

# Chapitre P<sub>4</sub>: Travail et puissance mécaniques

## Activités préparatoires

### 1. Recherche documentaire

**Thème :** Faire des recherches sur des situations où on parle de travail dans la vie courante.

Peux-tu associer au concept de travail des grandeurs physiques déjà étudiées dans le cours de physique ? Lesquelles ?

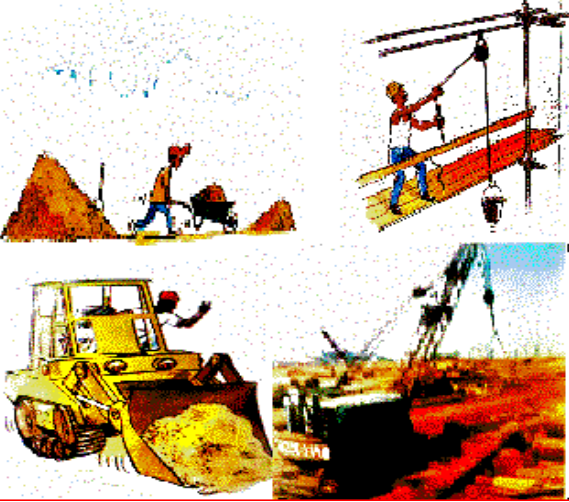
Qu'est ce qui caractérise les systèmes capables de fournir du travail ?

Il paraît que la puissance d'une force est d'autant plus grande que le travail effectué par cette force est plus grand et le temps mis pour l'effectuer est plus petit. Qu'en penses-tu ?

**Lexique :** Faire des recherches sur le vocabulaire spécifique de : travail mécanique, travail moteur, travail résistant, travail nul, puissance mécanique, joule, watt, cheval-vapeur, déplacement et force constante.

### 2. Travail personnel

A partir des exemples suivants : pousser un véhicule, tirer un chariot, faire monter une charge, la maintenir immobile, fais la distinction entre le travail au sens courant du terme (effort physique et peine) et la grandeur physique "travail » (expression numérique de l'effet mécanique d'une force).

 <p>Quelle sont les relations entre les forces actionnant ces dispositifs mécaniques et leurs mouvements ?</p>	<b>Objectifs spécifiques</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Donner la nature d'un travail (moteur, résistant ou nul).</li> <li>- Donner les conditions de nullité du travail.</li> <li>- Utiliser les expressions du travail et de la puissance mécanique</li> <li>- Donner l'ordre de grandeur de certaines puissances.</li> </ul>
	<b>Prérequis</b>
	Force, déplacement, vitesse

### Texte introductif

Pendant longtemps, l'Homme utilisait ses muscles et ceux des animaux pour se déplacer, effectuer des travaux agricoles, fabriquer des objets...

En particulier le cheval a été longtemps utilisé par l'homme pour la traction.

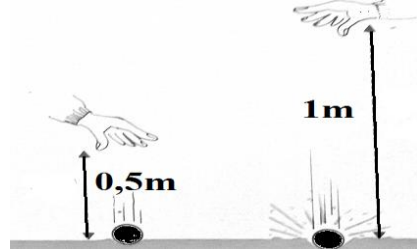
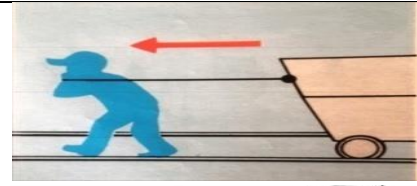
L'idée de travail dans le langage courant est liée à la notion d'effort aussi bien intellectuel que musculaire. Comment peut-on définir le travail en physique et quelle est son unité ?

Quelle est la grandeur physique qui caractérise la rapidité avec laquelle on effectue un travail

## Situations problèmes

Une force s'exerçant sur un objet peut le mettre en mouvement. Au cours de ce mouvement le point d'application de la force se déplace. La déformation du sol recevant un objet en chute dépend du poids de l'objet et de la distance parcourue par son point d'application : pour exprimer l'effet mécanique d'une force il faut considérer à la fois cette force et le déplacement de son point d'application.

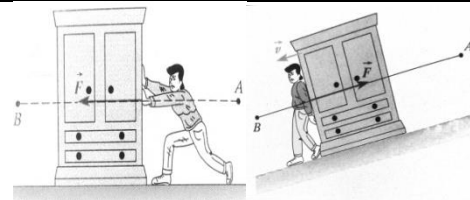
Quelle est la grandeur physique qui traduit cette relation ? Comment la définir ? A quelle(s) autre(s) grandeur(s) physique(s) est-elle associée ? Quelle est son unité légale ?



Lorsqu'un objet est immobile sur un support c'est qu'il est soumis à des forces qui se compensent.

Lors de son déplacement non uniforme toutes les forces agissant ne se compensent pas. Leurs points d'application se déplacent : en physique on dit qu'elles effectuent des travaux.

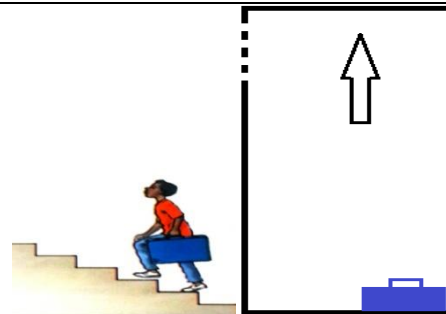
Comment exprimer le travail d'une force en fonction des grandeurs auxquelles il est lié ?



Lorsqu'une valise de masse  $m = 10\text{kg}$  est montée du rez-de-chaussée d'un immeuble pour une hauteur  $h = 40\text{ m}$  par un homme ou à l'aide d'un ascenseur alors le résultat est le même.

Le travail du poids de la valise est-il le même dans les deux situations ?

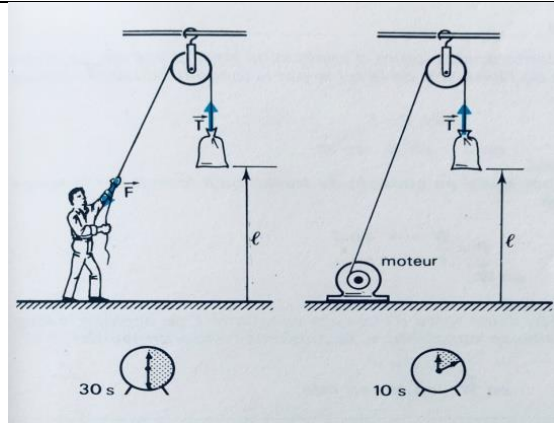
De quelle(s) grandeur(s) physique(s) dépend-il ?



Un sac de ciment est soulevé verticalement de 5m du sol par un manœuvre qui met 30s pour effectuer ce travail. Un moteur ne mettra que 10s pour effectuer ce même travail.

Quelle est la grandeur physique qui caractérise la rapidité avec laquelle une force effectue un travail ? Comment est définie cette grandeur physique ?

De quelle(s) grandeur(s) physique(s) dépend-elle ? Quelles sont ses unités ?



## Contenus

### I. Travail

#### I.1 Travail d'une force

##### Activité 1

##### Expérience

Nous disposons d'un chariot, d'un support, de deux grosses boules de masses différentes et d'un décimètre.

- ✓ Tirons le chariot sur le support avec une force constante pour une longueur de 2m.
- ✓ Lâchons la plus petite boule d'une hauteur de 0,5m puis de 1m au-dessus du sol (sable fin et sec).
- ✓ Re commençons avec la deuxième boule.

Que constatons-nous ?

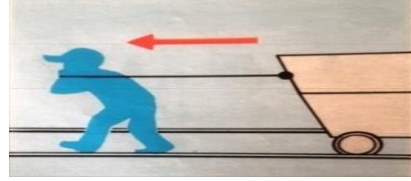


Figure 1 : Déplacement du point d'application d'une force constante

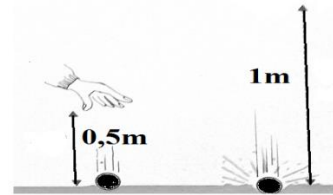


Figure 2 : influence de la hauteur de chute sur la déformation du sol



Figure 3 : influence de l'intensité de la force sur la déformation du sol

##### Observation

- Le chariot et les boules se mettent en mouvement.
- Leurs mouvements s'accélèrent.
- La déformation du sol est plus importante lorsque la longueur de chute est plus élevée. Pour une même longueur elle est plus importante avec la boule de plus grande masse de plus grands poids.

##### Interprétation

- C'est la force exercée sur le chariot et le poids des boules qui mettent respectivement le chariot et les boules en mouvement. Au cours desquels mouvements ces forces effectuent du travail mécanique (déplacement du chariot et déformation du sol).
- Dans chaque cas le travail dépend de l'intensité de la force et de la longueur du déplacement de son point d'application.

##### Conclusion

- Une force fournit du travail mécanique lorsque son point d'application se déplace.
- A la notion de travail s'associent force et déplacement. Le travail fourni par une force dépend de son intensité et de la longueur du déplacement de son point d'application.

## I.2 Définition

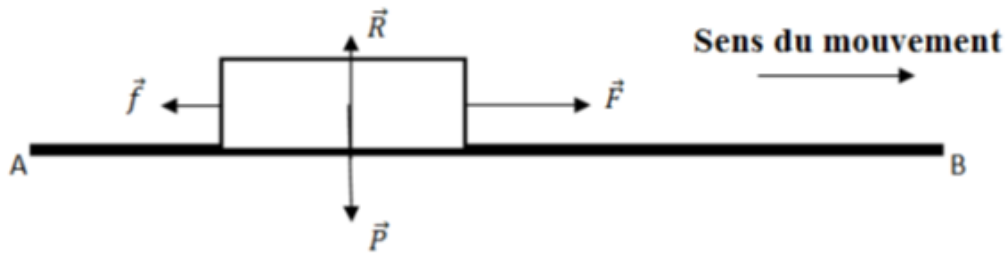
Une force  $\vec{F}$  dont le point d'application se déplace d'un point A à un point B effectue un travail noté  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$ .

Le travail s'exprime en joule (J) dans le système international.

## I.3 Travail d'une force constante colinéaire ou perpendiculaire au déplacement

### Activité 2

Document 1 : Echelles : 1 cm  $\rightarrow$  1 m pour le déplacement et 1 cm  $\rightarrow$  1 N pour l'intensité de la force



Observons le schéma ci-dessus et donnons les forces qui :

- sont colinéaires au déplacement
- sont perpendiculaires au déplacement

Quelles sont leurs influences sur le mouvement ?

Calculons le travail de chacune des forces sachant que l'expression du travail d'une force d'intensité F colinéaire au déplacement de valeur L est de la forme :

- $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \times L$  si la force favorise le mouvement ;
- $W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -f \times L$  si la force s'oppose au mouvement ;
- $W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = 0$  si la force n'a aucune influence sur le mouvement.

Donnons la nature du travail de chacune des forces et les conditions de nullité d'un travail.

### Exploitation

- Les forces colinéaires au déplacement sont  $\vec{f}$  et  $\vec{F}$ .
- Les forces perpendiculaires au déplacement sont  $\vec{R}$  et  $\vec{P}$ .
- $\vec{f}$  s'oppose au mouvement et  $\vec{F}$  favorise le mouvement ;  $\vec{R}$  et  $\vec{P}$  n'ont pas d'influence sur le mouvement.
- $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \times L = 1,2 \times 10 = 12 \text{ J}$
- $W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -f \times L = -0,6 \times 10 = -6 \text{ J}$
- $W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = 0$
- $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = 0$

### Conclusion

- Le travail d'une force constante ( $\vec{F}$ ) qui déplace son point d'application de A à B sur sa droite d'action est de la forme  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \times L$  si la force et le déplacement ont le même sens. Il est positif et dit travail moteur. La force favorise le mouvement.

- Le travail d'une force constante ( $\vec{F}$ ) qui déplace son point d'application de A à B sur sa droite d'action est de la forme  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = -\mathbf{F} \times \mathbf{L}$  si la force et le déplacement ont des sens contraires. Il est négatif et dit travail résistant. La force s'oppose au mouvement.
- Le travail d'une force constante ( $\vec{F}$ ) qui déplace son point d'application perpendiculairement à sa droite d'action est nul : la force n'a pas d'influence sur le mouvement.

### Ce qu'il faut retenir

Le travail d'une force constante colinéaire au déplacement est égal au produit de son intensité (F) par la longueur (L) du déplacement de son point d'application. C'est une grandeur algébrique :

- ☞ Sa valeur est positive si la force a le même sens que le déplacement : on dit que le travail est moteur.

**Expression :**  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \mathbf{F} \cdot \mathbf{L}$

- ☞ Sa valeur est négative si la force et le déplacement sont de sens contraires : on dit que le travail est résistant.

**Expression :**  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = -\mathbf{F} \cdot \mathbf{L}$

- ☞ Le travail d'une force constante perpendiculaire au déplacement est toujours nul.

**Expression :**  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0$

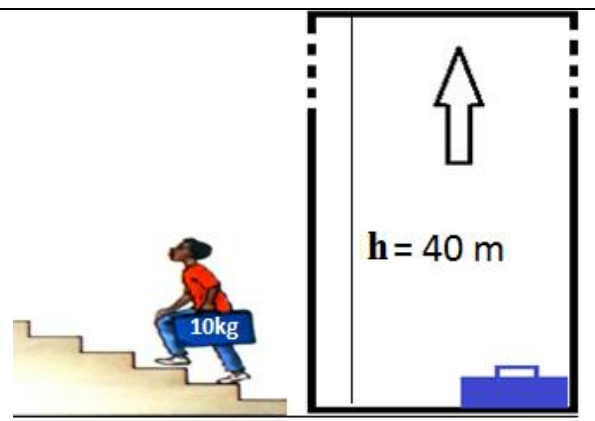
## II. Application : Travail du poids d'un corps

### Activité 3

- ✓ Observons les schémas ci-contre.
- ✓ Décrivons le déplacement du point d'application du poids de la charge dans chacune des situations.
- ✓ Donnons l'expression et la valeur du travail du poids de la charge.

Que peut-on admettre concernant le travail du poids ?

Quelle est l'expression du travail du poids ?



Le chemin suivi par le point d'application de la charge n'est pas le même.

Avec les escaliers la trajectoire est une ligne brisée. La direction du vecteur déplacement est oblique. La longueur du déplacement est différente de la hauteur h.

Avec l'ascenseur la trajectoire est une ligne droite verticale. La direction du vecteur déplacement est vertical. La longueur du déplacement est égale à la hauteur h.

Avec l'ascenseur, comme le poids est colinéaire et s'oppose au déplacement, son travail est de la forme :  $W_{\vec{p}} = -\mathbf{P} \cdot \mathbf{h} = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{h}$  Sa valeur est  $W_{\vec{p}} = -10 \times 10 \times 40 = -4000 \text{ J}$

En admettant que le travail du poids est le même dans les deux situations donc il ne dépend pas du chemin suivi. Il est toujours égal au produit de son intensité (P) par la différence d'altitude entre le point de départ et le point d'arrivée (h) de son point d'application.

### Conclusion

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi. Il a pour expression :  $W_{\vec{P}} = \mathbf{P.h} = \mathbf{m.g.h}$  quand le corps descend d'une hauteur h (travail moteur) et  $W_{\vec{P}} = -\mathbf{P.h} = -\mathbf{m.g.h}$  quand le corps monte d'une hauteur h (travail résistant).

### Ce qu'il faut retenir

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi. Il a pour expression :

- ☞  $W_{\vec{P}} = \mathbf{Ph} = \mathbf{m.g.h}$  quand le corps descend d'une hauteur h (travail moteur) ;
- ☞  $W_{\vec{P}} = -\mathbf{Ph} = -\mathbf{m.g.h}$  quand le corps monte d'une hauteur h (travail résistant) ;
- ☞  $W_{\vec{P}} = \mathbf{0}$  quand le corps se déplace horizontalement (travail nul).

## III. Puissance mécanique

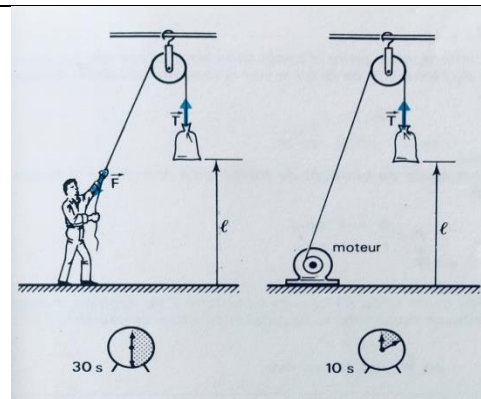
### III.1 Notion de puissance

#### Activité 4

#### Expérience

- ✓ Observons les schémas ci-contre.
- ✓ Calculons le travail effectué sachant que l'intensité de la force est  $T = 500\text{N}$  et que la longueur du déplacement  $l = h = 5\text{m}$ .
- ✓ Calculons pour chaque situation la vitesse moyenne du point d'application de la force
- ✓ Calculons pour chaque situation le quotient du travail effectué par la durée mise.
- ✓ Comparons les résultats obtenus.
- ✓ Donnons son unité légale.

Dans quelle situation, la montée de la charge est-elle plus rapide ? Quelle grandeur physique pourrait être liée à la fois au travail de la force et à la durée du déplacement de son point d'application ? Quelle est son unité ?



- Calcul du travail effectué :

$$W_{\vec{T}} = T.l = 500 \times 5 = 2500 \text{ J}$$

- Calcul des vitesses

☞ Avec le manœuvre  $V = \ell/t = 5/30 = 0,17 \text{ m/s}$

☞ Avec le moteur  $V = \ell/t = 5/10 = 0,5\text{m/s}$

- Ce travail est réalisé plus rapidement avec le moteur.

☞ Pour la force musculaire ;  $\frac{W}{t} = \frac{2500}{30} = \mathbf{83,33}$  ;

☞ Pour la force du moteur ;  $\frac{W}{t} = \frac{2500}{10} = 250$

- Avec le manœuvre, la force fournit moins de travail par unité de temps.

Les deux forces ne travaillent pas avec la même rapidité : on dit que la force exercée par le moteur est plus puissante que la force musculaire.

### Conclusion

La puissance mécanique d'une force est la grandeur physique qui caractérise la rapidité avec laquelle la force accomplit un travail. C'est le travail fourni par la force par unité de temps.

Son expression est :

$$P = \frac{W}{t}$$

### III.2 Définition

La puissance d'une force est égale au travail accompli par cette force par unité de temps.

C'est le quotient du travail par le temps. Elle s'exprime dans le système international en watt

de symbole W ;  $P = \frac{W}{t}$

Il existe une unité de puissance très ancienne : le cheval vapeur (ch) qui est différent du cheval fiscal (cv), unité de puissance fiscale dans l'administration. **1 ch = 735 W**

Le cheval-vapeur (ch) est une ancienne unité de puissance qui est encore utilisée.

### Remarques

- **Autre expression de la puissance**

Relation entre puissance mécanique P et vitesse constante v d'un mobile se déplaçant parallèlement à la direction de la force motrice d'intensité F.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F.L}{t} ; \text{ or } \frac{L}{t} = V \text{ d'où } P = F.V$$

P s'exprimant en watt (W), F en newton (N), V en mètre par seconde (m/s)

- **Autres expression et unité du travail**

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P.t$$

Si la puissance s'exprime en watt (W) et le temps en heure (h) alors le travail s'exprimera en wattheure (Wh). **1 Wh = 3600 J**

- **Ordre de grandeur de la puissance moyenne**

Force développée par	Puissance de la force
Un moteur de montre	$10^{-2} \text{ W} = 10 \text{ mW}$
Un homme adulte	$200 \text{ W} = 0,2 \text{ kW}$
Un moteur d'appareil ménager (réfrigérateur)	$500 \text{ W} = 0,5 \text{ kW}$
Un moteur électrique d'une machine à coudre	$150 \text{ W} = 0,15 \text{ kW}$
Un cheval	$700 \text{ W} = 0,7 \text{ kW}$
Un moteur d'automobile moyenne	$5 \times 10^4 \text{ W} = 50 \text{ kW}$
Un moteur de camion	$2 \times 10^5 \text{ W} = 200 \text{ kW}$
Un moteur d'un avion air bus	$5 \times 10^7 \text{ W} = 50 \text{ MW}$
Une turbine à vapeur	$910^8 \text{ W} = 900 \text{ MW}$
Un moteur d'une fusée	$10^9 \text{ W} = 1 \text{ GW}$

- **Les multiples et sous-multiples du Watt :**

Le kilowatt :  $1\text{kW} = 10^3 \text{W}$

Le mégawatt :  $1\text{MW} = 10^6 \text{W}$

Le gigawatt :  $1\text{GW} = 10^9 \text{W}$

Le milliwatt :  $1\text{mW} = 10^{-3} \text{W}$

Le microwatt :  $1 \mu\text{W} = 10^{-6} \text{W}$

**Ce qu'il faut retenir**

- ☞ La puissance mécanique d'une force est la grandeur physique qui caractérise la rapidité avec laquelle la force accomplit un travail.
  - ☞ C'est le travail fourni par la force par unité de temps.  $P = \frac{W}{t}$
  - ☞ Elle s'exprime dans le système international en watt ( $\mathcal{W}$ ).
  - ☞ Relation entre puissance mécanique  $P$  et vitesse constante  $v$  d'un mobile se déplaçant parallèlement à la direction de la force motrice d'intensité  $F$  :  $P = F \cdot v$
- Autre expression du travail mécanique :  $P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t$



## Document

### Quelques situations destinées à illustrer l'idée de travail et son sens en physique

#### Le travail, qu'est-ce que c'est ?

Un manœuvre qui transporte une charge ou qui pousse un chariot, un menuisier qui scie sa planche, un cultivateur qui laboure son champ, ... sont des actions qui mettent en jeu la force musculaire. Un élève qui traite ses exercices, un enseignant qui prépare sa fiche de leçon, ... fournissent un effort intellectuel. Nous disons dans le langage courant qu'ils effectuent un travail. Mais pour le physicien, ce mot a un sens beaucoup plus précis, qu'un exemple suffit à illustrer. Pour soulever une charge à l'aide d'une poulie nous devons exercer une force musculaire. Pour maintenir immobile cette charge, nous devons appliquer à l'extrémité libre de la corde une force d'intensité  $F$  égale à l'intensité  $P$  du poids de la charge. Lorsque nous faisons monter la charge, la force exercée déplace son point d'application ; lorsque la charge reste immobile, la force exercée ne déplace pas son point d'application. La force permet donc d'immobiliser ou de soulever la charge. Pour faire monter la charge comme pour la maintenir immobile, nous devons exercer un effort physique mais pour le physicien, nous n'avons effectué un « travail » qu'en faisant monter la charge. En physique, on convient de dire qu'il y a travail d'une force lorsque le point d'application de la force se déplace, et dans ce cas seulement.

#### Le travail d'une force

Pour mettre un chariot en mouvement nous devons lui appliquer une force. A cause du mouvement du chariot le point d'application de la force se déplace. Ce qui caractérise cette situation n'est pas seulement la force d'intensité  $F$  exercée sur le chariot, mais aussi la distance  $L$  parcourue par le point d'application de la force.

Laisser tomber une boule de pétanque ne produit pas les mêmes effets selon que la boule tombe d'une hauteur d'1 m ou d'une hauteur de 10 m. Pourtant, au cours de ces « expériences » le poids de la boule de pétanque est resté constant. C'est la connaissance de l'intensité  $P$  du poids de la boule et de la hauteur  $h$  parcourue par la boule, c'est-à-dire par le point d'application du poids, qui nous permet de « prévoir » les effets dus à la chute de la boule. L'étude des dispositifs mécaniques (poulie, treuil, palan, plan incliné, levier...) nous a montré que la force d'intensité  $F$  actionnant ces dispositifs et le déplacement de longueur  $L$  résultant ne sont pas des grandeurs indépendantes : le dispositif quel qu'il soit « transmet » le produit  $F.L$  et non  $F$  ou  $L$  séparément. Ce produit est égal au travail effectué.

## Exercices

### Contrôle des acquis

#### Exercice 1

**1.1** Recopie et complète les phrases ci-dessous par les mots suivants : durée, joule, intensité, watt, moteur, longueur, travail, résistant, déplacement

Le travail d'une force constante colinéaire au déplacement est égal au produit de l ..... de la force par la ..... du déplacement de son point d'application.

Dans le système international, le .... est l'unité de travail.

Un travail est dit ... si la force et le .... Ont même sens. Il est dit .... si la force et le .... sont de sens contraire. La puissance moyenne d'une force est le quotient du .... par la ..... mise à l'effectuer. Le..... est l'unité de puissance dans le système international.

**1.2** Quelles sont les unités internationales de travail et puissance ?

**1.3** Choisis la bonne réponse :

La relation entre la puissance mécanique P d'une force, le travail W effectué par cette dernière et le temps t mis pour accomplir ce travail s'écrit :

a)  $P = \frac{W}{t}$     b)  $W = \frac{t}{P}$     c)  $t = \frac{P}{W}$

Le travail du poids d'un corps en chute s'écrit :

a)  $W_{\vec{p}} = mg$     b)  $W_{\vec{p}} = -mgh$     c)  $W_{\vec{p}} = Ph$

#### Exercice 2

**2.1** Réponds par vrai ou faux :

- a) Le travail résistant d'une force est positif.
- b) Le travail moteur du poids a pour expression :  $W_{\vec{p}} = Ph = m.g.h$
- c) La puissance mécanique est le quotient du travail mécanique par la durée mise pour l'effectuer.
- d) Le travail d'une force constante perpendiculaire au déplacement n'est pas toujours nul

**1.2** Convertis :

a) 1 ch en W, b) 1 Wh en J

#### Exercice 3

Une automobile se déplace sur une route.

A quelle condition le poids du véhicule effectue-t-il :

- un travail positif ?
- un travail négatif ?
- un travail nul ?

### Application

#### Exercice 4

Une pierre de poids  $P=5N$  tombe verticalement d'une hauteur  $h=4m$ . Quel est le travail effectué par son poids ? On donne  $g=10N.kg^{-1}$

#### Exercice 5

Une force qui développe une puissance constante  $\mathcal{P}$  effectue un travail de 10kJ en une 1mn40s, calcule la valeur de  $\mathcal{P}$

#### Exercice 6

Quel est le travail effectué par un moteur de puissance 50kW qui fonctionne pendant une durée 1h20mn ?

#### Exercice 7

Un parachutiste descend verticalement à la vitesse de  $7m.s^{-1}$ . Son poids (parachute +parachutiste) est de 1000N.

7-1- Quel est le travail effectué par son poids pour une chute de durée de  $t=20s$  ?

7-2- Quelle est la puissance développée par son poids ?

### Situation d'intégration

#### Exercice 8

Un mobile M, sous l'action d'une force constante d'intensité F se déplace d'une longueur L pendant une durée t, avec un vecteur vitesse colinéaire au vecteur force et de même sens.

8.1 Montre que la puissance peut se mettre sous la forme  $P = F.V$

8.2 Le mobile M est un véhicule de puissance  $P = 30000$  W qui roule à la vitesse  $V = 20$  m/s sur une route horizontale et rectiligne.

8.2.1 Calcule l'intensité de la force motrice développée par le moteur du véhicule.

8.2.2 Quel est le travail effectué par kilomètre parcouru ?

**Exercice 9 :** Masse volumique de l'eau du puits :  $\rho = 1030$  kg.m<sup>-3</sup> ;  $g = 9,8$  N.kg<sup>-1</sup>

Un moteur de pompe remonte l'eau d'un puits dont la profondeur est de 15 m. Le débit de la pompe est de  $10$  m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>

9.1 On admet que la valeur de la force motrice exercée par la pompe est égale au poids de l'eau pompée.

9.1.1 Calcule le travail de la force motrice en une heure.

9.1.2 Précise sa nature.

9.2 Détermine la puissance moyenne du moteur.

#### Exercice 10

Un haltérophile soulève un haltère de masse  $m = 150$ kg d'une hauteur  $h = 2$  m en un temps  $T = 3$  s.

10.1 Calcule le travail du poids de l'haltère ; on donne  $g = 9,8$  N.kg<sup>-1</sup>

10.2 Calcule la puissance de la force exercée par l'haltérophile (force équivalente à l'ensemble des forces qu'il exerce en supposant que celle-ci à la même intensité que celle du poids.

#### Exercice 11

Une voiture roule sur une route horizontale avec une vitesse  $\vec{v}$  dont la valeur est  $v = 140$ km.h<sup>-1</sup>. La puissance du moteur est  $P = 70$  kW

11.1 Quelle est la valeur du travail du poids du véhicule ?

11.2 Calcule la valeur de la force motrice  $\vec{F}$  ?

11.3 Calcule le travail de la force motrice lorsque la voiture parcourt la distance  $d = 10$  km.

#### Exercice 12

Pour faire démarrer sa voiture en panne, M Diène demande à des enfants de pousser la voiture sur une distance de 20 m sur une route horizontale et droite pendant 20s. Les actions des enfants sont assimilables à une force constante, d'intensité  $F=300$ N, de même direction. Les frottements sont assimilables à une force constante d'intensité  $f = 200$  N. Le vent exerce sur la voiture une force d'intensité 50N, constamment perpendiculaire au déplacement du véhicule.

12.1 Quelles sont les autres forces qui s'exercent sur la voiture ?

12.2 Calcule le travail de chacune de ces forces qui s'appliquent sur la voiture en précisant sa nature.

12.3 Calcule la puissance de la force exercée par les enfants.