

## Chapitre P8 : *Le travail : un mode de transfert de l'énergie*

### I) Comment le travail du poids peut-il modifier la vitesse d'un corps :

#### 1-1) Relation entre le travail du poids et la vitesse :

Voir TP 7 de physique *Travail d'une force et énergie cinétique*

Nous avons montré en travaux pratiques qu'il existe une relation entre le travail du poids et la vitesse du système.

La travail du poids pour un déplacement entre les points A et B vaut :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \frac{1}{2} \times m \times v_B^2 - \frac{1}{2} \times m \times v_A^2$$

ou  $v_A$  et  $v_B$  sont les vitesses instantanées du point d'application de la force aux points A et B.

Nous constatons donc, qu'au travail du poids, correspond la différence entre deux termes de la forme

$\frac{1}{2} \times m \times v^2$ . Ainsi la quantité  $\frac{1}{2} \times m \times v^2$  s'exprimant en joule, comme le travail, est homogène à une énergie.

#### 1-2) Énergie cinétique d'un solide en translation :

**Rappel :** Pour un solide en translation, tous les points ont la même vitesse que le centre d'inertie :  $v = v_G$ .

Tout système de masse non nulle qui est en mouvement de translation avec une certaine vitesse, est porteur d'une énergie que l'on appelle « énergie cinétique ».

L'énergie cinétique, notée  $E_C$ , d'une solide en mouvement de translation est définie par :

$$E_C = \frac{1}{2} \times m \times v_G^2$$

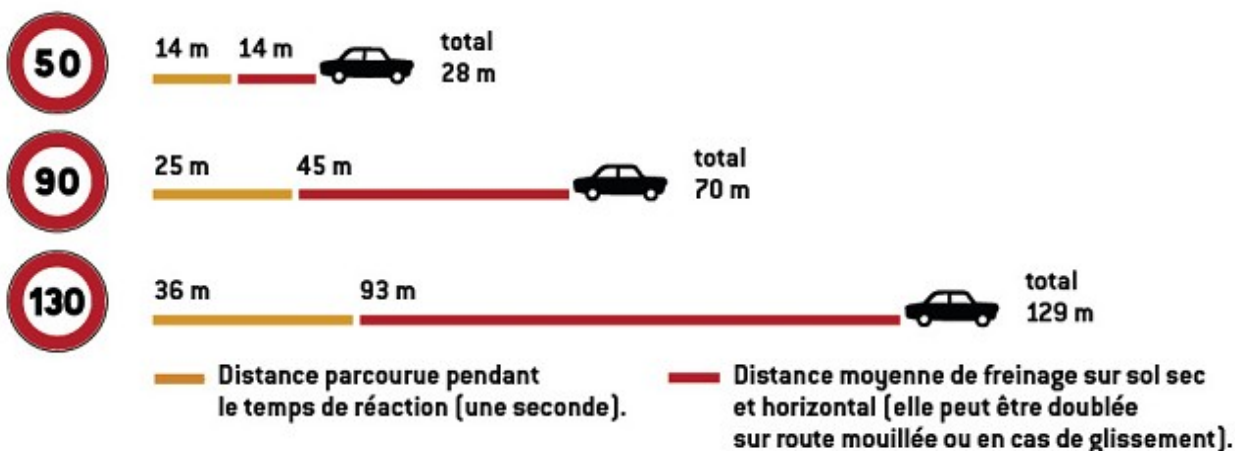
$E_C$  est l'énergie cinétique en joule (J)

$m$  est la masse du solide en kg

$v_G$  est la vitesse instantanée du centre d'inertie du mobile en  $m.s^{-1}$

**Activité :** distance d'arrêt des véhicules

#### DISTANCES D'ARRÊT EN FONCTION DE LA VITESSE



Une diminution de 10% de la vitesse entraîne une baisse de 10% des accidents légers, de 20% des accidents graves et de 40% des accidents mortels.

La distance d'arrêt  $D_A$  du véhicule est la somme de la distance de réaction  $D_R$  et de la distance de freinage  $D_F$  :

-  $D_R$  dépend du niveau d'attention du conducteur, de son expérience de la conduite, de son état physique et des conditions de circulation.

-  $D_F$  dépend de la chaussée (sur sol mouillé, elle est multipliée quasiment par deux) et de l'état du véhicule (freins, pneus, amortisseurs ...).


QUESTIONS :

- 1- Quelle est l'énergie qu'il faut dissiper pour arrêter le véhicule ?
- 2- Justifier alors le fait que la distance de freinage est plus que doublée lorsque la vitesse augmente d'un facteur 2.
- 3- Justifier aussi le fait qu'un camion aura une distance de freinage plus longue qu'une voiture à vitesse identique.
- 4- Sous quelle autre forme d'énergie est dissipée l'énergie du véhicule mentionnée à la question 1 lors du freinage ?

**Corrigé :**

- 1- C'est l'énergie cinétique du véhicule due à sa vitesse, qu'il faut dissiper pour le stopper.
- 2- D'après l'expression de l'énergie cinétique, on constate que l'énergie cinétique est proportionnel au carré de la vitesse. La quantité d'énergie cinétique à dissiper, et donc la distance de freinage, va donc augmenter comme le carré de la vitesse ce qui explique qu'elle est plus que doublée lorsque la vitesse augmente d'un facteur 2.
- 3- L'énergie cinétique est aussi proportionnelle à la masse du système. Donc à vitesse identique, un camion accumulera plus d'énergie cinétique qu'un voiture du fait de sa masse plus importante. C'est la raison pour laquelle un camion est plus long à stopper et qu'il cause plus de dégâts en cas d'accidents.
- 4- L'énergie cinétique est dissipée sous forme de chaleur par frottements (des plaquettes sur les disques de frein) lors du freinage.

**Application :** Les automobiles actuelles sont l'objet de très nombreuses études pour limiter les blessures des occupants en cas de choc. Contrairement aux idées reçues, une auto ne doit pas être solide pour protéger ses occupants, elle doit au contraire absorber l'énergie cinétique du véhicule en cas de choc.

		
<p>Citroën Saxo (1996-2005)</p>	<p>Citroën C1 (2005-...)</p>	<p>Fiat Bravo (2007-...)</p>
<p>De conception ancienne, la Saxo voit son habitacle déformé lors du choc. La déformation de l'avant du véhicule ne suffit pas à absorber toute l'énergie cinétique de la voiture. La sécurité des occupants n'est pas garantie</p>	<p>De conception beaucoup plus récente, la remplaçante de la Saxo protège mieux ses occupants. L'habitacle est protégé, l'avant du véhicule se déforme parfaitement et absorbe une grande quantité d'énergie.</p>	<p>La nouvelle Fiat bravo protège également très bien ses occupants. L'avant se déforme parfaitement et absorbe l'énergie cinétique. On peut même constater le train avant qui glisse sous l'habitacle ce qui évite de blesser les jambes des occupants.</p>

<http://fr.youtube.com/watch?v=USKxRI8o21s>

<http://fr.youtube.com/watch?v=M3FdnWU5ecg&feature=related>

*Exercice d'application : ex 6 p 124*

### 1-3) Comment modifier l'énergie cinétique d'une solide en translation ?

Nous avons vu que lorsqu'une force travaille, elle modifie la valeur de la vitesse instantanée du système. Une force qui travaille modifie donc l'énergie cinétique du système, et on admettra que cette variation d'énergie est égale au travail des forces qui s'exercent sur le système. C'est ce que l'on appelle le théorème de l'énergie cinétique.

#### **Théorème de l'énergie cinétique :**

Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie cinétique d'un solide en translation entre deux positions A et B, est égale à la somme des travaux des forces  $\vec{F}_i$  appliquées à ce solide lors de son déplacement entre A et B :

$$\Delta E_C = E_C(B) - E_C(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_i)$$

#### **Exercice d'application :**

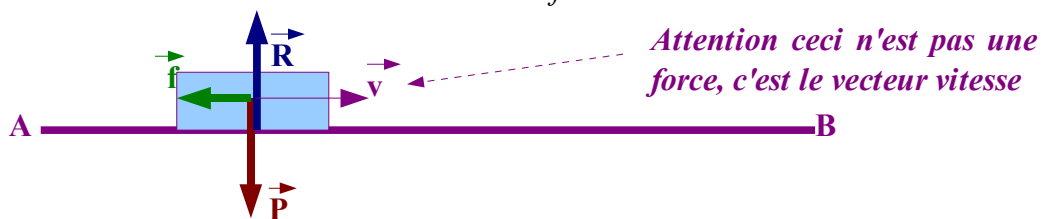
Une luge de compétition arrive en fin de parcours sur une piste horizontale avec une vitesse de 120 km.h<sup>-1</sup>. La masse totale (luge + compétiteur) est de 97 kg. La luge parcourt 30 m avant de s'arrêter. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, évaluer le travail des forces de frottement.

#### **Correction :**

Référentiel : terrestre (supposé galiléen)

Système : La luge et le compétiteur de masse 97 kg.

Bilan des forces : le poids  $\vec{P}$   
la réaction de la piste  $\vec{R}$   
la force due aux divers frottements  $\vec{f}$



On a appliqué le théorème de l'énergie cinétique :  $E_C(B) - E_C(A) = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W(\vec{f})$

On a  $W(\vec{P}) = W(\vec{R}) = 0$  car les forces R et P ont des directions qui sont perpendiculaires à la direction du mouvement de leurs points d'applications.

On en déduit donc que :  $E_C(B) - E_C(A) = W(\vec{f})$

Soit  $\frac{1}{2} \times m \times v_B^2 - \frac{1}{2} \times m \times v_A^2 = W(\vec{f})$

or d'après l'énoncé  $v_B = 0 \text{ m.s}^{-1}$  car la luge est stoppée en B.

Donc on a au final :  $W(\vec{f}) = - \frac{1}{2} \times m \times v_A^2$

AN :  $W(\vec{f}) = - \frac{1}{2} \times 97 \times 33,3^2$

$W(\vec{f}) = - 54 \text{ kJ}$

Le travail est négatif, donc bien résistant. Il dissipe de l'énergie cinétique.

**Applications :** exercices 7 p 124 + 10 et 11 p 125 + exercice 1 fiche (Ferrari Enzo)

## II) Travail et énergie potentielle de pesanteur :

### 2-1) Définition :

Tout corps de masse non nulle présent dans un champ de pesanteur, présente du fait de sa position une énergie que l'on appelle énergie potentielle de pesanteur.

Cette énergie potentielle dépend de sa masse et de sa position par à une référence.

### 2-2) Quelle est l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur ?

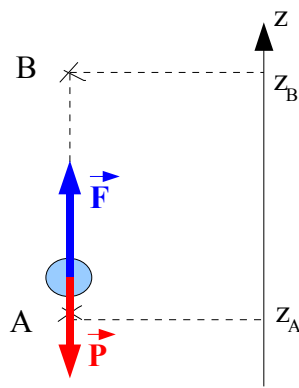
**Expérience :** On élève une balle de masse  $m$  de l'altitude  $z_A$  jusqu'à l'altitude  $z_B$ .

Calculer le travail de la force exercée par le manipulateur sur la balle pour réaliser cette expérience.

Référentiel : terrestre (supposé galiléen)

Système : la balle

Bilan des forces : Le poids  $\vec{P}$   
La force exercée par le manipulateur  $\vec{F}$



On applique le théorème de l'énergie cinétique :  $\Delta E_C = E_C(B) - E_C(A) = W_{AB}(\vec{F}) + W_{AB}(\vec{P})$

or  $E_C(B) = E_C(A) = 0 \text{ J}$  car  $v_B = v_A = 0 \text{ m.s}^{-1}$  (la balle étant immobile en A et B)

et  $W_{AB}(\vec{P}) = m \times g \times (z_A - z_B)$

On en déduit alors que :  $W_{AB}(\vec{F}) + W_{AB}(\vec{P}) = 0$

soit  $W_{AB}(\vec{F}) = -W_{AB}(\vec{P}) = -m \times g \times (z_A - z_B)$

### Conclusion :

Le travail de la force  $\vec{F}$  apparaît comme la différence de deux termes de la forme  $m \times g \times z$ . Cette quantité s'exprimant en joule est homogène à une énergie. La force  $\vec{F}$  fournit donc un travail transféré à la balle sous forme d'énergie potentielle de pesanteur.

### A retenir :

Tout corps de masse non nulle présent dans un champ de pesanteur possède de part sa position dans ce champ une **énergie potentielle de pesanteur** dont la valeur est donnée par la relation :

$$E_P = m \times g \times z$$

$E_P$  est l'énergie potentielle de pesanteur en joule J

$m$  est la masse du corps en kg

$g$  est la constante gravitationnelle (unité SI)

$z$  est la position en mètre (m) du centre d'inertie du corps par rapport à la référence des énergie potentielle (en général le sol)

**Exercice d'application : l'énergie potentielle de l'ascenseur**

Monsieur Duss habite le cinquième étage d'un immeuble qui en comporte huit. Chaque étage a une hauteur de 3,0m. L'ascenseur, vide, a une masse de 200kg.

1- L'origine de l'énergie potentielle de l'ascenseur est choisie au niveau du rez-de-chaussée.

1-a) Calculer l'énergie potentielle de l'ascenseur lorsque celui-ci se trouve à l'étage de Mr Duss.

1-b) Calculer l'énergie potentielle de l'ascenseur lorsque celui-ci se trouve au dernier étage.

1-c) Montrer que la variation d'énergie potentielle de l'ascenseur entre l'étage de Mr Duss et le dernier étage est égale au travail du poids de l'ascenseur entre ces deux étages.

2- L'origine de l'énergie potentielle est maintenant choisie au niveau de l'étage de Mr Duss.

2-a) Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de l'ascenseur lorsqu'il se trouve à l'étage de Mr Duss.

2-b) Calculer l'énergie potentielle de l'ascenseur lorsque celui-ci se trouve au dernier étage.

On donne :  $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

**Correction :**

1-a) Énergie potentielle au niveau du 5<sup>e</sup> étage :

Par définition  $E_p = m \times g \times z$

L'origine de l'énergie potentielle étant prise au rez-de-chaussée, on a :  $z = 5 \times 3 = 15 \text{ m}$

D'où  $E_{p1} = 200 \times 9,81 \times 15$

$$E_{p1} = 29 \text{ kJ}$$

1-b) Énergie potentielle de pesanteur au niveau du dernier étage :

De la même manière on a :  $E_{p2} = 200 \times 9,81 \times (8 \times 3)$

$$E_{p2} = 47 \text{ kJ}$$

1-c) Montrer que  $\Delta E_p = W(\vec{P})$  :

A l'aide des questions 1-a et 1-b on a :  $\Delta E_p = 47 - 29 = 18 \text{ kJ}$

Calculons maintenant le travail du poids au cours de la montée du 5<sup>e</sup> au 8<sup>e</sup> étage.

$W_{AB}(\vec{P}) = m \times g \times (z_A - z_B) = 200 \times 9,81 \times (24 - 15) = 18 \text{ kJ}$

On a donc bien  $\Delta E_p = W(\vec{P})$

2-a) Énergie potentielle au niveau du 5<sup>e</sup> étage :

L'origine de l'énergie potentielle étant prise au niveau du 5<sup>e</sup> étage, on en déduit que  $E_p = 0 \text{ J}$ .

2-b) Énergie potentielle au niveau du dernier étage :

$E_p = m \times g \times \Delta z$

L'origine de l'énergie potentielle étant prise au niveau du 5<sup>e</sup> étage on a :

$\Delta z = z_{8e} - z_{5e} = 24 - 15 = 9 \text{ m}$

d'où  $E_p = 200 \times 9,81 \times 9$

$$E_p = 18 \text{ kJ}$$

Exercice 13 p 125

**III) Étude de la chute libre :**

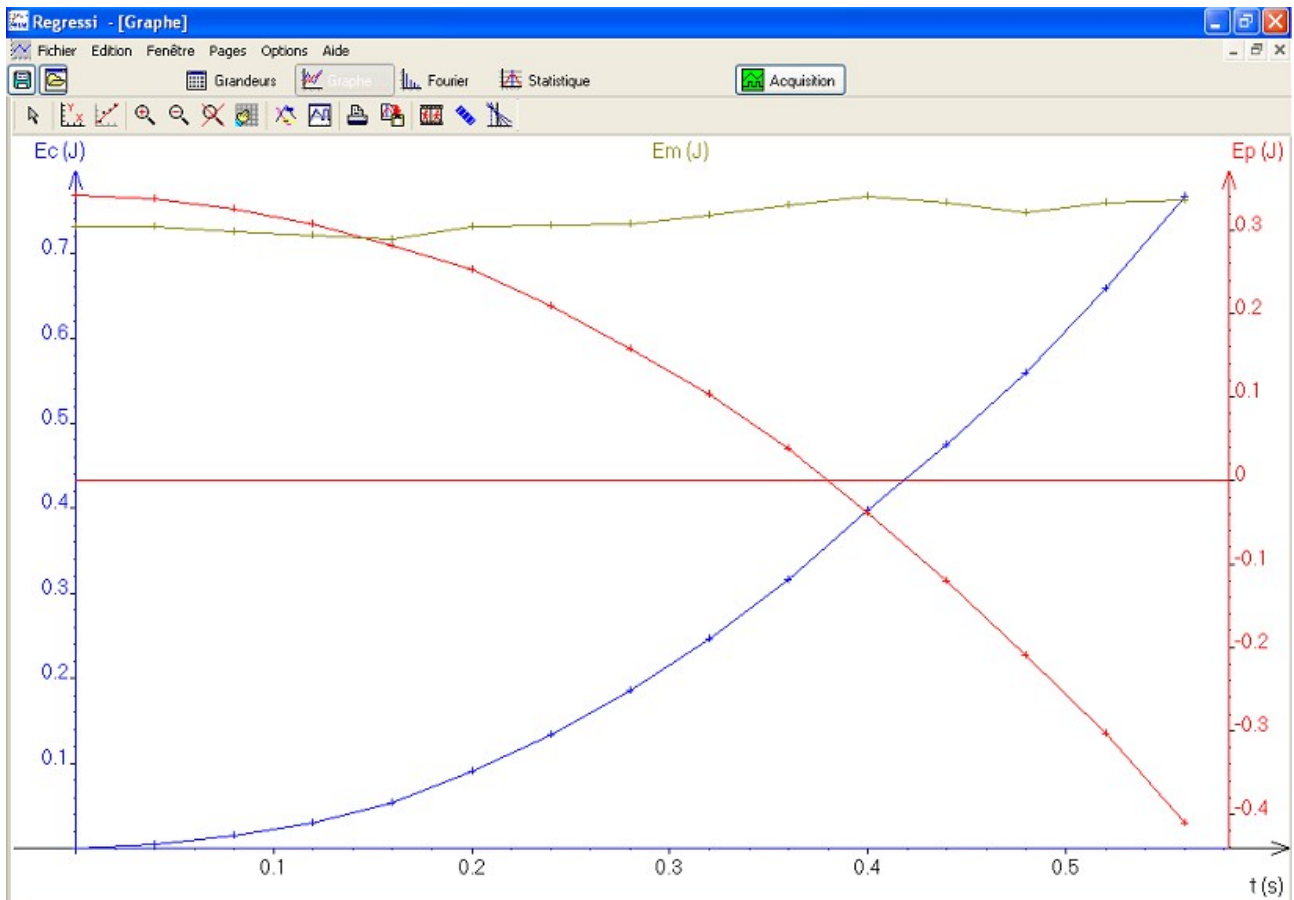
*Voir TP P8 : étude énergétique de la chute libre*

**3-1) Définition de la chute libre :**

Tout corps est dit en chute libre s'il est animé d'un mouvement de chute dans un champ de pesanteur, uniquement dû à son propre poids.

### 3-2) Étude énergétique de la chute libre :

En TP nous avons tracé la variation des énergies potentielle de pesanteur et cinétique en fonction du temps, d'une balle animée d'un mouvement de chute libre.



On en déduit donc qu'au cours de la chute libre de la balle :

- l'énergie potentielle de pesanteur diminue d'autant que l'énergie cinétique augmente.
- La somme des énergies potentielles de pesanteur et cinétique, appelée énergie mécanique ( $E_M = E_C + E_P$ ) est constante.

#### Conclusion à retenir :

Lors d'une chute libre dans un référentiel galiléen, il y a transformation d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique, du fait du travail de son poids.

L'énergie mécanique du système qui est la somme des énergies cinétique potentielle ( $E_M = E_C + E_P$ ) est constante, on dit qu'elle se conserve au cours du mouvement.



**IV) Travail et énergie interne :**

Nous avons vu que le travail d'une force peut modifier la valeur de la vitesse d'un système et/ou l'altitude du centre d'inertie.

Mais le travail d'une force peut-il avoir d'autres effets ?

**3-1) Les autres effets du travail d'une force :**

Élever sa température	Le déformer	Le faire changer d'état
 <p><i>Lors de la découpe d'une plaque métallique à l'aide d'une meuleuse la plaque et le disque s'échauffent</i></p>	 <p><i>Lors du saut, l'élastique se tend, s'étire, puis se rétracte.</i></p>	 <p><i>Lors de son entrée dans l'atmosphère le bouclier thermique de la capsule spatiale subit des forces de frottement intenses qui le font changer d'état physique.</i></p>
<p><b>Le travail des forces de frottement</b> entre le disque de la meuleuse et la plaque de métal provoque une <b>élévation de température de ces deux objets.</b></p> <p>L'augmentation de la température d'un objet, correspond, à l'échelle microscopique, à une augmentation de <b>l'agitation de ses atomes.</b></p> <p>De l'énergie est stockée dans la plaque et le disque, sous forme <b>d'énergie cinétique microscopique</b> qui se disperse ensuite dans l'environnement.</p>	<p><b>Le travail de la force exercée par le sauteur</b> provoque, durant une partie du saut, <b>l'allongement de l'élastique tendu.</b></p> <p>A l'échelle microscopique, l'élastique est constitué de longues chaînes de molécules entre lesquelles existent des interactions électriques. Quand la longueur de l'élastique tendu varie, les positions relatives entre les constituants des matériau sont modifiées : <b>de l'énergie élastique (énergie potentielle microscopique)</b> est stockée par l'élastique lorsqu'il est allongé. Cette énergie est restituée au sauteur, lorsque l'élastique se rétracte.</p>	<p>Lorsque la capsule arrive à proximité de la Terre, elle pénètre dans l'atmosphère.</p> <p><b>Le travail des forces exercée par l'air comprimé à l'avant</b> provoque <b>l'élévation de température</b> d'une partie du bouclier protecteur, puis son changement d'état : le matériau passe directement de l'état solide à l'état gazeux.</p> <p>Lors du <b>changement d'état les énergies cinétique et potentielles microscopiques des particules constituant le matériau protecteur augmentent.</b></p>

**3-2) L'énergie interne :**

Dans les exemples précédents, le travail des forces appliquées au système lui a été transféré sous forme:

- d'énergie cinétique microscopique des particules constituant le système (agitation thermique); cela se traduit par une variation de sa température.
- d'énergie potentielle microscopique d'interaction, en modifiant, entre autres, les distances entre les particules du système.

**A retenir :**

La somme des énergies cinétique et potentielles microscopiques constitue **l'énergie interne** du système. On la note U et elle s'exprime en joule (J).

Un système dont l'énergie interne augmente stocke de l'énergie. Inversement, un système dont l'énergie interne diminue libère de l'énergie.

Exemple :

Lors du freinage d'une voiture, les disques et plaquettes de frein stockent par frottement l'énergie cinétique du véhicule (leur énergie interne augmente et il s'échauffent). Lorsque la voiture ne freine plus, les disques et plaquettes libèrent alors leur énergie par transfert thermique avec le milieu extérieur.

Si on freine trop souvent et trop longtemps, les disques et plaquettes ne peuvent plus stocker l'énergie cinétique de la voitures (ils ont trop chauffé) et la voiture ne freine plus. C'est ce que l'on appelle le fading. *(On vous en reparlera quand vous passerez le permis de conduire)*