

**EXPERTS** 4  
**Physique**

# Bienvenue dans le livre-cahier d'Experts Physique !

**Experts** t'accompagnera tout le long de l'année dans l'apprentissage des sciences et plus particulièrement de la Physique.

Pour cette 4<sup>e</sup> année, la matière de physique est divisée en deux unités d'acquis d'apprentissage (UAA) : **Travail, énergie, puissance** et **La magie de l'image**. Chacune de ces deux parties est scindée en chapitres.

Les compétences à développer sont notées au début des deux unités d'acquis d'apprentissage. Chaque chapitre débute par la présentation des objectifs à atteindre en fin de parcours.

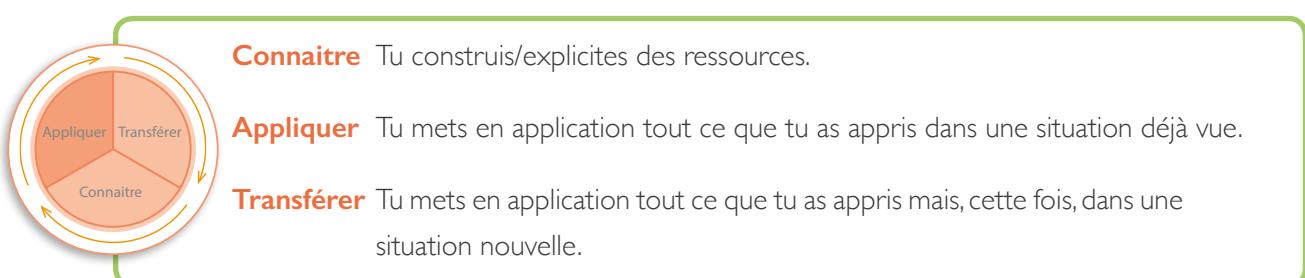
Le fil conducteur de ton apprentissage est l'expérimentation. De plus, les notions seront étudiées dans des applications de la vie quotidienne.

Ces méthodes actives (l'élève est au cœur de son apprentissage) transforment complètement la manière dont la matière est abordée et donnent à la pédagogie développée une nouvelle dynamique.

**Les logos suivants attireront ton attention sur certains points de matière à mettre en évidence :**



Tu trouveras dans ton livre-cahier ce sigle.



Nous n'avons pas l'ambition de faire de toi un expert mais de te montrer le chemin pour y parvenir.

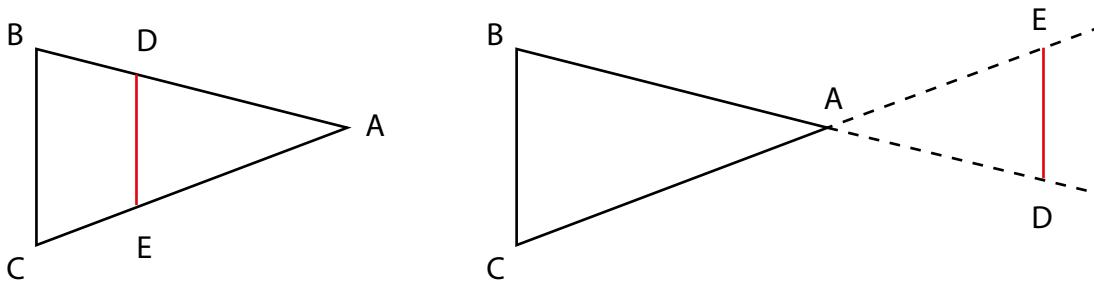
## Les triangles semblables et le théorème de Thalès

Selon le **théorème de Thalès** :

« Si dans un triangle ABC, D est un point de la droite AB et E un point de la droite AC et si DE est parallèle à BC, alors les triangles ABC et ADE sont **semblables**. »

**Les angles de ces triangles sont de même amplitude deux à deux** et les **longueurs des côtés** de l'un sont **proportionnelles** aux longueurs des côtés de l'autre.

Nous pouvons utiliser ce théorème dans les deux cas suivants :



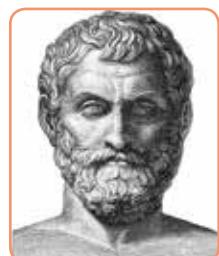
Nous pouvons écrire :  $\frac{AB}{AD} = \frac{AC}{AE} = \frac{CB}{ED}$

**Remarque :**

Dans une même fraction, les unités du numérateur et du dénominateur doivent être identiques.



**Thalès** vivait vers 600 av.J.C.; il est donc le plus ancien philosophe et mathématicien grec connu. L'attribution de ce théorème à Thalès s'explique par une légende selon laquelle il aurait calculé la hauteur d'une pyramide en mesurant la longueur de son ombre au sol et celle de l'ombre d'un bâton d'une hauteur donnée.



# Notions mathématiques

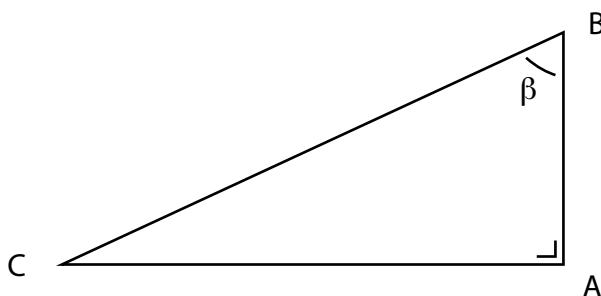
## Sinus et cosinus

Dans le triangle rectangle ABC où A est l'angle droit, nous écrivons :

$$\sin \beta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypothénuse}} = \frac{AC}{BC}$$

$$\cos \beta = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypothénuse}} = \frac{AB}{BC}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{AC}{AB}$$



Il y a une astuce pour se souvenir des formules.

**S O H**

$$\sin = \frac{\text{opposé}}{\text{hypothénuse}}$$

**C A H**

$$\cos = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypothénuse}}$$

**T O A**

$$\tan = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}}$$

$\alpha$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\operatorname{tg} \alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\infty$

### Remarques :

Les fonctions trigonométriques associent un angle au **rapport** des longueurs de **deux** côtés d'un triangle **rectangle**. Ainsi, la fonction sinus associe à un angle une valeur comprise entre  $-1$  et  $1$  (voir cours de mathématique).

Il est possible de faire l'opération inverse et d'associer à une valeur comprise entre  $-1$  et  $1$  un angle donné. Cette fonction est l'**arcsinus** et permet de trouver l'angle dont on connaît le sinus. Sur la calculatrice, cette fonction est notée  $\sin^{-1}$  ou  $\operatorname{asn}$ .

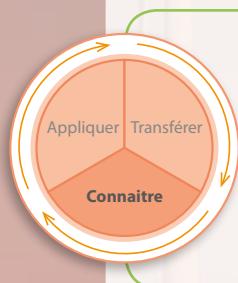
Ainsi, lorsque  $\sin \alpha = 0,5$ , alors  $\arcsin(0,5) = 30^\circ$  (ou  $150^\circ$ ).

# UAA 3

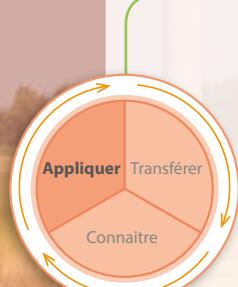
## Chapitre 3

### L'énergie et sa conservation

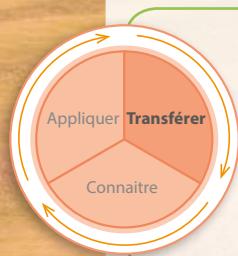
À la fin de ce chapitre, tu devras être capable de :



- Pour un processus donné, décrire les différentes formes d'énergie présentes et les transformations en cours.
- Estimer les valeurs d'énergie mécanique associées à des situations concrètes.



- Mesurer les pertes d'énergie dans une transformation énergétique correspondant à une situation donnée.
- Déterminer la variation d'énergie cinétique d'un objet dans un processus donné.
- Par le biais d'une recherche, identifier les paramètres déterminant une force de frottement entre surfaces solides.



- Dans une situation donnée, calculer le lien entre la variation de vitesse d'un objet et le transfert d'énergie qu'il subit.

# I. L'énergie

## 1. Notion d'énergie

Tu sais déjà qu'il existe plusieurs formes d'énergie, telles que l'énergie électrique, nucléaire... Mais, en réalité, qu'est-ce que l'énergie ?

Dans le langage courant, être énergique, c'est faire beaucoup d'activités, faire du sport, travailler...

D'un point de vue scientifique, une pile contient de l'**énergie** et permet ainsi à la force électrique de mettre en mouvement les charges dans le circuit électrique. Elle effectue donc un **travail moteur** et perd, de ce fait, peu à peu son énergie.

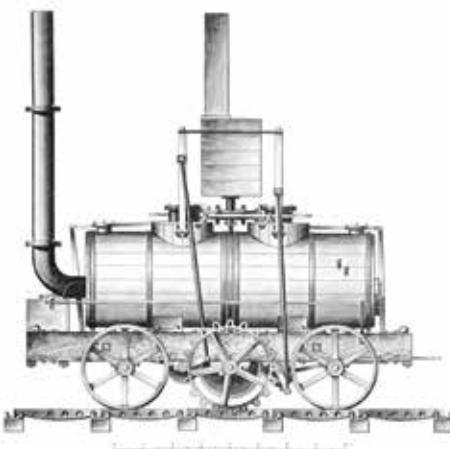


Un objet possède de l'**énergie** (E) s'il est capable d'effectuer un **travail** (W).

L'unité S. I. de l'énergie est identique à celle du travail, le **joule** (J).



L'étymologie du mot « énergie » (energia en latin) provient du grec ancien *ἐνέργεια* (à prononcer : énérgeia) qui signifie « force en action ».



La maîtrise et l'utilisation de l'énergie sont à la base du développement des civilisations. L'exploitation de l'énergie animale a permis aux chasseurs-cueilleurs de devenir des agriculteurs. Après s'être sédentarisé, l'homme a constitué des machines entraînées par l'eau et par le vent. Au XIX<sup>e</sup> siècle, les premières machines à vapeur, utilisant les énergies fossiles, ont permis la révolution industrielle. C'est au cours de ce siècle que l'homme a vraiment commencé à étudier l'énergie et a mis en place des moyens pour la quantifier. L'illustration ci-dessus représente la *Salamanca*, une des premières locomotives à vapeur, construite en 1812 par Matthew Murray.

Aujourd'hui encore, le contrôle des énergies fossiles façonne le monde et la maîtrise de nouvelles sources énergétiques (énergies renouvelables, fusion nucléaire...) est un véritable enjeu sociétal.

## 2. Transformation d'énergies

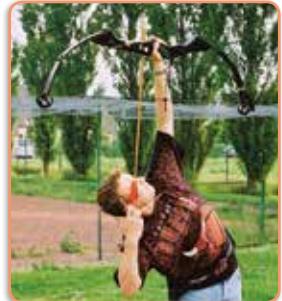
De la barre de céréales à la batterie de moto, en passant par le bâton de dynamite, l'énergie se retrouve partout, mais souvent sous diverses formes et en produisant des effets bien différents.

► Observe les photos suivantes et précise les transformations d'énergie observées.



La combustion du bois et de l'oxygène provoque une élévation de la température et une production de lumière.

Les muscles de l'archer tendent la corde. Cet exercice provoque l'échauffement des muscles.



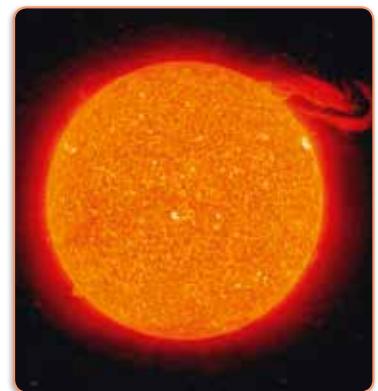
L'archer lâche la corde. La flèche part.

Le corps humain tire son énergie des aliments qu'il absorbe et qui se transforment en énergie lors de réactions chimiques. C'est pourquoi, il est important de correctement se nourrir le matin. L'unité utilisée aujourd'hui en alimentation est le joule qui remplace progressivement la kilocalorie (kcal). (1 kcal = 4186 J)

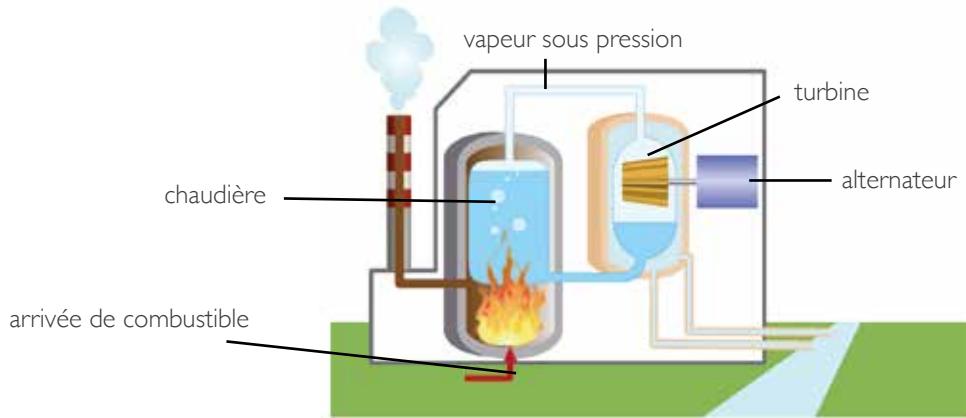


L'expression « énergies renouvelables » regroupe l'ensemble des sources énergétiques dont le temps de renouvellement, par la nature, est suffisamment court pour permettre leur utilisation régulière par l'homme.

La principale source de production des énergies renouvelables est le rayonnement solaire. C'est en effet ce dernier qui est à l'origine du cycle de l'eau permettant l'exploitation de l'énergie hydraulique et de la photosynthèse. Il offre un réservoir d'énergie chimique via la biomasse. Le Soleil est également à l'origine des courants marins et du déplacement des masses d'air dues aux différences de température existant à la surface de la Terre.



La majorité des centrales électriques fonctionnent sur le même modèle. Une chaudière transforme l'eau en vapeur. Cette vapeur sous pression actionne une turbine reliée à un alternateur qui, en tournant, produit de l'électricité. La vapeur d'eau se condense puis retourne dans la chaudière.



Complète le texte suivant en y indiquant les transformations d'énergie.

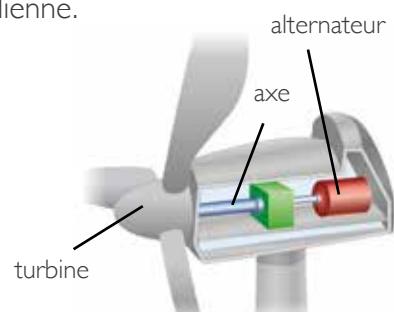
Lors de la combustion, ....

Lors de l'évaporation de l'eau, les molécules d'eau s'écartent les unes des autres et gagnent ainsi de l'énergie appelée **énergie interne**.

Lors de l'échauffement de la vapeur ainsi produite, ....

Lors du mouvement de la turbine couplée à l'alternateur, ....

En te basant sur le schéma ci-contre, explique le fonctionnement d'une éolienne.



### L'essentiel

**L'énergie (E)** d'un corps est sa **capacité** à effectuer un **travail**, son unité est le **joule (J)**.

L'énergie existe sous un grand nombre de formes. Il est possible de la convertir d'une forme en une autre.

**Attention**, cette conversion n'est pas toujours totale. C'est toujours le cas pour l'énergie thermique. On parle, dans ce cas, d'énergie dégradée.

Ainsi, dans une ampoule à incandescence, toute l'énergie électrique est transformée en énergie thermique dont seulement 5 à 10 % se transforme en énergie lumineuse.

## II. Énergies potentielle et cinétique

### 1. L'énergie potentielle

#### 1.1. Introduction

Ces deux photos montrent les effets dévastateurs d'une averse de grêle.

Pour provoquer de tels dégâts, le grêlon doit posséder de l'énergie.



- Place du sable dans un bac.
- Lisse correctement la surface du sable.
- Prends deux balles de volume quasiment identique mais de masses différentes : par exemple, une balle de pingpong ( $m = 3 \text{ g}$ ) et une balle de golf ( $m = 46 \text{ g}$ ). Laisse tomber ces deux balles d'une même hauteur.



► Que constates-tu ?

La balle, lorsqu'elle se trouve à une certaine hauteur par rapport au sol, possède de l'énergie, puisqu'elle peut déformer la surface du sable. Cette énergie reste invisible tant que nous ne la laissons pas tomber. C'est de **l'énergie en réserve** que nous appelons **énergie potentielle ( $E_p$ )**. Lors de sa chute, la balle perd peu à peu son énergie potentielle.

Il existe différents types d'énergie potentielle. En voici deux exemples.



Tenons un marteau dans une main au-dessus d'un clou. Le marteau possède de l'**énergie potentielle de pesanteur**. En tombant, il enfoncera le clou. C'est son poids qui le fera chuter dès que nous le laisserons libre de se mouvoir.

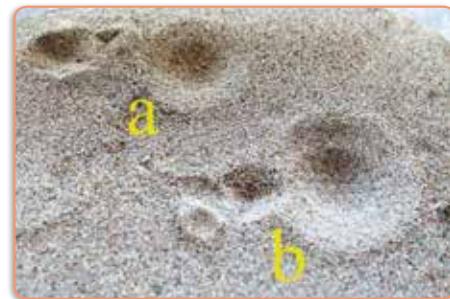
Pour charger un revolver à fléchettes, il suffit d'introduire une fléchette dans le canon puis de comprimer le ressort interne. La gâchette bloque le ressort lorsqu'il est comprimé. C'est une **force élastique** qui lui permettra de se détendre. Le ressort a de l'énergie en réserve. Nous l'appelons **énergie potentielle élastique**. Celle-ci sera libérée lorsque nous appuierons sur la gâchette.



## 1.2. Facteurs influençant l'énergie potentielle

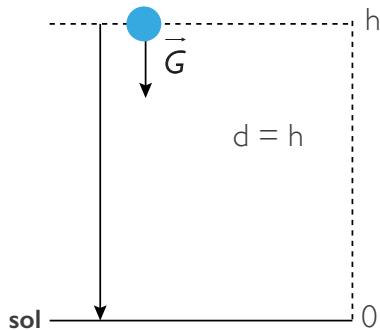
► Compare la déformation produite par les deux balles dans l'expérience précédente. Tire une conclusion.

- Place du sable dans un bac.
- Lisse correctement la surface du sable.
- Laisse tomber une balle de golf dans le sable : d'abord d'une hauteur de 10 cm (a) et, ensuite, d'une hauteur de 20 cm (b).



### Labo 6 Lien entre hauteur de chute et impact

► Compare les deux impacts et tire une conclusion.



Calculons le travail effectué par une balle de masse  $m$  tombant d'une hauteur  $h$ .

C'est le poids de la balle qui travaille durant ce déplacement entre la hauteur  $h$  et le sol.

$$\text{Nous pouvons écrire : } W = F \cdot d = m \cdot g \cdot h$$

Au fur et à mesure de la chute, le travail du poids est égal à la diminution de l'énergie potentielle de la balle.

**Choisissons arbitrairement le sol comme niveau zéro de l'énergie potentielle.** L'énergie potentielle à la hauteur  $h$  vaut :

$$E_p(h) = m \cdot g \cdot h$$

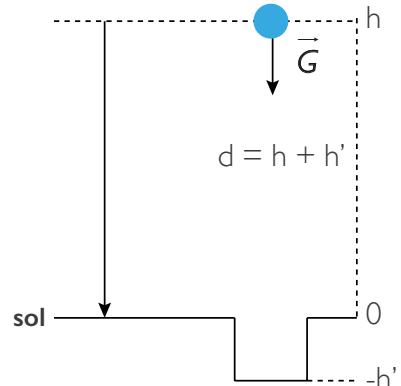
Imaginons que la balle tombe dans un trou. Le travail du poids vaut :

$$W = F \cdot d = m \cdot g \cdot (h + h')$$

Il est plus grand que l'énergie potentielle initiale. Celle-ci est donc négative au fond du trou.

$$\text{Elle vaut : } E_p(-h') = E_p(h) - W_{\text{poids}} = -m \cdot g \cdot h'.$$

L'énergie potentielle peut donc prendre une valeur négative.



**Le choix du niveau zéro d'énergie potentielle** de pesanteur est totalement **arbitraire** car c'est la **variation d'énergie potentielle** de pesanteur qui est égale au **travail effectué** par son poids.

- De quelle hauteur dois-tu laisser tomber une balle de pingpong ( $m = 3 \text{ g}$ ) pour qu'elle provoque la même déformation de la surface du sable qu'une balle de golf ( $m = 46 \text{ g}$ ) tombant d'une hauteur de 10 cm ?



La formule de l'énergie potentielle de pesanteur d'un corps est :

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

(J) (kg) (N/kg) (m)

Habituellement, le zéro d'énergie potentielle est fixé au sol.

## 2. L'énergie cinétique

### 2.1. Introduction

- Compare le mouvement des pales d'une éolienne lorsque le vent souffle faiblement ou fortement.



- Quand l'éolienne produit-elle le plus d'énergie ?

La vitesse de l'air influence l'énergie produite par l'éolienne. L'énergie que possède un corps peut dépendre de sa vitesse. Cette forme d'énergie, liée à la vitesse, est appelée **énergie cinétique ( $E_k$ )**. La notation  $E_c$  peut également être utilisée. Le « c » provient du terme « cinétique » qui se traduit en anglais par « kinetic ».



Les usines marémotrices, comme certains barrages hydroélectriques (appelés « au fil de l'eau »), transforment l'énergie cinétique du courant de l'eau en énergie électrique.

Tous les barrages hydroélectriques ne fonctionnent pas sur ce principe.



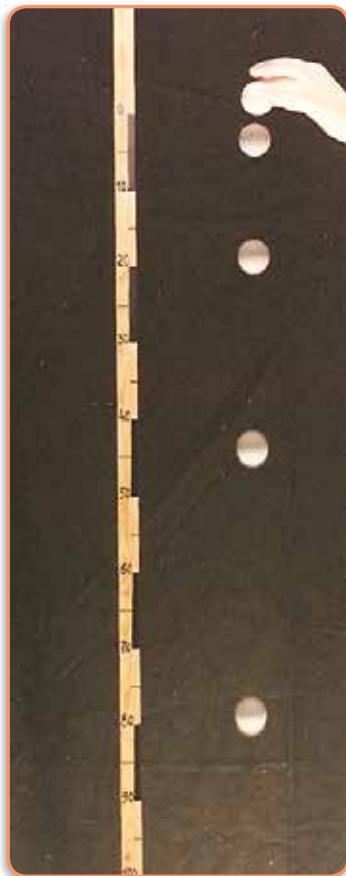
La Rance, France

## 2.2. Notion de vitesse

L'énergie cinétique d'un corps dépend de la vitesse de ce dernier. La **vitesse** est le **rappart** entre le **déplacement ( $\Delta x$ )** d'un objet et l'intervalle de **temps ( $\Delta t$ )** durant lequel la mesure est réalisée.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

La vitesse s'exprime donc en  $\frac{m}{s}$  (mètre par seconde) dans le S. I.



Pour réaliser la chronophotographie ci-contre, nous avons éclairé l'objet tous les dixièmes de seconde en gardant ouvert l'obturateur de l'appareil photo (voir UAA4).

La photo représente le mouvement d'une balle compacte de 45 g tombant vers le sol. La latte est graduée en centimètres.

Il y a deux manières de décrire un tel mouvement.

- D'une part, en calculant la **vitesse moyenne** de la balle qui parcourt la distance de 0,82 m en 0,4 s.

$$v_{\text{moy}} = \dots$$

- D'autre part, en estimant la vitesse de la balle en un point précis de sa trajectoire. Nous parlons alors de la **vitesse instantanée**. Celle-ci s'obtient en mesurant la distance  $\Delta x$  parcourue par la balle et répartie de part et d'autre du point choisi pour un intervalle de temps  $\Delta t$  aussi petit que possible.

► Détermine la position de la balle tous les dizièmes de seconde et complète la deuxième colonne du tableau ci-dessous.

Temps $t$ (s)	Position $x$ (m)	Vitesse instantanée (m/s)
0,0		0,00
0,1		1,05
0,2		
0,3		
0,4		

Déterminons la vitesse instantanée de la balle à l'instant  $t = 0,1$  s.

Le déplacement entre les instants  $t = 0,0$  s et  $t = 0,2$  s ( $\Delta t = 0,2$  s) : vaut  $\Delta x = 0,21 - 0,00 = 0,21$  m.

La vitesse instantanée à l'instant  $t = 0,1$  s vaut  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0,21}{0,2} = 1,05$  m/s.

► Détermine la vitesse instantanée de la balle aux instants 0,2 s et 0,3 s et complète la troisième colonne du tableau ci-dessus.

$t = 0,2$  s :

$t = 0,3$  s :

► Comment varie la vitesse instantanée de la balle ?

La vitesse instantanée décrit plus précisément le mouvement de la balle que la vitesse moyenne. Elle nous indique que le mouvement est de plus en plus rapide.

Ainsi lorsque le sprinter Jamaïcain Usain Bolt court le 100 m en 9,58 s, sa vitesse moyenne est  $v = \frac{100}{9,58} = 10,44$  m/s.

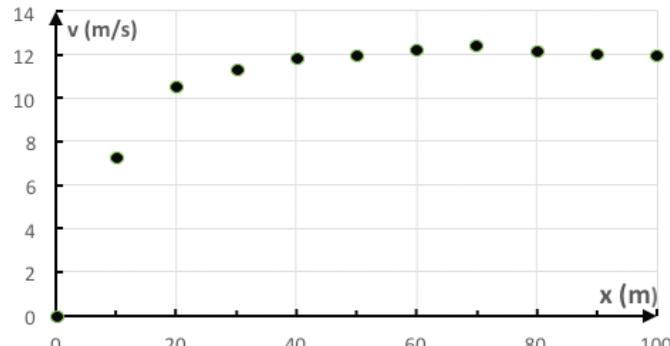
Pourtant, cette vitesse n'est pas la même à chaque instant.

Au départ, sa vitesse est nulle et va ensuite augmenter jusqu'à atteindre une vitesse de pointe de 12,42 m/s !



Dans l'étude de l'énergie cinétique, c'est la vitesse instantanée qui détermine l'énergie que possède un corps à un moment donné.

Évaluation de la vitesse instantanée d'Usain Bolt lors du championnat du monde 2009



Dans la vie quotidienne, la vitesse est exprimée en km/h. Pour travailler dans le S.I., il faut la convertir en m/s.

Si on sait que  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$  et que  $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ , alors  $1 \text{ km/h} = \frac{1000}{3600} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s}$ .

Exemples : • La vitesse moyenne d'un piéton est de 5 km/h, ce qui équivaut à  $\frac{5}{3,6} = 1,4$  m/s.  
• La vitesse de propagation du son dans l'air est d'environ 340 m/s, ce qui correspond à  $340 \cdot 3,6 = 1224$  km/h.

### 2.3. Facteurs influençant l'énergie cinétique

Prenons l'exemple d'une voiture ou d'un camion fonçant dans un mur à la même vitesse.

- Quel véhicule (la voiture ou le camion) causera le plus de dégâts au mur ? Quelle est la grandeur qui intervient ?

.....  
.....  
.....



Revenons à l'expérience au cours de laquelle nous avons laissé tomber une balle de golf de 10 cm puis de 20 cm de haut dans un bac à sable. L'impact, lors du second lâcher, était plus grand que celui lors du premier.

- Compare les vitesses instantanées de la balle au moment de l'impact suite à ces deux chutes.

.....  
.....  
.....

- Quels facteurs influencent l'énergie cinétique d'un objet en mouvement ?

.....  
.....

Une étude détaillée montre que l'énergie cinétique d'un corps de masse  $m$  est proportionnelle au carré de la vitesse  $v$  et est donnée par la formule :  $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$



Une étude complète montre que l'énergie cinétique d'une masse  $m$  se déplaçant à la vitesse  $v$  est donnée par la formule :  $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$

La vitesse reprise dans cette formule est la vitesse instantanée de la masse en mouvement.



#### L'essentiel

L'énergie potentielle de pesanteur ( $E_p$ ) est donnée par cette formule :

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

L'énergie cinétique ( $E_k$ ) est donnée par cette formule :  $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$

### 3. Exercices

1. Pour chacune des situations suivantes, précise le type d'énergie (potentielle de pesanteur, potentielle élastique ou cinétique) que le corps possède. Nous admettons que l'énergie potentielle de pesanteur est nulle au sol.

Un ressort comprimé : .....

Un pot de fleurs sur un balcon : .....

Une arbalète armée : .....

Un avion dans le ciel : .....

Une pomme tombe d'un arbre.

a) Elle se décroche : .....

b) Elle est à mi-hauteur : .....

c) Une fraction de seconde avant qu'elle ne touche le sol : .....



2. Une voiture se déplace sur une route horizontale à vitesse constante.

a) Son énergie cinétique varie-t-elle ?

.....  
.....



b) Elle entame l'ascension d'une côte tout en conservant sa vitesse initiale. Son énergie cinétique varie-t-elle ?

.....  
.....



c) Son énergie potentielle varie-t-elle ? Justifie.

.....  
.....

d) D'où provient cet apport d'énergie ?

.....

**3.** La loi limite à 2 J l'énergie des « balles » sortant du canon des répliques d'armes à feu utilisées par les amateurs d'air soft (fusils à billes). Une bille en plastique, dont la masse est de 0,2 g et dont le diamètre est de 6 mm, sort du canon d'une de ces armes à la vitesse de 100 m/s.  
Respecte-t-elle la réglementation en vigueur ?

Quelle peut être la vitesse maximale d'une de ces billes ?

**4.** Liée à la révolution française (1789), la guillotine est un moyen d'exécution utilisé en France jusqu'en 1977. Elle est constituée d'une lame oblique de 7 kg fixée à un mouton dont la masse vaut 32 kg. L'ensemble est hissé à une hauteur de 4,2 m.

Au moment de l'exécution, le bourreau relâche le mécanisme qui vient sectionner la tête du condamné.

Calcule l'énergie potentielle de la lame-mouton lorsque le mécanisme est armé.

Quel travail le bourreau doit-il effectuer pour armer le mécanisme ?

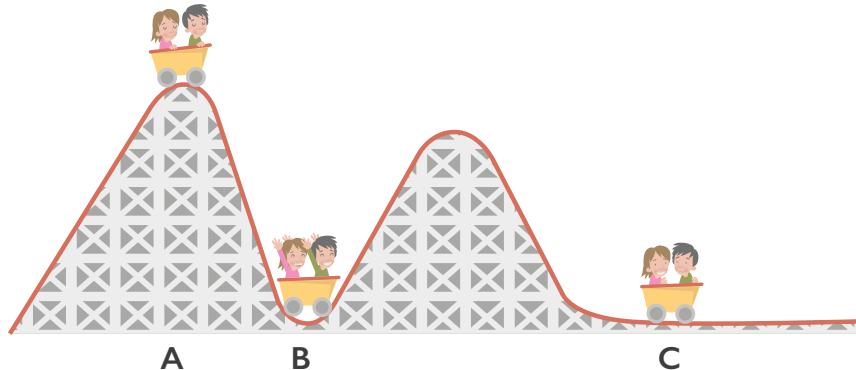


### III. Principe de la conservation de l'énergie

#### 1. Introduction

Les amateurs de sensations fortes connaissent bien les montagnes russes. Le chariot est hissé au sommet de la première côte puis est laissé libre de se mouvoir.

Nous ne tenons pas compte ici des forces de frottement.



► À quels endroits de cette attraction la vitesse te paraît-elle la plus importante ?

► Comment est la vitesse juste avant d'entamer la première descente ?

► Pour les deux emplacements A et B, précise quel type d'énergie possède le charriot.

► Comment varient la vitesse et les différents types d'énergie au cours d'une remontée ?

► Comment évolue la valeur des énergies potentielle et cinétique lors d'un parcours sur une montagne russe ?

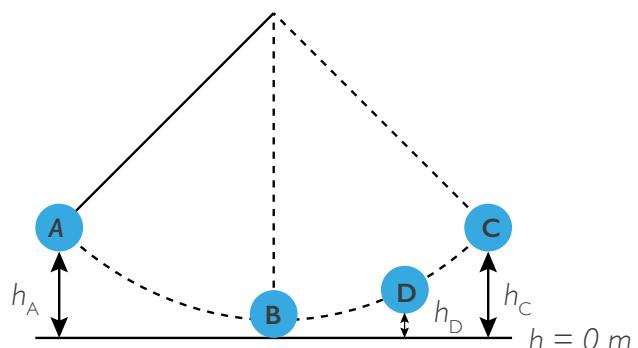
## 2. L'énergie mécanique et sa conservation

## 2.1. Les frottements sont négligeables

Par définition, l'**énergie mécanique d'un corps ( $E_m$ )** est la somme de ses énergies cinétique et potentielle.

$$E_m = E_p + E_k$$

- Construis un pendule simple formé d'une petite sphère compacte fixée à l'extrémité d'un fil. Écarte la sphère de sa position d'équilibre (B) jusqu'au point A. Lâche-la.



- Identifie les énergies présentes aux points A, B, C et D. Complète le tableau ci-dessous.

position	$E_p$	$E_k$	$E_m$ est composée de
A	Oui - Non	Oui - Non	
B	Oui - Non	Oui - Non	
C	Oui - Non	Oui - Non	
D	Oui - Non	Oui - Non	

- Décris les transformations d'énergie observées au cours du mouvement.

► Compare les hauteurs  $h_A$  et  $h_C$ .

► Compare les énergies potentielles en ces deux points.

Si les énergies potentielles en A et en C sont identiques, nous pouvons conclure que l'énergie mécanique se conserve lors de ce mouvement.



La relation entre les énergies potentielle et cinétique lors d'une chute libre a, pour la première fois, été quantifiée par la mathématicienne, physicienne et femme de lettres française, **Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil**, marquise du Châtelet, plus connue sous le nom d'Émilie du Châtelet (1706-1749). Cette femme remarquable, considérée comme la première femme scientifique française, est encore connue aujourd'hui pour sa traduction en français du célèbre *Principia Mathematica* de Newton.



Lors de la définition de la vitesse instantanée, nous avons laissé chuter une balle dont la masse est de 45 g, d'une hauteur d'un mètre.

► Complète le tableau obtenu afin de vérifier si l'énergie mécanique est conservée. Pour faciliter le calcul, nous choisissons  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

$t \text{ (s)}$	$h \text{ (m)}$	$v_{\text{instantanée}} \text{ (m/s)}$	$E_p \text{ (J)}$	$E_k \text{ (J)}$	$E_m \text{ (J)}$
0,0	1,00	0,00			
0,1	0,94	1,10			
0,2	0,79	2,05			
0,3	0,54	3,05			
0,4	0,18				

► À partir des données du tableau, déduis la vitesse à l'instant  $t = 0,4 \text{ s}$ .

## 2.2. Les frottements ne sont pas négligeables

- Laisse maintenant osciller ton pendule pendant quelques minutes.

► Qu' observes-tu ?

.....  
.....  
.....

► L'énergie mécanique est-elle conservée ?

.....  
.....  
.....

► Comment peux-tu expliciter cette observation ?

## 2.3. Que devient l'énergie perdue par frottement ?

- Frotte tes mains l'une contre l'autre ou touche les pneus d'un vélo ou d'une voiture après que ceux-ci aient roulé.

► Que constates-tu ? Tire une conclusion.



L'allume-feu au magnésium est une application de ce principe. Il est composé d'une lamelle d'acier et d'un tube cylindrique recouvert d'une pellicule de magnésium. En plaçant la lame légèrement inclinée au sommet du tube et en la faisant glisser rapidement le long du tube, on remarque l'apparition d'étincelles. Ces étincelles sont, en réalité, des copeaux de magnésium enflammés.

- Glisse rapidement la lame lorsqu'elle est posée légèrement contre le tube (photo 1).
- Recommence l'expérience mais, cette fois-ci, en poussant fermement la lame contre le tube (photo 2).

	Frottements de la lame contre le tube	Production d'étincelles
Lame posée		
Lame appuyée		

► Tire une conclusion concernant le lien entre frottements et énergies produites.

## 2.4 Conservation de l'énergie mécanique

Lorsque nous déplaçons la sphère du pendule de sa position d'équilibre, nous effectuons un travail. La sphère reçoit de l'énergie potentielle.

Lorsque nous la lâchons, celle-ci revient vers la position d'équilibre. Que devient l'énergie acquise ?

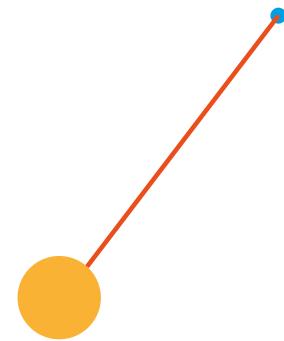
- Seul **le poids de la sphère** effectue un **travail**.

Nous venons de constater que, dans ce cas, **l'énergie mécanique se conserve**. L'énergie mécanique peut changer de forme (potentielle  $\Leftrightarrow$  cinétique) mais pas de valeur.

$$E_k(\text{initiale}) + E_p(\text{initiale}) = E_k(\text{finale}) + E_p(\text{finale})$$

Cette observation, peut être généralisée à toute situation où seul le poids effectue un travail.

**Remarque :** Dans notre exemple la sphère est soumise à deux forces : son poids et la tension du fil. Mais la seconde n'effectue aucun travail car la tension du fil est en chaque point de sa trajectoire perpendiculaire à la tangente à celle-ci



- Le **poids** et des **forces de frottements** effectuent un **travail**.

Dans ce cas, **l'énergie mécanique ne se conserve pas** même si la somme des énergies présentes reste constante. En effet, une partie de l'énergie mécanique se transforme en **énergie thermique** suite au travail des forces de frottements.

Nous écrivons :  $E_m(\text{finale}) = E_m(\text{initiale}) + W(\text{forces frottement})$

Les forces de frottement effectuant un travail résistant :  $W_f = -F_f \cdot d$ , cette relation peut s'écrire :

$$E_k(\text{finale}) + E_p(\text{finale}) = E_k(\text{initiale}) + E_p(\text{initiale}) - F_f \cdot d$$



### Labo 7 Énergie perdue au cours d'un rebond



## Le mouvement perpétuel

Un des défis pour les scientifiques de la Renaissance était de créer une machine à mouvement perpétuel. Après l'apport d'énergie initiale, cette machine devait être capable de poursuivre son mouvement à l'infini sans nouvel apport d'énergie. Vu les forces de frottement présentes dans tout mouvement, ce concept est bien sûr impossible à mettre en pratique.



## L'essentiel

**L'énergie mécanique ( $E_m$ )** d'un objet est la somme de ses énergies cinétique et potentielle.

Dans la situation où **seul le poids** effectue un **travail**, **l'énergie mécanique se conserve** :

$$E_k(\text{finale}) + E_p(\text{initiale}) = E_k(\text{initiale}) + E_p(\text{initiale})$$

Par contre, si **le travail des forces de frottement s'ajoute à celui du poids**, **l'énergie mécanique ne se conserve pas**. Les frottements transforment une partie de l'énergie mécanique en **énergie thermique**.

$$E_m(\text{finale}) = E_m(\text{initiale}) + W \text{ (forces frottement)}$$

ou :

$$E_k(\text{finale}) + E_p(\text{finale}) = E_k(\text{initiale}) + E_p(\text{initiale}) - F_f \cdot d.$$

## 3. Exercices

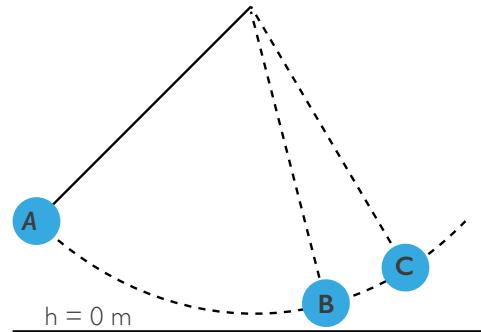
1. Observe le schéma de ce pendule simple représenté dans différentes positions. (on néglige le frottement)

- a) Dans quelle position l'énergie potentielle est-elle la plus grande ? Justifie chaque réponse.

.....

.....

.....



- b) Dans quelle position l'énergie cinétique est-elle la plus grande ?

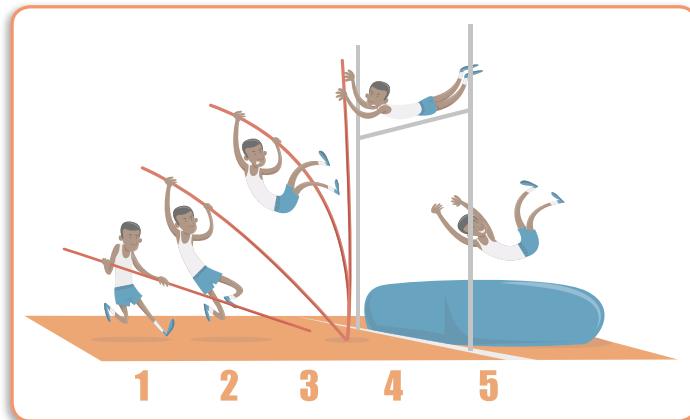
.....

.....

.....

- c) Entre les positions A et C, dans quel cas l'énergie cinétique est-elle la plus grande ?

2. Observe le dessin ci-contre. Quelles sont les énergies potentielles représentées ?

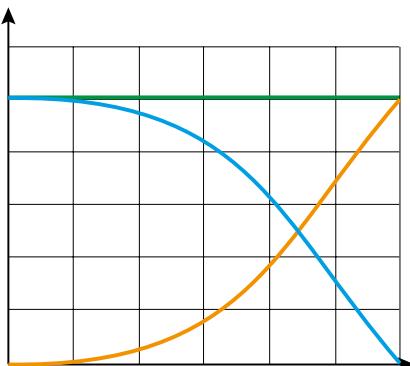


Complète le tableau ci-dessous :

- en inscrivant « Max », si l'énergie a atteint sa valeur maximale, ou « 0 », si elle est nulle ;
  - ou en traçant une flèche vers le haut, si l'énergie augmente, ou vers le bas, si elle diminue.
- Nous négligeons les forces de frottement.

	1	2	3	4	5
$E_m$					
$E_k$					
$E_p$					

3.a) Le graphique ci-contre montre la variation des énergies potentielle, cinétique et mécanique au cours du temps dans une chute sans frottement (chute libre). Précise quel type d'énergie est représenté par chacune des courbes colorées. Justifie.



Courbe verte : .....

Courbe orange : .....

Courbe bleue : .....

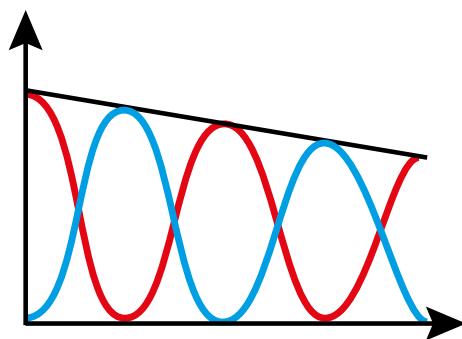
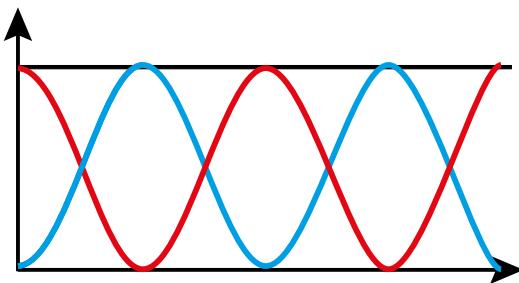
b) Si ce graphique représente maintenant la variation des énergies potentielle, cinétique et mécanique au cours du temps, pour un objet lancé vers le haut sans frottement jusqu'à atteindre sa hauteur maximale, précise quel type d'énergie est représenté par 1, 2 et 3. Justifie.

Courbe verte : .....

Courbe orange : .....

Courbe bleue : .....

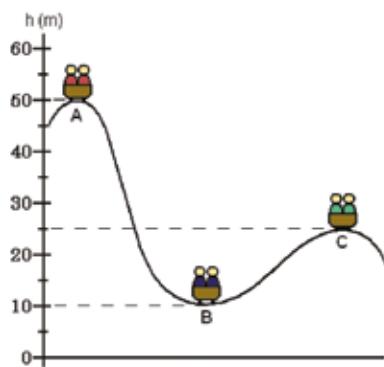
4. Ces deux graphiques représentent les oscillations d'un objet fixé à l'extrémité d'un ressort. À l'instant initial, le ressort est comprimé.



- a) Attribue à chacune des courbes une forme d'énergie.  
 b) Légende les axes.  
 c) Lequel de ces graphiques est théorique ? Justifie.
- .....  
 .....  
 .....  
 .....

5. Un chariot de 900 kg se déplace sur des montagnes russes. Détermine son énergie potentielle en A, son énergie cinétique en B et sa vitesse en C.

Nous négligeons les forces de frottement.



.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

6. Les balles de tennis de table utilisées dans les compétitions doivent respecter certaines conditions de taille et de masse (3 g). Mais elles doivent également respecter une condition de rebond. Lorsqu'elles sont lâchées verticalement d'une hauteur de 30 cm au-dessus de la table de jeu, elles doivent effectuer un rebond de minimum 23 cm. Calcule l'énergie perdue par la balle lors du rebond.

---

---

---

---

---

7. La publication reprise ci-contre associe le choc subi par un conducteur roulant à la vitesse  $v$  et n'ayant pas bouclé sa ceinture, lorsqu'il est arrêté par un obstacle, à celui subi par une personne tombant d'un immeuble de hauteur  $h$ . Pour illustrer leur propos, les auteurs supposent qu'une même perte d'énergie entraîne les mêmes dégâts corporels, lors d'un arrêt brutal.



Quelle énergie possède la personne...

- au sommet de l'immeuble ?
- dans sa voiture, juste avant l'impact avec l'obstacle ?

Sur quelle hypothèse les auteurs de cette publication se sont-ils basés pour réaliser ce graphique ? Traduis ce lien sous forme d'équation.

---

---

La masse a-t-elle une importance ?

Détermine la relation liant la hauteur de l'immeuble à la vitesse de la voiture.

Calcule la hauteur de la chute correspondant une voiture roulant à 36 km/h et 72 km/h.

---

---

Tire une conclusion.



### Sécurité routière

Dans un bus, les occupants se déplacent à la même vitesse que le bus. Ils possèdent de l'énergie cinétique. Lorsque le bus freine, les passagers continuent leur mouvement vers l'avant. Il faut donc se tenir.

Il en va de même pour les occupants d'une voiture. Le port de la ceinture de sécurité est donc primordial. Elle les maintient sur le siège et dissipe progressivement l'énergie cinétique accumulée en se détendant progressivement. Ainsi, ils ne viendront pas heurter le tableau de bord et ils ne traverseront pas le pare-brise.



## 4. Forces de frottement et déformation

### 4.1. Frottement fluide

Lorsqu'un objet solide se déplace dans un fluide (liquide ou gaz), les molécules de ce dernier viennent frotter contre l'objet. La somme de ces chocs multiples donne naissance à une force opposée au mouvement de l'objet appelée force de frottement fluide. Cette force dépend de la vitesse de l'objet.



La majorité de l'énergie utilisée lors d'un déplacement sert à compenser l'énergie dissipée par les frottements. Pour économiser de l'énergie, tous les constructeurs de moyens de transport tentent de rendre leurs produits les plus aérodynamiques possible, comme le montre cette photo de prototype de camion.



### Frottement fluide et vie sur terre

Même si les forces de frottement compliquent la vie des ingénieurs, c'est en partie grâce à elles que la vie sur terre est possible. Ainsi une simple averse causerait d'importants dommages : la vitesse maximale d'une goutte de pluie est de 9,09 m/s ; sans les forces de frottement, elle serait de 245 m/s.

## 4.2. Frottement sec

- Prends une gomme et fais-la glisser sur une table.

► Qu' observes-tu ?

La longueur du déplacement dépend, entre autres, de la nature des surfaces en contact et du poids de l'objet.

► Représente les différentes forces agissant sur la gomme pendant son mouvement.

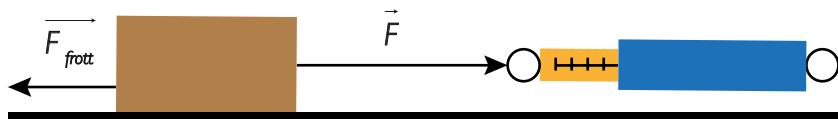


► Pourquoi la gomme s'arrête-t-elle ?

Nous parlerons de **force de frottement sec (statique)**. Elle apparaît lorsque **deux surfaces solides** glissent l'une sur l'autre.

**N.B. :** La somme des forces s'appliquant sur la gomme suivant la verticale est nulle, puisque celle-ci est en équilibre lorsqu'on la dépose sur la table.

- Trakte un objet (gomme, bloc de bois...) sur une table horizontale au moyen d'un dynamomètre. Dans un premier temps, l'objet ne bouge pas. La force de frottement statique est égale en valeur mais de sens opposé à la force appliquée.



Regardons au microscope une surface solide paraissant lisse, nous observons de nombreuses microaspérités en surface appelées **microsoudures**.

Si nous déposons deux corps solides l'un sur l'autre, les aspérités vont s'imbriquer les unes dans les autres. Il faudra exercer une force suffisante pour mettre l'objet en mouvement.

Au moment où l'objet se met en mouvement, la force de frottement statique atteint sa valeur maximale. Nous l'appelons **force de frottement statique maximale**.

Les aspérités « glissent » maintenant les unes sur les autres. La **force de frottement cinétique** (dynamique) se substitue au frottement statique. La force appliquée pour maintenir le mouvement est plus faible que la force de frottement statique maximale.

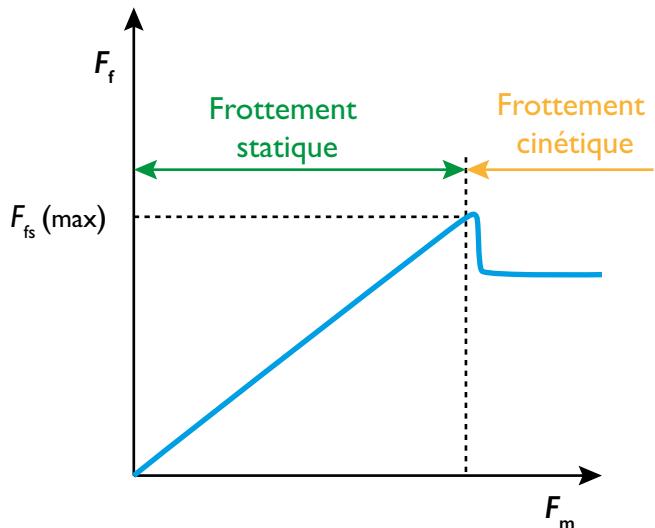
Lors de l'expérience de laboratoire, tu constateras que ces forces sont dépendantes de la force pressant les surfaces l'une contre l'autre et de la nature de celles-ci.

Les normes de la force de frottement statique maximale et celle de la force de frottement cinétique sont données par les relations :

$$F_{fs}(\max) = \mu_s \cdot N \quad \text{et} \quad F_{fc} = \mu_c \cdot N$$

où  $\mu_s$  et  $\mu_c$  sont les **coefficients de frottement statique et cinétique**. Ces coefficients, sans unité, sont fonction de la nature des deux surfaces en contact.

Le tableau ci-dessous reprend quelques coefficients de frottement.



Matières en contact	$\mu_s$	$\mu_c$
Acier/acier	0,3	0,1
Acier/glace	0,05	0,02
Pneu sur route sèche	1	0,8
Pneu sur route humide	0,3	0,2
Teflon/teflon	0,04	0,04

Comme annoncé,  $\mu_s \geq \mu_c$ .



## Labo 8 les forces de frottement

### 4.3. Application

- Prends une gomme et place-la au milieu d'une latte. Soulève lentement une extrémité de la latte.

► Qu' observes-tu ?

---



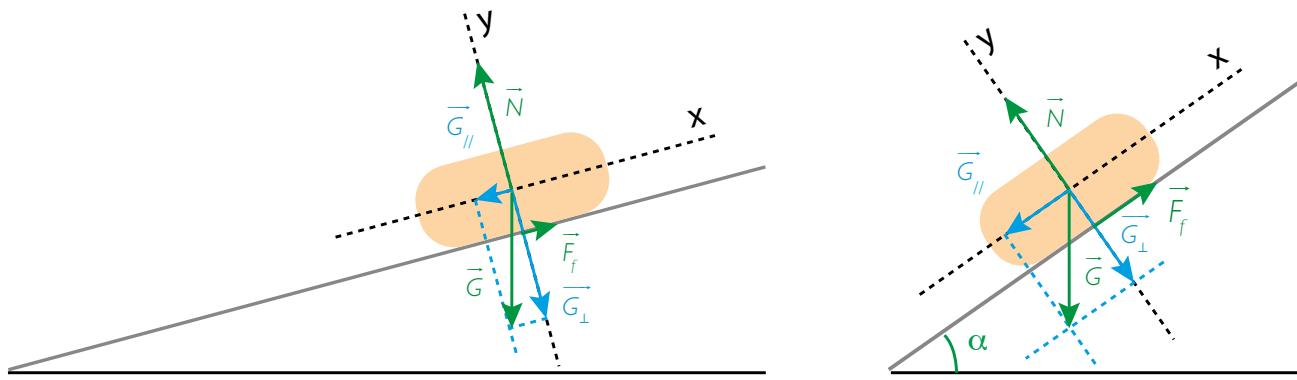
---



---

- Mesure cette inclinaison :  $\alpha = \dots$

Sur les schémas ci-dessous, nous avons représenté les différentes forces (en vert) agissant sur la gomme pour deux inclinaisons différentes. Puis nous avons décomposé le poids  $\vec{G}$  suivant un axe (x) parallèle au plan incliné et un axe (y) perpendiculaire à celui-ci (en bleu).



► Comment varie la norme des forces suivantes en fonction de l'inclinaison du plan ?

La composante  $\vec{G}_{\parallel}$  du poids parallèle au plan :

---



---

La composante  $\vec{G}_{\perp}$  du poids perpendiculaire au plan :

---



---

La force normale  $\vec{N}$  :

---



---

► Quelle est l'influence de l'inclinaison du plan sur la norme  $F_f$  des forces de frottement ? Justifie.

---



---



---

Déterminons le coefficient de frottement statique de la gomme.

L'objet étant en équilibre, nous écrivons :  $\sum \vec{F} = 0$  :

- suivant l'axe des x :  $G_{\parallel} - F_f = 0$  ou  $G \cdot \sin \alpha = F_f$  ;
- suivant l'axe des y :  $G_{\perp} - N = 0$  ou  $G \cdot \cos \alpha = N$ .

Or  $F_f = \mu_s \cdot N = \mu_s \cdot G \cdot \cos \alpha$ ,

donc :  $G \cdot \sin \alpha = \mu_s \cdot G \cdot \cos \alpha \Rightarrow \mu_s = \tan \alpha$ .

La mesure de l'angle permet donc de déterminer le coefficient de frottement statique.

► **Calcule le coefficient de frottement statique entre la gomme et la latte.**

$\mu_s = \dots$

## 5. Exercices

**1.** Rouler avec des pneus sous-gonflés augmente l'usure de ces derniers et la consommation de la voiture. Le gonflage des pneus influence-t-il les forces de frottement sec ? Justifie.

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

**2.** Les joueurs de tennis utilisent, lors de l'entraînement, des machines lance-balles. Le MOD 1 de Wilson peut propulser une balle de tennis de 57 g à la vitesse maximale de 115 km/h. Celle-ci vient percuter un mur à la même hauteur que le point de lancer. Nous négligeons le frottement de l'air.

a) Quelle est la vitesse de la balle au point d'impact avec le mur ?

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

b) Après son rebond sur le mur, la vitesse de la balle n'est plus que de 79 km/h. Quelle est l'énergie mécanique perdue lors du rebond ?

.....  
 .....

- c) Quelle serait la vitesse de la balle lors de son impact avec le mur si elle touche celui-ci à 3 m du sol ? La hauteur du point de lancer est de 1,35 m.
- .....
- .....
- .....
- .....

3. La surface de jeu du curling est une piste horizontale constituée de glace lisse. Une pierre de curling en granit d'une masse de 19,96 kg glisse en début de piste avec une vitesse de 2 m/s. Elle parcourt 20 m avant de s'arrêter. Calcule le coefficient de frottement cinétique du granit sur la glace.



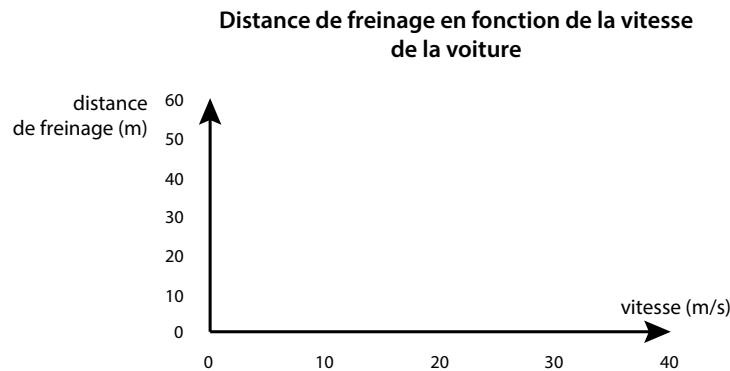
4. Une voiture de 1000 kg se déplace à la vitesse  $v$  sur une route horizontale. Soudain, le conducteur voit devant lui un obstacle et freine. L'énergie cinétique de la voiture sert à effectuer un travail contre les forces de frottement. Quand la voiture a perdu toute son énergie cinétique, elle s'arrête.

- a) Si nous supposons que la force de frottement du sol sur les pneus est constante au cours du temps, quelle est la formule de la distance de freinage en fonction de l'énergie cinétique de la voiture ?
- .....
- .....
- .....
- .....

- b) Complète le tableau ci-dessous en supposant que la force de frottement est de 8000 N sur une route sèche.

- c) Trace le graphique de la distance de freinage en fonction de la vitesse de la voiture

Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)	d (m)
0		
36		
72		
108		



Comment varie la distance de freinage d'une voiture lorsque sa vitesse double ? Justifie.

.....

.....

d) Aux abords des écoles, la vitesse est limitée à 30 km/h au lieu de l'habituel 50 km/h. Calcule la différence de distance de freinage entre ces deux vitesses.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

5. L'airbus A380 est un avion de ligne civil double ponts ayant une masse au décollage de 500 t. Chacun de ses quatre réacteurs fournit une force motrice de 311 kN. Pour décoller, l'avion doit atteindre la vitesse de 295,2 km/h. Partant du repos, l'avion parcourt 3 km avant d'atteindre cette vitesse. Détermine la valeur moyenne des forces de frottement qui s'appliquent sur le long-courrier pendant le décollage.



### L'essentiel

Lorsqu'un objet se déplace dans un milieu (air, eau...) ou lorsque deux surfaces en contact se déplacent l'une par rapport à l'autre, nous observons des **forces de frottement** qui **s'opposent au mouvement**, appelé dans le premier cas frottement fluide et, dans le second, frottement sec.

Dans le frottement sec, nous distinguons le **frottement statique** (objet reste au repos) du **frottement cinétique** (objet en mouvement).

**Frottement statique maximal :**  $F_f = \mu_s \cdot N$

**Frottement cinétique :**  $F_f = \mu_c \cdot N$

Dans ces formules,  $\mu_s$  et  $\mu_c$  sont respectivement les **coefficients de frottement statique et de frottement cinétique**.



# Lien entre hauteur de chute et impact

## But :

- Détermine l'influence de la hauteur de chute sur l'impact.

## Matériel :

- Une balle de golf ou une bille en acier.
- Des tubes-guides de section légèrement supérieure à la balle ou la bille et de longueurs comprises entre 40 cm et 160 cm.
- Un mètre.
- Du sable dans un récipient.
- Un oasis.
- Une balance.
- Une cuillère.



## Manipulation :

- Mesure la longueur du tube-guide le plus court.
- Place celui-ci sur l'oasis et laisse tomber la balle ou la bille dans le tube.
- Remplis l'impact de sable sans le tasser. La surface sera lisse et affleurera l'oasis.
- Détermine la masse de sable utilisée pour remplir l'impact.
- Réitère l'expérience en augmentant de 20 cm la hauteur de chute et ce jusqu'à atteindre une hauteur de 160 cm.

## Rapport :

Présente tes mesures dans un tableau et réalise le graphique de la masse de sable utile pour reboucher l'impact en fonction de la hauteur de chute.

## Conclusion :

Que représente la déformation laissée par l'impact matérialisée ici par la masse de sable ayant rempli celui-ci ?

Quel lien existe-t-il entre la hauteur de chute et la déformation laissée par l'impact ? Comment l'expliquer ?



# Énergie perdue au cours d'un rebond

## But :

- Déterminer l'influence de la surface du sol sur le rebond d'une balle.

## Introduction :

- Prends une balle de tennis et laisse-la tomber vers le sol.

Que constates-tu à chaque rebond ? Tire une conclusion sur la conservation de l'énergie lors de ce mouvement.

.....

.....

L'air ne joue ici qu'un rôle marginal. À chaque rebond, la balle s'aplatit un peu lors du choc avec le sol puis reprend sa forme initiale ce qui entraîne des frottements internes.

## Matériel :

- Une balle magique et une balle de ping-pong.
- Un morceau de carton épais (à doubles ou triples cannelures), un oasis.
- Une balance.

## Manipulation :

- Mesure la masse des balles.
- Place la balle magique à une hauteur de 30 cm et laisse-la tomber :
  - sur le sol lisse ;
  - sur le carton avec cannelures ;
  - sur l'oasis.
- Évalue, pour chaque surface, la hauteur du premier rebond.
- Réitère l'expérience avec la balle de ping-pong.

## Rapport :

Pour chaque balle et chaque surface, détermine la perte d'énergie mécanique.

## Conclusion :

Quelle conclusion peux-tu tirer quant à l'influence de la surface du sol sur le rebond ? Que devient l'énergie mécanique perdue par la balle ?



# Les forces de frottement

## But :

- Par le biais d'une recherche, identifier les paramètres déterminant une force de frottement entre surfaces solides.

## Matériel :

- Une boîte parallélépipède rectangle avec son couvercle. Elle sera munie d'un crochet sur une des faces latérales afin de pouvoir la tracter.
- Une planche en bois ou un banc.
- Un dynamomètre.
- Carré de tissu, papiers émeri de divers grains...
- Une latte, une balance et du sable.



## Manipulation :

- Trakte la boîte sur une surface plane au moyen du dynamomètre en augmentant progressivement la force exercée. Mesure cette force au moment où la boîte se met en mouvement et lorsqu'elle se déplace à vitesse constante.
- Réalise une série de mesures mettant en évidence l'influence
  - du poids de l'objet,
  - de la nature de la surface de contact
  - de sa superficiesur la norme de la force de frottement (statique maximale ou cinétique).

**Indice :** pour modifier la surface de contact, il suffit de placer la boîte sur ses diverses faces après avoir fixé le couvercle avec du papier adhésif.

## Rapport :

- Qu'observes-tu au moment où la boîte se met en mouvement ?
- Réalise une brève description de chaque expérience accompagnée des résultats présentés sous forme d'un tableau et d'un graphique si les mesures s'y prêtent.
- Tire une conclusion.
- Détermine le coefficient de frottement statique maximum et le coefficient de frottement cinétique entre la boîte et le bois, le tissu, le papier émeri (spécifier ses caractéristiques).