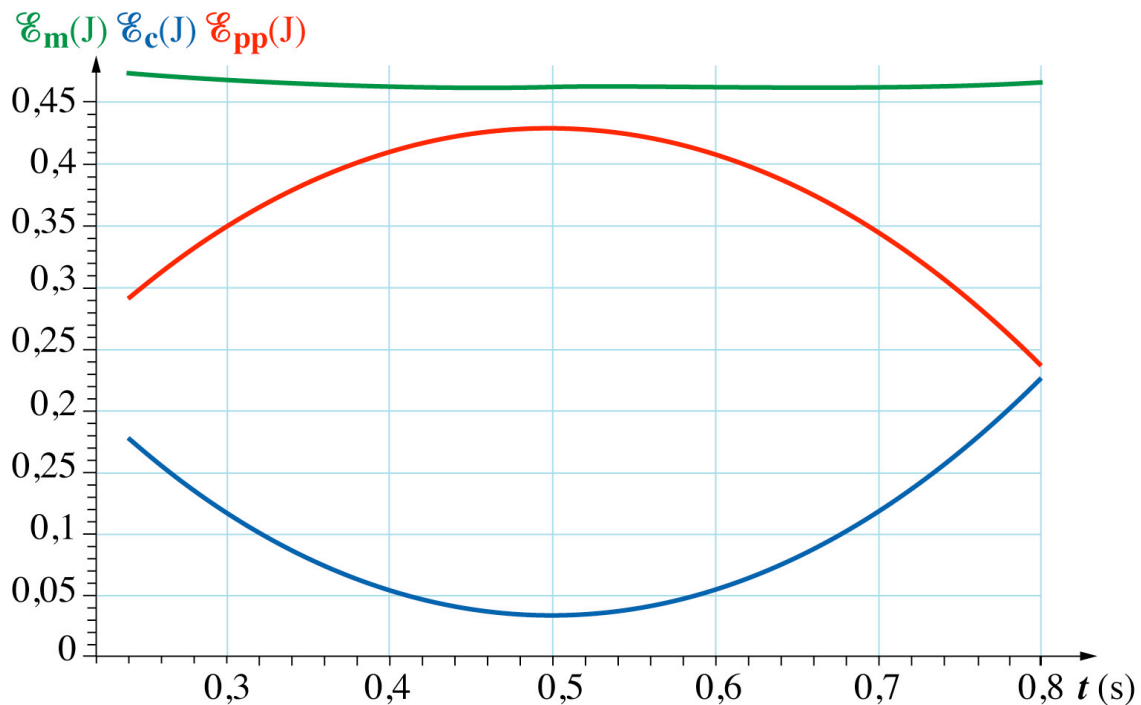


*Dispositif d'observation d'un mouvement de chute
avec vitesse initiale non verticale*

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 16. Formes et conservation de l'énergie



Capture d'écran du résultat sur le logiciel Regressi



Évolution de l'énergie cinétique (E_c), de l'énergie potentielle de pesanteur (E_{pp}) et de l'énergie mécanique (E_m) en fonction du temps.

© Corédoc. Nathan 2011

Réponses

1. Observer

- a.** Au cours de la chute de la balle dans le référentiel terrestre et pour le système étudié $\{ \text{balle en interaction avec la Terre} \}$, $\mathcal{E}_c$ diminue puis augmente, $\mathcal{E}_{pp}$ augmente puis diminue mais $\mathcal{E}_m$ reste constante.
- b.** Au cours de la chute observée, la vitesse de la balle diminue lorsque la balle monte puis augmente lorsque la balle redescend, ce qui se traduit bien par les mêmes sens de variation de l'énergie cinétique $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$.

2. Interpréter puis conclure

- a.** Au cours de la chute observée, la balle s'éloigne puis se rapproche du sol. Son altitude augmente puis diminue, ce qui se traduit bien par une augmentation puis une diminution de l'énergie potentielle de pesanteur $\mathcal{E}_{pp}$.
- b.** $\mathcal{E}_m$ reste constante donc, au cours de la chute de la balle, l'énergie mécanique se conserve.

Bilan

Dans le cas de la chute libre d'un solide, l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de pesanteur s'échangent l'une et l'autre de telle sorte que l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m$ soit conservée :

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{pp} = \text{constante}$$

Activité expérimentale 3. Chute dans un fluide visqueux

Commentaires

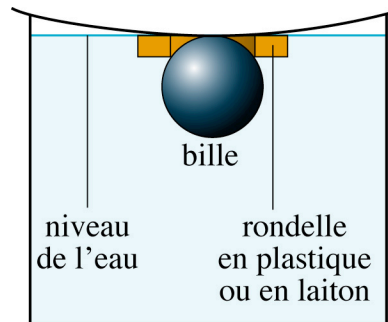
Réaliser et exploiter un enregistrement pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique d'un système au cours du mouvement est une compétence attendue.

Le matériel utilisé dans cette activité permet à chaque élève, ou binôme d'élèves, de réaliser son propre enregistrement. On peut envisager aussi un TP tournant autour d'un ou deux postes disposant du matériel nécessaire à l'enregistrement.

L'eau sucrée a été préférée à l'huile car :

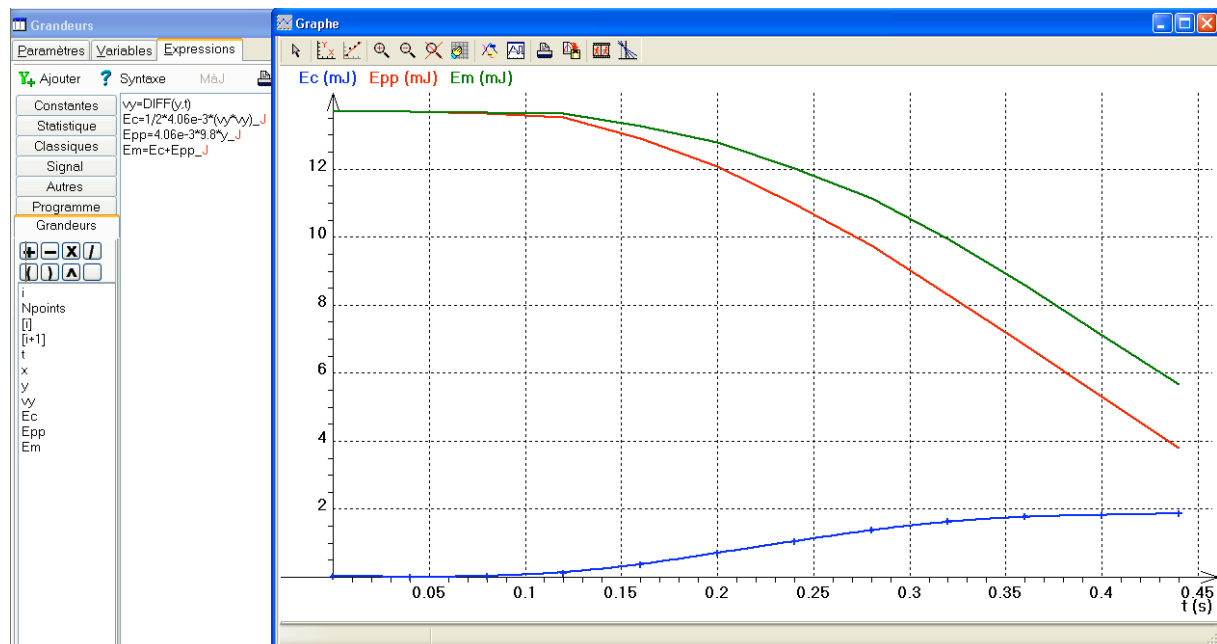
- on peut modifier sa viscosité et sa densité en changeant sa concentration ;
- le nettoyage du matériel est plus facile.

Pour que la bille soit complètement immergée au départ sans faire déborder l'eau sucrée, on utilise un verre de montre sous lequel est fixée, à l'aide d'une goutte de colle, une rondelle en plastique ou en laiton. Un aimant maintient la bille avant l'enregistrement et peut servir à récupérer la bille si nécessaire, sans transvasement de l'eau sucrée.

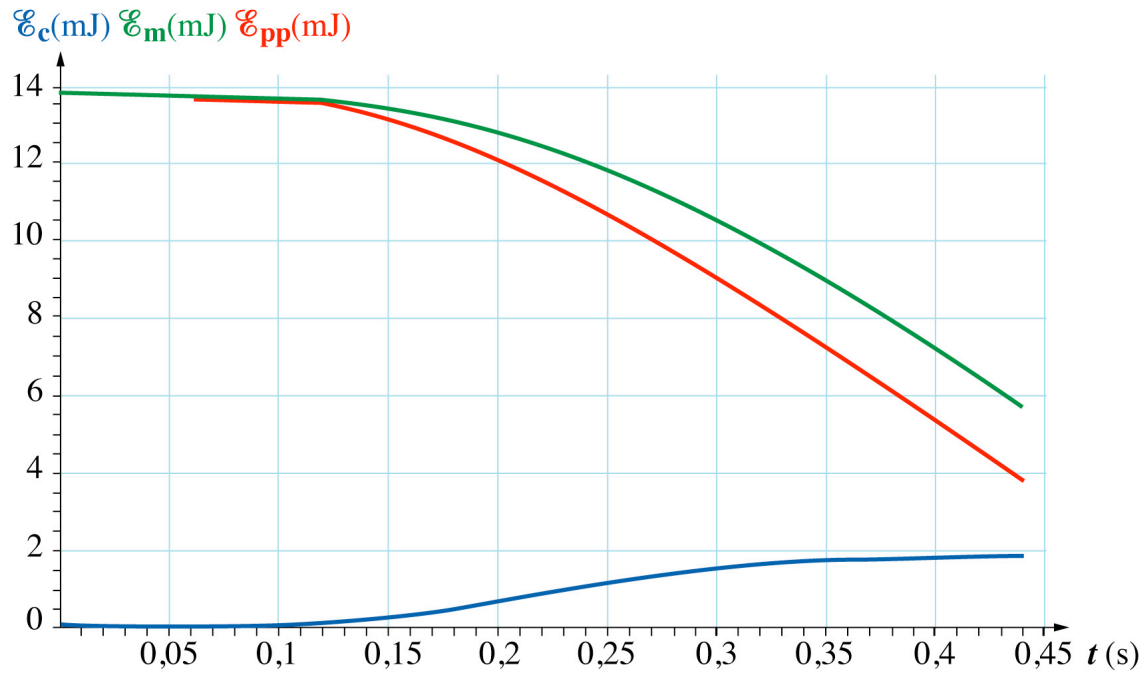


© Corédoc. Nathan 2011

Exemples de résultats obtenus dans le cas de l'exploitation de l'enregistrement proposé sur le site compagnon. Masse de la bille : 4,06 g



Capture d'écran du résultat sur le logiciel Regressi



© Corédoc. Nathan 2011

Évolution de l'énergie cinétique ($\mathcal{E}_c$), de l'énergie potentielle de pesanteur ($\mathcal{E}_{pp}$) et de l'énergie mécanique ($\mathcal{E}_m$) en fonction du temps.

Réponses

1. Observer

- a.** Au cours de la chute de la bille dans l'eau sucrée, dans le référentiel terrestre et pour le système étudié $\{ \text{bille en interaction avec la Terre} \}$, $\mathcal{E}_c$ augmente tandis que les énergies $\mathcal{E}_{pp}$ et $\mathcal{E}_m$ diminuent sans cesse.
- b.** Au cours de la chute, la vitesse de la balle augmente ce qui est compatible avec l'évolution de l'énergie cinétique $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$.

2. Interpréter

- a.** Au cours de la chute de la balle sans vitesse initiale, la balle se rapproche du sol. Son altitude diminue ce qui se traduit par une diminution de $\mathcal{E}_{pp}$.
- b.** $\mathcal{E}_m$ diminue au cours de la chute de la balle dans le fluide visqueux : l'énergie mécanique d'un système en mouvement ne se conserve pas s'il y a des frottements mais décroît sans cesse.

3 Conclure

Du fait des frottements, l'énergie mécanique est dissipée par transfert thermique.

Exercices

Exercices d'application

5 minutes chrono !

1. Mots manquants

- a. vitesse
- b. potentielle ; altitude
- c. cinétique ; masse ; translation ; vitesse
- d. uniforme ; potentielle ; pesanteur ; altitude ; haut
- e. mécanique
- f. joule ; J
- g. diminue ; se conserve
- h. diminution : transfert
- i. créée ; détruite

2 QCM

- a. $1,25 \times 10^2$ J.
- b. -10 kJ.
- c. 2.
- d. $\mathcal{E}_c(A) = \mathcal{E}_c(B)$.
- e. Sa vitesse est égale à $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ lorsqu'elle touche le sol.

Mobiliser ses connaissances

Énergies cinétique et potentielle (§1 du cours)

3. a. $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}Mv^2$ pour l'automobiliste en mouvement de translation.
- b. $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$ n'est pas applicable à la jante en mouvement de rotation mais est applicable lorsque qu'elle est en mouvement de translation (freinage, roue bloquée).

4. a. L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur est $\mathcal{E}_{pp} = Mgz$ si $\mathcal{E}_{pp}(O) = 0$ J.

Si O est confondu avec B , $\mathcal{E}_{pp}(B) = 0$ J. Donc $\mathcal{E}_{pp}(A) = Mgz_A = Mgd_2$.

b. Si O est situé au plafond, $z_A = -d_1$ et $z_B = -(d_1 + d_2)$

donc $\mathcal{E}_{pp}(A) = -Mgd_1$ et $\mathcal{E}_{pp}(B) = -Mg(d_1 + d_2)$.

c. Si O est confondu avec B , $\mathcal{E}_{pp}(B) = 0$ J et $\mathcal{E}_{pp}(A) = Mgd_2$.

La variation est $\mathcal{E}_{pp}(B) - \mathcal{E}_{pp}(A) = 0 - Mgd_2 = -Mgd_2$.

Si O est situé au plafond, $\mathcal{E}_{pp}(A) = -Mgd_1$ et $\mathcal{E}_{pp}(B) = -Mg(d_1 + d_2)$ donc la variation est :

$$\mathcal{E}_{pp}(B) - \mathcal{E}_{pp}(A) = -Mg(d_1 + d_2) - (-Mgd_1) = -Mgd_2.$$

Ainsi, la variation d'énergie potentielle entre les points A et B ne dépend pas du choix de l'origine de $\mathcal{E}_{pp}$.

5. $\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}Mv^2 - MgL.$

Conservation et non conservation de l'énergie mécanique (§2 du cours)

6. a. Il y a dissipation d'énergie par transfert thermique et par rayonnement : l'énergie mécanique du météore en interaction avec la Terre ne se conserve pas mais décroît sans cesse.
b. Cette variation est causée par les frottements de l'air dès l'entrée du météore dans l'atmosphère.

7. a. La balle de golf est le système considéré. Pour un système en mouvement de chute libre, l'énergie mécanique, somme des énergies cinétique et potentielle de pesanteur, se conserve. Entre les points O de départ et I de retombée sur le sol, on peut écrire :

$$\mathcal{E}_c(O) + \mathcal{E}_{pp}(O) = \mathcal{E}_c(I) + \mathcal{E}_{pp}(I)$$

Comme O et I sont à la même altitude, les énergies potentielles de pesanteur de la balle sont égales.

Ainsi, les énergies cinétiques de la balle en O et en I le sont aussi : $v_I = v_O = 250 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

- b. Comme la vitesse de la balle est très grande, il est probable que les forces de frottement de l'air sur la balle seront responsables d'une dissipation d'énergie qui fera diminuer l'énergie mécanique du système. Les énergies potentielles étant toujours égales en O et en I , la diminution d'énergie affectera l'énergie cinétique et $\mathcal{E}_c(I) < \mathcal{E}_c(O)$, ce qui entraîne :

$$v_I < v_O = 250 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}.$$

Principe de conservation de l'énergie (§3 du cours)

8. a. La pile convertit de l'énergie chimique en énergie électrique. Le moteur convertit de l'énergie électrique en énergie mécanique.
b. Transfert thermique au niveau du générateur, du moteur et des fils de connexions.
Transfert thermique et par rayonnement en ce qui concerne la lampe.
c. Il n'y a pas d'apport d'énergie. L'énergie est dissipée suivant les modes de transfert précédents.

Utiliser ses compétences

9. L'énergie cinétique d'un objet en translation est $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$.

- a. La masse de l'avion est $m = 180 \text{ t} = 1,8 \times 10^5 \text{ kg}$

et sa vitesse $v = 860 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = \frac{860 \times 10^3}{3600} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\text{Donc } \mathcal{E}_c = \frac{1}{2} \times 1,80 \times 10^5 \times \left(\frac{860}{3,6} \right)^2 = 5,14 \times 10^9 \text{ J.}$$

- b. La masse de l'escargot est $m = 12 \text{ g} = 1,2 \times 10^{-2} \text{ kg}$

et sa vitesse $v = 5,0 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1} = \frac{5,0}{3600} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\text{Donc } \mathcal{E}_c = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 10^{-2} \times \left(\frac{5,0}{3600} \right)^2 = 1,2 \times 10^{-8} \text{ J.}$$

- c. Le vase est immobile par rapport à la Terre, sa vitesse dans le référentiel terrestre est nulle, donc son énergie cinétique est nulle.

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 16. Formes et conservation de l'énergie

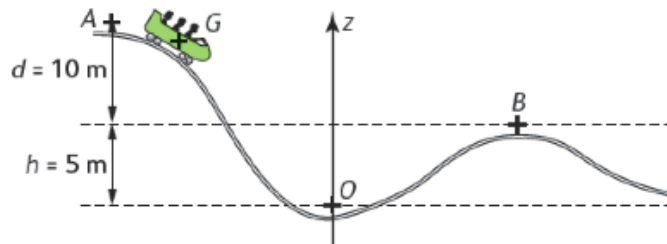
10. a. $\mathcal{E}_{pp} = mgz = 180 \times 10^3 \times 9,8 \times 10 \times 10^3 = 1,8 \times 10^{10} \text{ J}$.

b. $\mathcal{E}_{pp} = 0 \text{ J}$.

c. $\mathcal{E}_{pp} = mgh = 600 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 85 \times 10^{-2} = 5,0 \text{ J}$.

11. a. L'énergie potentielle de pesanteur du chariot de masse M , considéré ponctuel, est $\mathcal{E}_{pp} = Mgz$ si $\mathcal{E}_{pp}(O) = 0 \text{ J}$.

Pour le point A, $z_A = d + h$ et pour le point B, $z_B = h$;
donc $\mathcal{E}_{pp}(A) = Mg(d + h)$ et $\mathcal{E}_{pp}(B) = Mgh$.



© Nathan 2011. Réalisation : CORÉDOC.

b. Le système est le chariot, les frottements étant négligeables, l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{pp}$ du chariot se conserve.

On peut écrire cette conservation en A et B, soit $\mathcal{E}_m(A) = \mathcal{E}_m(B)$ donc

$$\mathcal{E}_c(A) + \mathcal{E}_{pp}(A) = \mathcal{E}_c(B) + \mathcal{E}_{pp}(B).$$

En remplaçant par les expressions des énergies cinétique et potentielle de pesanteur, on obtient, avec une vitesse nulle du chariot en A :

$$\frac{1}{2} Mv_A^2 + Mg(d + h) = \frac{1}{2} Mv_B^2 + Mgh ;$$

$$0 + Mgd = \frac{1}{2} Mv_B^2 ;$$

$$v_B = \sqrt{2gd} ;$$

$$\text{A.N. : } v_B = \sqrt{(2 \times 9,8 \times 10)} = 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

c. Il est probable que les forces de frottement de l'air et de la piste sur le chariot ne soient pas tout à fait négligeables devant les autres forces, notamment le poids du chariot.

À cause de cette dissipation d'énergie vers l'environnement, l'énergie mécanique du chariot diminue :

$$\frac{1}{2} Mv_B^2 + Mgh < \frac{1}{2} Mv_A^2 + Mg(d + h),$$

$$\text{ce qui entraîne } \frac{1}{2} Mv_B^2 < Mgd,$$

$$\text{donc } v_b < 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Exercices d'entraînement

12. Exercice résolu

13. Dans le référentiel terrestre, on étudie la balle en interaction avec la Terre. $\mathcal{E}_{pp}$ est choisie nulle à l'altitude du sol.

a. $\mathcal{E}_c(t_0) = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2} \times 58,0 \times 10^{-3} \times \left(\frac{116}{3,6}\right)^2 = 30,1 \text{ J}.$

$\mathcal{E}_{pp}(t_0) = mgh = 58,0 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 2,40 = 1,4 \text{ J}.$

b. $\mathcal{E}_{pp}(t_1) = 0 \text{ J}.$

Sans apports d'énergie et si on ne tient pas compte des forces de frottements, l'énergie mécanique du système se conserve :

$$\mathcal{E}_m = \text{cte} \rightarrow \mathcal{E}_m(t_0) = \mathcal{E}_m(t_1) \rightarrow \mathcal{E}_c(t_0) + \mathcal{E}_{pp}(t_0) = \mathcal{E}_c(t_1) + \mathcal{E}_{pp}(t_1).$$

Ainsi : $\mathcal{E}_c(t_1) = \mathcal{E}_c(t_0) + \mathcal{E}_{pp}(t_0) - \mathcal{E}_{pp}(t_1) = 30,1 + 1,4 - 0 = 31,5 \text{ J}.$

c. $\mathcal{E}_c(t_1) = \frac{1}{2}mv_1^2 \rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_c(t_1)}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 31,5}{58,0 \times 10^{-3}}} = 33,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$

d. En tenant compte des frottements de l'air, l'énergie mécanique ne se conserve pas mais décroît sans cesse. Il y a dissipation d'énergie par transfert thermique :

$$\mathcal{E}_c(t_1) < 31,5 \text{ J et } v_1 < 33,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

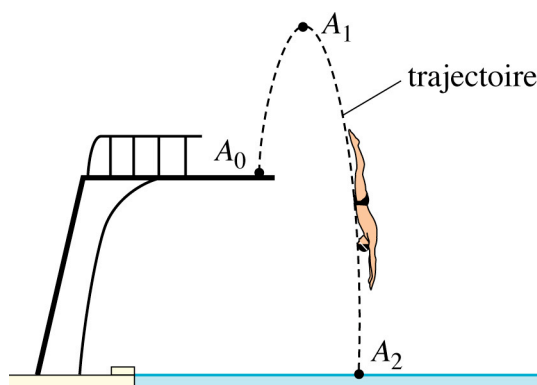
14. a. Lors de la phase ascendante du mouvement, la vitesse du plongeur diminue puis elle augmente lors de la phase descendante, donc $\mathcal{E}_c(t) = \frac{1}{2}m[v(t)]^2$ diminue donc puis augmente.

La courbe 1 correspond donc aux variations de l'énergie cinétique.

L'altitude de la plongeuse augmente puis diminue. $\mathcal{E}_{pp}(t) = mgz(t)$ subit les mêmes variations. La courbe 3 traduit les variations de l'énergie potentielle de pesanteur.

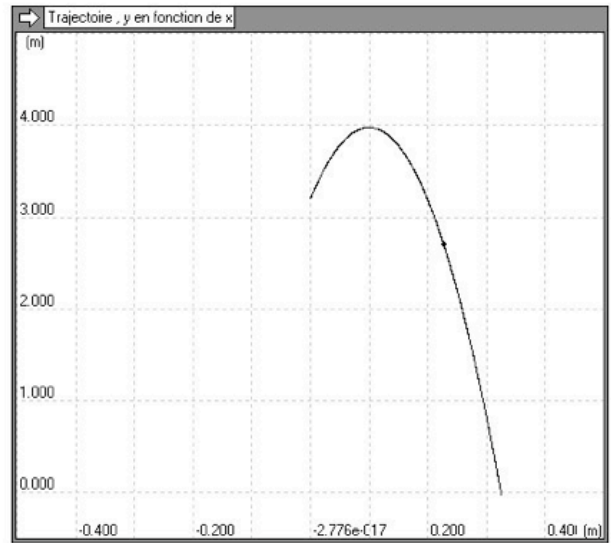
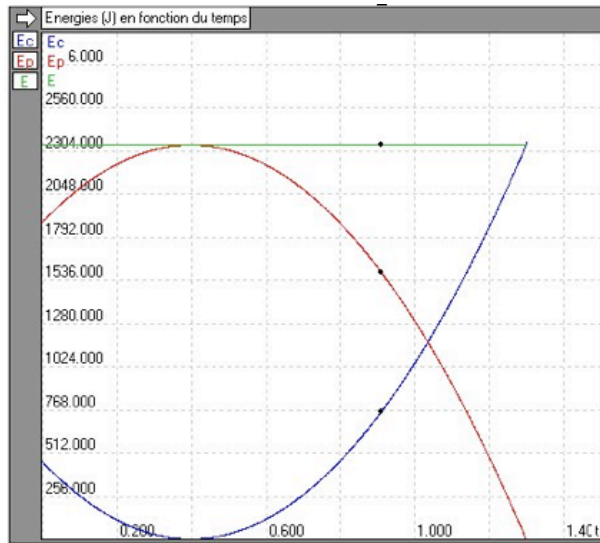
La courbe 2 correspond donc à $\mathcal{E}_m$, ce qui traduit le fait que l'énergie mécanique se conserve du fait d'absence de frottements et d'apport d'énergie au cours du plongeon.

b.



© Corédoc. Nathan 2011

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 16. Formes et conservation de l'énergie



Lancer la simulation par Exe

--- la simulation s'arrête à la date t2

--- un point matérialise la position de A sur la sa trajectoire (graphique de droite)

--- trois points visualisent les valeurs des énergies au même instant (graphique de gauche)

Capture d'écran de la simulation

c. Par lecture sur la courbe 3 :

$$\mathcal{E}_{pp}(t_0) = mgh_0 = 1,9 \text{ kJ} \rightarrow h_0 = \frac{1,9 \times 10^3}{(60 \times 9,8)} = 3,2 \text{ m.}$$

$h_{\max}$ correspond à la valeur maximale de $\mathcal{E}_{pp}$, donc à l'instant de date $t_1 = 0,4 \text{ s}$. Ainsi $h_{\max} = h_1$ donnée par :

$$\mathcal{E}_{pp}(t_1) = mgh_1 = 2,3 \text{ kJ} \rightarrow h_1 = \frac{2,3 \times 10^3}{(60 \times 9,8)} = 3,9 \text{ m.}$$

d. Par conservation de l'énergie mécanique aux dates t_1 et t_2 :

$$0 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + 0$$

$$\text{soit : } v_2 = \sqrt{2gh_1}$$

$$\text{A.N. : } v_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \times 3,9} = 8,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (31 km} \cdot \text{h}^{-1}\text{)}.$$

15. a. Une fois la bille lancée, l'énergie mécanique du système se conserve du fait de l'absence de frottement et d'apport d'énergie.

b. $\Delta \ell = \ell_{\text{final}} - \ell_{\text{initial}}$. Comme le ressort est comprimé, $\ell_{\text{final}} < \ell_{\text{initial}}$ ainsi $\Delta \ell < 0$.

c. Entre A et O, la variation d'énergie du système {bille en interaction avec la Terre} est nulle car la balle ne change pas d'altitude et sa vitesse est nulle en A et O.

Remarque : si on inclut le ressort et le support dans le système, la variation d'énergie n'est pas nulle puisque le ressort peut stocker l'énergie reçue de la part du joueur de flipper qui agit sur la tirette.

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_m(A) - \mathcal{E}_m(O) = \mathcal{E}_c(A) + \mathcal{E}_{pp}(A) + \mathcal{E}_{pe}(A) - \mathcal{E}_c(O) - \mathcal{E}_{pp}(O) - \mathcal{E}_{pe}(O).$$

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 16. Formes et conservation de l'énergie

Or $\mathcal{E}_{pp}(A) = \mathcal{E}_{pp}(O)$ car A et O sont à la même altitude, $\mathcal{E}_{pe}(O) = 0 \text{ J}$ compte tenu du choix de l'origine de l'énergie potentielle élastique et $\mathcal{E}_c(A) = \mathcal{E}_c(O) = 0 \text{ J}$ du fait que les vitesses de la bille sont nulles en A et O .

$$\text{Ainsi : } \Delta\mathcal{E} = \frac{1}{2}K(\Delta\ell)^2 = \frac{1}{2} \times 50 \times (-10 \times 10^{-2})^2 = 2,5 \times 10^{-1} \text{ J.}$$

d. Pour appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique, le système ne doit pas recevoir d'énergie ni en dissiper. Si on inclut le ressort dans le système, une fois la tirette lâchée, il n'y a pas d'apport d'énergie au système et donc, en l'absence de frottement, l'énergie mécanique se conserve :

$$\mathcal{E}_m = \text{cte} \rightarrow \mathcal{E}_m(O) = \mathcal{E}_m(A) \rightarrow \mathcal{E}_c(O) + \mathcal{E}_{pp}(O) + \mathcal{E}_{pe}(O) = \mathcal{E}_c(A) + \mathcal{E}_{pp}(A) + \mathcal{E}_{pe}(A).$$

$$\mathcal{E}_{pp}(A) = \mathcal{E}_{pp}(O), \mathcal{E}_{pe} = 0 \text{ J en } O \text{ et } \mathcal{E}_c(A) = 0 \text{ J car } v_A = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

$$\text{Ainsi : } \frac{1}{2}mv_O^2 = \frac{1}{2}K(\Delta\ell)^2$$

$$\text{soit : } v_O = \sqrt{\frac{K}{m}}(\Delta\ell) = \sqrt{\frac{50}{80 \times 10^{-3}}} \times 10 \times 10^{-2} = 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Remarque

On peut aussi garder comme système la bille en interaction avec la Terre. Dans ce cas, on peut écrire que la variation d'énergie mécanique est égale à l'énergie transférée au système par le ressort :

$$\mathcal{E}_m(O) - \mathcal{E}_m(A) = \frac{1}{2}K(\Delta\ell)^2 \rightarrow \mathcal{E}_c(O) + \mathcal{E}_{pp}(O) - \mathcal{E}_c(A) - \mathcal{E}_{pp}(A) = \frac{1}{2}K(\Delta\ell)^2$$

$$\mathcal{E}_{pp}(A) = \mathcal{E}_{pp}(O) \text{ et } \mathcal{E}_c(A) = 0 \text{ J car } v_A = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

$$\text{Ainsi : } \frac{1}{2}mv_O^2 = \frac{1}{2}K(\Delta\ell)^2$$

$$\text{soit : } v_O = \sqrt{\frac{K}{m}}(\Delta\ell) = \sqrt{\frac{50}{80 \times 10^{-3}}} \times 10 \times 10^{-2} = 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

16. a. L'eau est stockée dans la retenue sous forme d'énergie potentielle de pesanteur.

$$\text{b. } \Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_m(\text{sortie}) - \mathcal{E}_m(\text{retenue}) = \mathcal{E}_c(\text{sortie}) + \mathcal{E}_{pp}(\text{sortie}) - \mathcal{E}_c(\text{retenue}) - \mathcal{E}_{pp}(\text{retenue}).$$

Or les vitesses au niveau de la sortie et de la retenue sont considérées comme nulles. En choisissant un axe (Oz) vertical orientée vers le haut :

$$\Delta\mathcal{E} = 0 + mgz_{\text{sortie}} - 0 - mgz_{\text{retenue}} = mg[z_{\text{sortie}} - z_{\text{retenue}}] = mg[-h] = -\rho Vgh.$$

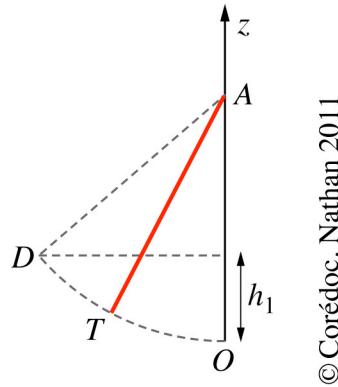
$$\text{A.N. : } \Delta\mathcal{E} = -1,0 \times 10^3 \times 3,0 \times 10^8 \times 9,8 \times 100 = -2,9 \times 10^{14} \text{ J.}$$

$$\text{c. } \mathcal{W}_{\text{eau}} = |\Delta\mathcal{E}| = 2,9 \times 10^{14} \text{ J.}$$

$$\text{d. } \mathcal{W}_{\text{élec}} = r \cdot \mathcal{W}_{\text{eau}} = 0,90 \times 2,9 \times 10^{14} = 2,6 \times 10^{14} \text{ J.}$$

Le rendement n'est pas de 100 % du fait de la dissipation d'énergie par transfert thermique dans les turbines.

17. a.



b. Dans le référentiel terrestre, on étudie le pendule en interaction avec la Terre.
Sans apports d'énergie et si on ne tient pas compte des forces de frottements, l'énergie mécanique se conserve.

$$\mathcal{E}_m = \text{cte} \rightarrow \mathcal{E}_m(O) = \mathcal{E}_m(D) \rightarrow \mathcal{E}_c(O) + \mathcal{E}_{pp}(O) = \mathcal{E}_c(D) + \mathcal{E}_{pp}(D) \quad (1).$$

On choisit :

- nulle l'énergie potentielle de pesanteur à l'altitude de O ;
- un axe (Oz) vertical orienté vers le haut.

Alors $\mathcal{E}_{pp}(D) = mgh_1$ avec $z_D = +h_1$.

En outre, la vitesse en D est nulle.

La relation (1) s'écrit donc :

$$\frac{1}{2}mv_O^2 + 0 = 0 + mgh_1 \text{ soit } v_O = \sqrt{2gh_1}.$$

$$\text{A.N. : } v_O = \sqrt{2 \times 9,8 \times 3,2} = 7,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (\approx 28 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}).$$

c. Si Tarzan ne lâche pas la corde, un raisonnement identique permet de montrer que Tarzan remonte à une altitude $h = 3,2$ m en l'absence de frottement ou d'apport d'énergie.

d. Tarzan quitte D avec une vitesse v_D et atteint F situé $h_2 = 4,0$ m au-dessus de O . Le calcul de la valeur minimale de la vitesse en D pour atteindre F suppose l'absence de frottement.

$$\text{Ainsi : } \mathcal{E}_m = \text{cte} \rightarrow \mathcal{E}_m(F) = \mathcal{E}_m(D) \rightarrow 0 + mgh_2 = \frac{1}{2}mv_D^2 + mgh_1.$$

$$v_D = \sqrt{2g(h_2 - h_1)} = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

18. a. Du fait des frottements, il y a échange d'énergie entre le skieur et le milieu extérieur par transfert thermique.

b. Lorsque l'altitude diminue de $h = 50$ m, le skieur muni de son équipement perd de l'énergie potentielle de pesanteur sans variation d'énergie cinétique puisque sa vitesse reste constante. Il transfère au milieu extérieur l'énergie : $\mathcal{E}_{libérée} = Mgh$.

Si on suppose que toute l'énergie transférée sert uniquement à chauffer la glace :

$$\mathcal{E}_{libérée} = m_{glace} \cdot \mathcal{E}_{massique}$$

$$\text{Ainsi } Mgh = m_{glace} \cdot \mathcal{E}_{massique} \text{ soit } m_{glace} = \frac{mgh}{\mathcal{E}_{massique}}.$$

$$\text{A.N. : } m_{glace} = \frac{65 \times 9,8 \times 50}{3,3 \times 10^5} = 9,7 \times 10^{-2} \text{ kg} = 97 \text{ g}.$$

19. a. L'énergie de l'eau du circuit primaire étant constante, la valeur de l'énergie qu'elle prélève au milieu extérieur dans la chaudière est égale à celle qu'elle cède à celui-ci au niveau des turbines et du circuit de refroidissement.

b. L'alternateur convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique.

c. L'énergie libérée par combustion n'est pas totalement récupérée sous forme électrique car il y a des pertes par transfert, essentiellement thermique, notamment dans la chaudière et l'alternateur.

Exercices d'entraînement

20. Dans le référentiel terrestre, on étudie le pendule, en interaction avec la Terre. Sans apports d'énergie, et si on ne tient pas compte des forces de frottements, l'énergie mécanique se conserve.

$$\mathcal{E}_m = \text{cte} \rightarrow \mathcal{E}_m(O) = \mathcal{E}_m(A) \rightarrow \mathcal{E}_c(O) + \mathcal{E}_{pp}(O) = \mathcal{E}_c(A) + \mathcal{E}_{pp}(A) \quad (1).$$

On choisit :

- nulle l'énergie potentielle de pesanteur à l'altitude de O ;
- un axe (Oz) vertical orienté vers le haut.

Alors $\mathcal{E}_{pp}(A) = mgz_A$ avec $z_A = +h$.

En outre, la vitesse en A est nulle.

La relation (1) s'écrit donc :

$$\frac{1}{2}mV_O^2 + 0 = 0 + mgh$$

soit : $V_O = \sqrt{2gh}$.

Or, $h = CO - CB = \ell - CB$; et, dans le triangle ABC , $\cos\theta_m = \frac{CB}{CA} = \frac{CB}{\ell}$.

Ainsi $CB = \ell \cos\theta_m$ et donc $h = \ell - \ell \cos\theta_m$.

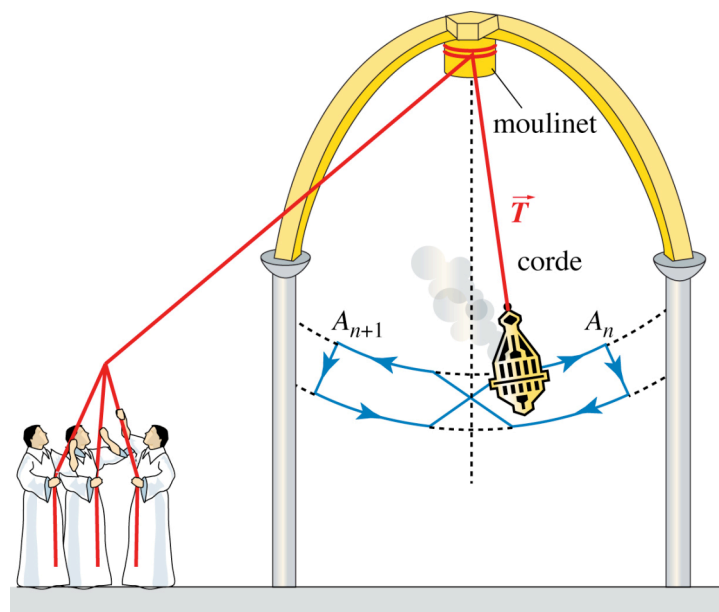
Finalement : $V_O = \sqrt{2g\ell(1 - \cos\theta_m)}$

A.N. : $V_O = \sqrt{2 \times 9,8 \times 21 \times (1 - \cos 80)} = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 18 \times 3,6 = 65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Remarque

En réalité, les frottements de l'air entraînent une dissipation d'énergie mécanique du pendule par transfert thermique. Pendant qu'il se balance, huit hommes tirent sur la corde et soulèvent l'encensoir lorsque celui-ci passe par la verticale et relâche la corde quand l'encensoir est dans sa position la plus haute.

Action des tireurs et mouvement de l'encensoir

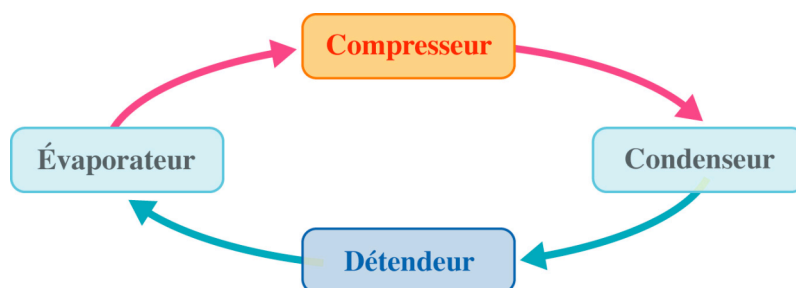


© Corédoc. Nathan 2011

En tirant sur la corde en O, l'encensoir prend de l'altitude et acquiert de l'énergie potentielle de pesanteur, convertie en énergie cinétique lorsque la corde est relâchée. Les tireurs apportent ainsi l'énergie nécessaire pour compenser la perte d'énergie due au frottement et maintenir l'énergie mécanique constante.

Le faible raccourcissement de la longueur de la corde, lors de son passage à la verticale, dure bien moins d'une seconde mais l'action exercée contribue à conserver une amplitude constante.

21. a.



© Corédoc. Nathan 2011

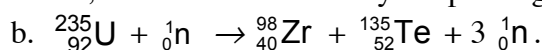
b. Légende du schéma : — liquide — gaz

Le réfrigérant est à l'état uniquement gazeux de la sortie de l'évaporateur, en passant par le compresseur, jusqu'à l'entrée du condenseur. Il est à l'état uniquement liquide de la sortie du condenseur, en passant par le détendeur, jusqu'à l'entrée de l'évaporateur.

c. Dans l'évaporateur et le compresseur, le réfrigérant reçoit de l'énergie. Dans le condenseur et le détendeur, il en cède.

d. L'évaporateur est situé à l'intérieur de l'armoire frigorifique. En empruntant de l'énergie au milieu situé dans l'armoire frigorifique, il fait diminuer sa température.

22. a. Une fission nucléaire est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd, dit fissile, est scindé en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.



c. La variation masse est :

$$\Delta m = m({}_{40}^{98}\text{Zr}) + m({}_{52}^{135}\text{Te}) + 3m({}_0^1\text{n}) - m({}_{92}^{235}\text{U}) - m({}_0^1\text{n}) = -0,383 \times 10^{-27} \text{ kg}.$$

Remarque : $\Delta m < 0$, la fission nucléaire s'accompagne d'une perte de masse ce qui indique que la fission libère de l'énergie.

d. $\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| c^2 = 0,383 \times 10^{-27} \times (2,998 \times 10^8)^2 = 3,44 \times 10^{-11} \text{ J}.$

e. L'échantillon de masse $m_0 = 1,0 \text{ g}$ d'uranium enrichi à 3,7 % contient une masse d'uranium 235 : $m = pm_0$ avec $p = 0,037$.

Le nombre de noyau d'uranium 235 contenu dans cet échantillon est donc :

$$N({}_{92}^{235}\text{U}) = \frac{m}{m({}_{92}^{235}\text{U})} = \frac{pm_0}{m({}_{92}^{235}\text{U})}$$

Si tous les noyaux se désintègrent suivant l'équation écrite en b., l'énergie libérée est :

$$\mathcal{E} = N({}_{92}^{235}\text{U}) \cdot$$

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{pm_0}{m({}_{92}^{235}\text{U})} \cdot$$

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{0,037 \times 1,0 \times 10^{-3}}{390,230 \times 10^{-27}} \times 3,44 \times 10^{-11} = 3,3 \times 10^9 \text{ J}.$$

23. a. À $t_0 = 0$ s, la vitesse du solide est nulle $\rightarrow \mathcal{E}_c(t_0) = 0$ J $\rightarrow$ la courbe verte correspond à $\mathcal{E}_c$.

En début d'étude, la balle chute vers le bas puis rebondit : son altitude décroît puis croît $\rightarrow \mathcal{E}_{pp}$ diminue puis augmente $\rightarrow$ la courbe bleue traduit les variations $\mathcal{E}_{pp}$.

b. La balle touche la table à $t_1 = 0,45$ s, ce qui correspond graphiquement à $\mathcal{E}_{pp}(t_1) = 0$ J.

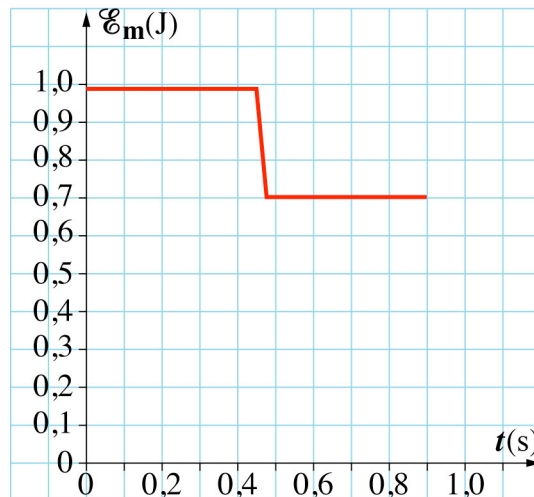
c. En dehors du choc, si on suppose que la balle est en chute libre, l'énergie cinétique et l'énergie potentielle s'échangent l'une et l'autre de telle sorte que l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m$ soit conservée : $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{pp} = \text{cte}$.

Ainsi, pour $t_0 \leq t \leq t_1$: $\mathcal{E}_m(t) = \text{cte} = \mathcal{E}_m(t_0) = \mathcal{E}_c(t_0) + \mathcal{E}_{pp}(t_0) = 0 + 0,98 = 0,98$ J ;

pour $t_1 < t \leq t_2$: $\mathcal{E}_m(t) = \text{cte} = \mathcal{E}_m(t_2) = \mathcal{E}_c(t_2) + \mathcal{E}_{pp}(t_2) = 0 + 0,70 = 0,70$ J.

Construction du graphique des variations de l' $\mathcal{E}_m$ en fonction du temps.

- Tracer deux segments de droite horizontaux ayant pour extrémités les points :
 - d'abscisses 0 s et 0,45 s, et pour ordonnée commune 0,98 J ;
 - d'abscisses 0,47 s et 0,90 s, et pour ordonnée commune 0,70 J.
- Tracer un segment de droite décroissante qui relie les deux segments précédents.



© Corédoc. Nathan 2011

d. Pendant le choc, la balle se comprime puis se dilate. Il y a échange entre énergie cinétique et énergie dite potentielle élastique (cette énergie est constante avant et après le choc puisque, en dehors du choc, la balle ne se déforme pas. On la choisit nulle). D'autre part, une partie de l'énergie mécanique du système est transférée vers le milieu extérieur, notamment la table, ce qui entraîne une diminution de l'énergie mécanique.

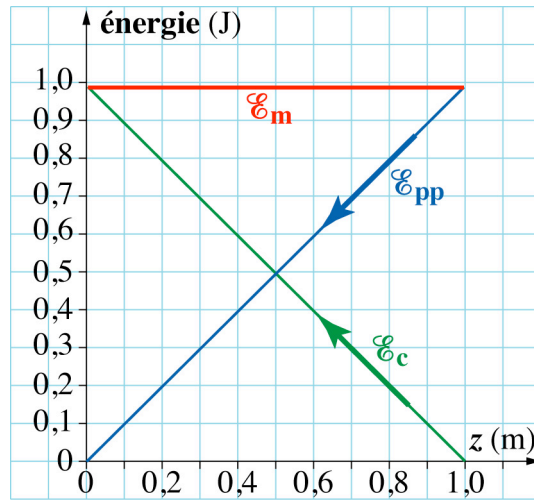
e. L'énergie potentielle maximale acquise par la balle après le rebond est $\mathcal{E}_{pp}(t_2) = 0,70$ J.

En considérant que $\mathcal{E}_{pp} = 0$ J, pour une altitude $z = 0$ m, on peut écrire $\mathcal{E}_{pp}(t_2) = mgz(t_2)$.

Ainsi, l'altitude maximale atteinte par la balle après le rebond est :

$$z(t_2) = \frac{\mathcal{E}_{pp}(t_2)}{mg} = \left(\frac{0,70}{0,100 \times 9,8} \right) = 0,71 \text{ m} = 71 \text{ cm}.$$

f. Pour $t_0 < t < t_1$:



© Corédoc. Nathan 2011

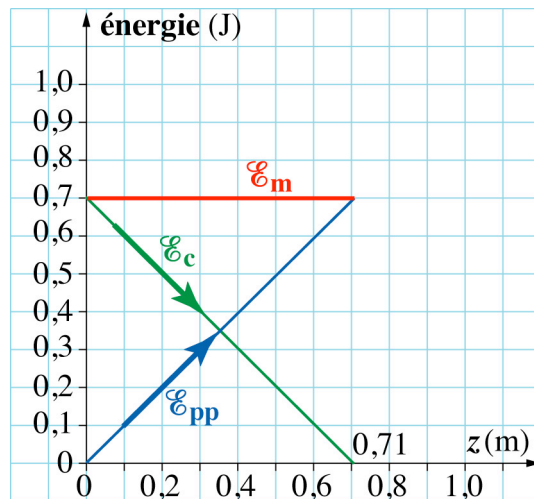
Remarque

$\mathcal{E}_{pp} = mgz$. Ainsi la courbe $\mathcal{E}_{pp} = f(z)$ est une fonction linéaire. Sa représentation est une droite passant par l'origine de pente $mg = 0,98 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$ (ou N).

$\mathcal{E}_m = \text{cte} = 0,98 \text{ J}$.

$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_m - \mathcal{E}_{pp} = \mathcal{E}_m - mgz = -mgz + \mathcal{E}_m$ est de la forme $y = at + b$. C'est donc une fonction affine de pente $a = -mg$ négative, donc décroissante et d'ordonnée à l'origine $b = \mathcal{E}_m$.

Pour $t_1 < t < t_2$:



© Corédoc. Nathan 2011