

1. TRAVAIL D'UNE FORCE

Indiquer les critères qui permettent de dire qu'une force fournit du travail.

2. TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE

1. Donner cette expression.
2. Préciser la signification de chaque terme.
3. Quelle est l'unité de travail ?
4. Indiquer le signe :
 - a. d'un travail moteur ;
 - b. d'un travail résistant.

3. CAS DE NON TRAVAIL

Indiquer, à partir de l'expression du travail d'une force constante, dans quelles conditions elle ne fournit pas de travail. Faire un schéma.

4. VRAI OU FAUX ?

Corriger les affirmations fausses à propos d'une force constante de valeur F .

1. Son travail est toujours égal à $F \cdot \ell$.
2. Son travail est nul quand son point d'application est fixe dans le référentiel d'étude.
3. Le travail d'une force de frottement est toujours égal à $F \cdot \ell$.

4. Si le vecteur \vec{F} est perpendiculaire au vecteur \overline{AB} , le travail est nul.

5. Le travail vaut $F \cdot \ell$ si l'angle entre les vecteurs \vec{F} et \overline{AB} est aigu.

6. Le travail s'écrit $W = F \cdot \ell \cdot \sin \alpha$, α étant l'angle entre la force \vec{F} et le déplacement \overline{AB} .

5. TRAVAIL DU POIDS

1. a. Donner les caractéristiques de la force de pesanteur ou poids.
- b. À quelle condition le poids d'un corps est-il une force constante ?
2. Exprimer le travail du poids.
3. Pourquoi ce travail ne dépend-il pas du chemin suivi entre les positions initiale et finale du centre de gravité ?

6. PUISSANCE

1. Quand dit-on qu'un moteur est plus puissant qu'un autre ?
2. La puissance est-elle proportionnelle à la durée ou à l'inverse de la durée ?
3. Donner l'expression littérale de la puissance moyenne et préciser la signification de chacun des termes.
4. Quelle est l'unité de la puissance (nom et symbole) ?

Calculer un travail

7. TRACTION D'UNE CARAVANE

Une automobile tire une caravane sur une route rectiligne ; elle exerce sur l'attelage une force constante de valeur $F = 150 \text{ N}$.

1. a. Indiquer la direction, le sens et le point d'application de la force de traction.
- b. Exprimer le travail de cette force en fonction de sa valeur et de la longueur du déplacement.
2. Calculer le travail fourni lors d'un déplacement de longueur $\ell = 3,0 \text{ km}$.

8. CHARRUE

Un tracteur tire une charrue en exerçant une force de traction constante dont la droite d'action fait un angle de 30° avec la direction rectiligne du sillon.

1. La force de traction effectue-t-elle un travail moteur ou résistant ?

2. Écrire l'expression littérale du travail de cette force.

3. La force a pour valeur $2,5 \cdot 10^3 \text{ N}$.

Calculer le travail effectué au cours du tracé d'un sillon de longueur $\ell = 800 \text{ m}$.

9. DESCENTE D'UN SAC

Un maçon assure la descente d'un sac de gravats attaché à l'extrémité d'un câble vertical. Au cours de la descente, la vitesse du sac est constante. Cette charge pèse 500 N .

1. a. Indiquer les forces agissant sur le sac.
- b. Donner les caractéristiques de la force exercée par le câble sur le sac. Justifier.
2. Le travail produit par cette force est-il moteur ou résistant ?
3. Exprimer littéralement ce travail en fonction de la valeur de la force et de la longueur du déplacement.
4. Évaluer ce travail lors d'une descente de longueur $\ell = 3,50 \text{ m}$.

Calculer le travail de la force de pesanteur

10. CHUTE LIBRE

Un pot de fleurs dont la valeur du poids est $P = 30 \text{ N}$ tombe d'une hauteur $h = 2,8 \text{ m}$.

1. Rappeler l'expression du travail du poids.
2. Le poids du pot effectue-t-il un travail moteur ou résistant ?
3. Évaluer ce travail.

11. VOL D'UN OISEAU

Un oiseau, pesant 17,6 g, traverse une vallée : parti de l'altitude $z_1 = 350$ m, il atteint le sommet d'un épicéa à l'altitude $z_2 = 278$ m.

1. Exprimer le travail du poids de l'oiseau en fonction des altitudes z_1 et z_2 .
2. Calculer ce travail.
3. Le résultat obtenu est-il changé si l'on s'aperçoit que, emporté par un courant atmosphérique ascendant, l'oiseau a atteint une altitude intermédiaire $z_3 = 732$ m ? Justifier la réponse.

12. SOULÈVEMENT D'UNE POUTRE

Un charpentier soulève une poutre initialement posée sur le sol horizontal afin de l'amener en position verticale ; lors de l'opération, le centre de gravité de la poutre décrit un arc de cercle de rayon $R = 1,56$ m. La masse de la poutre est $m = 75$ kg.

1. Schématiser le problème.
2. Calculer le travail fourni par le poids de la poutre au cours de l'opération.
3. Évaluer le travail produit par les forces appliquées par le charpentier pour effectuer cette tâche. **→ SOS**

13. SAUT EN PARACHUTE

Un parachutiste, dont le poids a pour valeur 780 N, saute depuis un avion volant à 1 500 m d'altitude. À une altitude de 600 m, il ouvre son parachute. Pendant cette première phase, son mouvement n'était pas uniforme.

1. a. Peut-on calculer le travail de la résultante des actions réparties dues à l'air ? Pourquoi ?
b. Calculer le travail du poids entre ces deux altitudes.
2. À partir de l'altitude 600 m, il descend à vitesse constante, son centre de gravité suivant une trajectoire quasi rectiligne.

> UTILISATION DES ACQUIS <**17. SKIEUR EN DESCENTE**

Un skieur de masse $m = 85$ kg descend, à vitesse constante, une piste rectiligne présentant une longueur de 3 000 m et une dénivellation de 832 m.

1. Calculer le travail du poids du skieur entre les positions initiale et finale.
2. Donner la valeur du travail de la force de frottement.

18. SKIEUR EN MONTÉE

Tracté par un remonte-pente, un skieur remonte, à vitesse constante, une piste verglacée rectiligne de longueur $L = 2 000$ m et de 650 m de dénivellation. Il pèse 930 N.

Le câble tracteur fait un angle $\beta = 20^\circ$ avec la direction de la trajectoire.

1. Déterminer l'angle que la piste forme avec le plan horizontal.
2. a. Effectuer l'inventaire des forces agissant sur le skieur.
b. Calculer la valeur de chacune d'elles.
3. a. Évaluer le travail de chacune des forces agissant sur le skieur.
b. Calculer la somme de ces travaux.

a. Déterminer les caractéristiques de la force résultant des actions réparties dues à l'air.

b. Calculer le travail du poids entre les altitudes 600 m et le sol (altitude nulle).

c. Donner la valeur du travail de la résistance de l'air.

Calculer une puissance**14. MOTEUR DE TRACTO-PELLE**

Un moteur de tracto-pelle soulève une charge de masse $m = 850$ kg d'une hauteur $h = 2,56$ m en 0,30 s.

1. Calculer le travail du poids de cette charge.
2. Le travail fourni par le moteur est opposé au travail du poids de la charge.

Calculer la puissance moyenne développée par ce moteur.

15. ★ LANCER DE POIDS

Un lanceur de poids, en se détendant, fait passer le centre d'inertie du boulet de fonte de 1,36 m à 2,32 m d'altitude en 0,540 s. Le boulet pèse 72,1 N.

1. Évaluer le travail du poids.
2. Donner une estimation de la puissance moyenne développée par l'athlète pour soulever le boulet dans la durée indiquée. **→ SOS**

16. POMPE À EAU

Le moteur d'une pompe remonte 20 m³ d'eau d'une hauteur $h = 9$ m chaque heure. Le travail qu'il fournit est l'opposé du travail du poids de l'eau.

1. Déterminer le travail fourni en une heure par le moteur.
2. Évaluer la puissance moyenne du moteur.
3. La puissance réellement développée par le moteur est de 20 % supérieure à cette valeur. Donner une explication.

19. ★ PENDULE SIMPLE

1. Définir un pendule simple.

2. Inventorier les forces agissant sur la boule suspendue :

- a. au repos ;
- b. en mouvement.

3. Le pendule écarté de sa position de repos est abandonné sans vitesse initiale.

a. A-t-il un mouvement uniforme ? Justifier.

b. Pourquoi l'une des forces appliquées à la boule ne travaille-t-elle pas ?

4. La longueur du pendule est $\ell = 1,00$ m ; l'angle d'écartement maximal est $\theta = 30^\circ$.

Après 20 oscillations, l'écartement angulaire n'est plus que de 15° . Calculer le travail du poids de la boule après 20 oscillations.

→ SOS

20. ★ GRUE

Le moteur d'une grue permet de soulever, à vitesse constante, d'une hauteur $h = 8,25$ m, une charge de poids $P = 9 275$ N en une durée $\Delta t = 12,4$ s.

1. a. Calculer le travail effectué par le câble tracteur.

b. Évaluer la puissance moyenne développée par la force de traction.

2. a. Exprimer littéralement la puissance moyenne :
 – en fonction de la valeur F de la force, du déplacement d et de la durée Δt ;
 – puis en fonction de F et de la mesure v de la vitesse.

b. Vérifier numériquement cette expression.

3. a. À partir de l'expression du travail d'une force constante, montrer que la puissance développée à chaque instant s'écrit :

$$\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v}.$$

b. Pourquoi cette expression est-elle encore valide dans le cas d'un mouvement curviligne ? **→ SOS**

21. ★ HALTÉROPHILE

Un haltérophile soulève une barre de masse $m = 200$ kg d'une hauteur $h = 2,30$ m en une durée $\Delta t = 1,5$ s.

- Calculer la puissance moyenne développée par l'haltérophile.
- a. Représenter graphiquement la puissance \mathcal{P} en fonction de la durée Δt .
 b. Montrer que l'haltérophile est incapable de réaliser un mouvement instantané.

22. ★ TGV

Les forces résistantes auxquelles est soumis un train à grande vitesse en mouvement de translation sur une voie rectiligne et horizontale sont exprimées par la relation :

$$F_r = 0,0572 v^2 + 3,34 v + 254 \text{ avec } v \text{ en km} \cdot \text{h}^{-1} \text{ et } F_r \text{ en daN.}$$

- Quelles sont les origines de ces forces ?
- Calculer la valeur de ces forces de frottements lorsque ce TGV est lancé à $340 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
- Déterminer la puissance des forces de traction créées sur les roues motrices du train.
- a. Représenter graphiquement la puissance des forces de traction en fonction de la vitesse pour $0 < v < 500$ (en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$).
 b. Déterminer la puissance nécessaire si l'on veut doubler la vitesse donnée en 2.
- Le même train circule sur une rampe rectiligne de pente égale à 0,007 à la vitesse de $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$; la puissance des forces motrices est alors $\mathcal{P}_m = 8\,700 \text{ kW}$.
 a. Calculer la valeur des forces motrices.
 b. Déterminer la valeur des forces résistantes.
 c. Identifier l'origine de ces forces.
 d. Trouver la masse de la rame du TGV.

> EXERCICES EXPÉRIMENTAUX OU DOCUMENTAIRES <

23. ★★ VISCOSITÉ

On veut mesurer la vitesse limite d'une bille tombant au sein d'un liquide.

Pour cela, on dispose de billes en matière plastique, d'une éprouvette graduée, pleine de liquide pour lave-vaisselle et d'un chronomètre.

- a. Qu'appelle-t-on vitesse limite ?
 b. Indiquer un protocole expérimental permettant cette mesure.
- a. Faire l'inventaire des forces agissant sur la bille lorsqu'elle descend dans le liquide.
 b. Quelle relation existe-t-il entre ces forces lorsque la vitesse limite est atteinte ?
- On réalise l'expérience avec des billes de diamètre $D = 0,59$ cm et de masse $m = 0,115$ g, en utilisant un liquide de densité $d = 1,03$.
 On mesure une vitesse limite $v_l = 0,47 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.
 a. Calculer les valeurs des différentes forces.
 b. Déterminer la puissance développée par chacune de ces forces.

24. ORIGINE HISTORIQUE DU CONCEPT DE TRAVAIL

Relire le texte de l'Activité 1, page 94, puis répondre aux questions suivantes.

- Quelle est la « définition très simple » du travail ? À quelle époque fut-elle donnée ?
- Quelle est l'expression formelle du travail, connue avant la théorie de Coriolis ?
 Donner, par exemple, l'expression du travail du poids d'un objet soulevé d'une hauteur h .
- a. Préciser les notions de « travail utile » et de « rendement » évoquées dans le texte.
 b. Pourquoi ces notions présentent-elles un intérêt économique ?

25. RÉFLEXION SUR LA PUISSANCE MOTRICE DU FEU

Relire le texte de l'Activité C, page 93, et répondre aux questions suivantes.

- Carnot évoque la puissance motrice du feu. Citer un exemple montrant qu'il est possible de transformer de la chaleur en travail.
- Citer un exemple mettant en évidence la transformation inverse.
- Quel type de machine Carnot étudiait-il ?
- Comment Carnot définit-il « l'effet utile qu'un moteur est capable de produire ». Cet « effet utile » est-il un travail ou une puissance ?
- Rechercher les caractéristiques de l'œuvre scientifique de Sadi Carnot.

26. ★ LA CONSTRUCTION DES PYRAMIDES

Relire le document de l'Activité B, page 92, et répondre aux questions suivantes.

- Un homme seul hisse, sur un plan incliné, un bloc rocheux de masse m en le tirant avec une corde parallèle aux lignes de plus grande pente.
 Le plan incliné est suffisamment lisse pour qu'on puisse supposer les frottements négligeables. Il fait un angle α avec le plan horizontal.
 a. Quelle force de traction l'homme doit-il exercer sur la corde en supposant que la vitesse du bloc est constante ?
 b. Exprimer le travail qu'il effectue pour un déplacement ℓ le long du plan incliné.
 c. Exprimer, en fonction de ℓ et de α , la hauteur h dont s'est élevé le bloc rocheux.
- Quatre hommes hissent verticalement, à vitesse constante, le même bloc rocheux d'une même hauteur h avec le dispositif figurant sur le schéma de l'Activité B.

- a. Quelle est l'expression de la force de traction qu'ils doivent exercer sur la corde ?
- b. Chaque homme exerce la même force de traction que l'homme seul qui hisse le bloc rocheux sur le plan incliné. En déduire la valeur de l'angle formé par le plan incliné avec l'horizontale.
3. Comparer les travaux effectués dans les deux situations évoquées dans le document.
4. a. Quel est l'intérêt présenté par l'utilisation du plan incliné pour la construction des pyramides ?
- b. Montrer que le plan incliné permet de « gagner » sur une grandeur physique mais qu'il conduit à « perdre » sur une autre. → SOS

27. ★★ LE CHEVAL-VAPEUR

Relire le document de l'Activité D, page 93, et répondre aux questions suivantes.

1. Rappeler l'origine du terme cheval-vapeur utilisé comme unité de puissance.
2. On estimait autrefois qu'un cheval était capable de soulever une masse de 75 kg en 1 seconde. Calculer, en watt, la puissance délivrée par un cheval et retrouver ainsi la valeur d'un cheval-vapeur.
3. Dans un article paru dans le *Cahier de Science et Vie*, Didier Gille écrit : « Une étude réalisée en 1752 compare les performances respectives d'une machine à vapeur de Newcomen et d'un manège de chevaux installés sur un même puits de mine de 73 mètres de profondeur : en une journée, les chevaux hissent 305 tonnes d'eau et il en coûte 24 schillings ; dans le même temps, la pompe à feu hisse 1 140 tonnes d'eau pour la somme de 20 schillings. Autrement dit, la puissance de la machine de Newcomen est 3,7 fois supérieure à celle du manège, et son rendement économique 4,5 fois meilleur. »

« L'eau, le feu et la puissance », *Cahier de Science et Vie*, Hors série n° 20, avril 1994.

I. Questions sur le texte

1. Qu'est-ce qu'un manège de chevaux ?
2. Qu'est-ce qu'une pompe à feu ?

II. Exploitation scientifique

1. Calculer le travail fourni en une journée par la pompe à entraînement animal et par la pompe à feu.
2. On suppose que la journée de travail, en 1752, a une durée de 12 heures.
- a. Évaluer la puissance moyenne de chacune des deux machines ?

b. Comparer ces puissances et le résultat obtenu avec l'affirmation de l'auteur.

3. a. Quelle est la puissance moyenne d'un cheval ?

b. Donner l'ordre de grandeur du nombre de chevaux constituant le manège.

c. Trouver le raisonnement permettant à l'auteur de conclure que le rendement de la pompe actionnée par la machine à vapeur de Newcomen est 4,5 fois supérieure à celle qui est actionnée par le manège.

28. PUISSANCE ET VITESSE D'UNE TRUITE

Une truite de 30 cm de long, de masse 450 g, nage à la vitesse de $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La puissance moyenne qu'elle peut développer est 4,8 W par kg de masse.

1. Quelle est la force moyenne exercée par le poisson sur l'eau ?
2. Quel est le travail fourni par le poisson sur une durée de 15 min ?

29. PUISSANCE ET VITESSE D'UN CYCLISTE

1. Montrer que la puissance d'une force \vec{F} dont le point d'application se déplace à la vitesse \vec{v} s'écrit :

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}.$$

2. Un cycliste roule sur un terrain plat à la vitesse constante de $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et dépense alors 120 W contre les forces dissipatives (forces de frottement) de direction parallèle aux déplacements.

a. Si les forces sont indépendantes de la vitesse, quelle puissance doit-il fournir lorsqu'il roule à la vitesse de $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$?

b. Si les forces dissipatives sont proportionnelles à la vitesse, quelle puissance doit-il fournir lorsqu'il roule à la vitesse de $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$?

3. Le cycliste, de masse 80 kg, gravit une côte de pente 4 % à la vitesse de $6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

a. Quelle puissance le cycliste doit-il dépenser pour compenser la puissance des forces de pesanteur ?

b. Quelle puissance totale dépense-t-il si les forces dissipatives sont proportionnelles à la vitesse ?

4. Le cycliste descend maintenant une pente de 10 % à la vitesse de $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Il ne freine pas. Les forces de frottement varient maintenant selon la loi $f = K \cdot v^2$.

a. Calculer la puissance des forces de pesanteur.

b. Quelle est l'unité de K ?

c. Calculer K .

> SOS <

■ EXERCICE 12. 3. Le travail fourni par le charpentier est opposé au travail du poids.

■ EXERCICE 15. 2. Le travail fourni par le lanceur est opposé au travail du poids.

■ EXERCICE 19. 4. L'une des données quantitatives fournies dans le texte est inutile, car le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi.

■ EXERCICE 20. 3. Raisonner sur un tout petit déplacement sur la trajectoire.

■ EXERCICE 26. 4. Considérer la valeur de la force de traction et le déplacement.