

Physique fondamentale: mouvement, énergie, pression et chaleur

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Physique fondamentale: mouvement, énergie, pression et chaleur: comment « Forces et deuxième loi de Newton » agit-il sur « Masse et poids ne sont pas la même chose », et quel repère issu de « Travail et énergie cinétique » permet de vérifier la décision?

Intuition. La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Une même force accélère davantage une petite masse. Référence quantitative

1

Forces et deuxième loi de Newton

La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Référence quantitative

2

Masse et poids ne sont pas la même chose

La masse mesure l'inertie et reste 80 kg pour une personne transportée de la Terre à Mars.

3

Travail et énergie cinétique

Le travail d'une force constante alignée avec le déplacement vaut $W = Fd$. Référence quantitative

Repère concret. La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Référence quantitative

- Forces et deuxième loi de Newton — La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Référence quantitative
- Masse et poids ne sont pas la même chose — La masse mesure l'inertie et reste 80 kg pour une personne transportée de la Terre à Mars.
- Travail et énergie cinétique — Le travail d'une force constante alignée avec le déplacement vaut $W = Fd$. Référence quantitative



Quatre repères à maîtriser — Physique fondamentale: mouvement, énergie, pression et chaleur

Forces et deuxième loi de Newton

Définition

La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Une même force accélère davantage une petite masse.

Intuition ou cas concret

Un rover martien combine traction, pente, résistance au roulement, inertie et parfois forces aérodynamiques faibles.

Repère quantitatif

La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien.

Limite ou critère de vigilance

Le modèle ponctuel ignore adhérence, transfert de charge, déformation du sol et limite de couple; il donne d'abord un bilan de forces.

Exercice guidé — Forces et deuxième loi de Newton

Cas « Forces et deuxième loi de Newton » — Un rover martien combine traction, pente, résistance au roulement, inertie et parfois forces aérodynamiques faibles. Repère: La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Réserve: Le modèle ponctuel ignore adhérence, transfert de charge, déformation du sol et limite de couple; il donne d'abord un bilan de forces. Référence quantitative

Corrigé raisonné — Forces et deuxième loi de Newton

Point de départ

La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Une même force accélère davantage une petite masse.

Indice du cas

La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien.

Réserve à appliquer

Le modèle ponctuel ignore adhérence, transfert de charge, déformation du sol et limite de couple; il donne d'abord un bilan de forces.

Conclusion

Si 300 N de résistances s'opposent au mouvement, l'actionneur doit fournir environ 800 N dans ce modèle.

Chaleur et transfert thermique

Définition

Sans changement de phase, une première approximation d'énergie sensible est $Q = mc\Delta T$. La conduction transporte la chaleur dans les solides, la convection par mouvement de fluide, et le rayonnement par émission électromagnétique.

Intuition ou cas concret

Sur Mars, l'atmosphère externe très ténue change la convection autour des équipements, tandis qu'un habitat pressurisé recrée une convection interne.

Repère quantitatif

Sans changement de phase, une première approximation d'énergie sensible est $Q = mc\Delta T$.

Limite ou critère de vigilance

L'énergie sensible ne couvre ni changement de phase ni chaleur dissipée vers l'environnement; ces termes peuvent dominer un procédé réel.

Exercice guidé — Chaleur et transfert thermique

Cas « Chaleur et transfert thermique » — Sur Mars, l'atmosphère externe très ténue change la convection autour des équipements, tandis qu'un habitat pressurisé recrée une convection interne. Repère: Sans changement de phase, une première approximation d'énergie sensible est $Q = mc\Delta T$. Réserve: L'énergie sensible ne couvre ni changement de phase ni chaleur dissipée vers l'environnement; ces termes peuvent dominer un procédé réel. Référence quantitative

Corrigé raisonné — Chaleur et transfert thermique

Point de départ

Sans changement de phase, une première approximation d'énergie sensible est $Q = mc\Delta T$. La conduction transporte la chaleur dans les solides, la convection par mouvement de fluide, et le rayonnement par émission électromagnétique.

Indice du cas

Sans changement de phase, une première approximation d'énergie sensible est $Q = mc\Delta T$.

Réserve à appliquer

L'énergie sensible ne couvre ni changement de phase ni chaleur dissipée vers l'environnement; ces termes peuvent dominer un procédé réel.

Conclusion

L'intérêt pédagogique est de voir les unités se transformer en décision — module 02 · Passage au calcul · étape 2.

Rotation et accélération centripète

Définition

Pour une rotation à vitesse angulaire ω et rayon r , l'accélération centripète vaut $a = \omega^2 r$. Cette relation permet d'explorer les concepts de gravité artificielle: augmenter le rayon réduit la vitesse angulaire nécessaire pour une même accélération.

Intuition ou cas concret

La formule ne résout ni cinétose, ni gradients tête-pieds, ni masse structurelle.

Repère quantitatif

Pour une rotation à vitesse angulaire ω et rayon r , l'accélération centripète vaut $a = \omega^2 r$.

Limite ou critère de vigilance

Un ingénieur garde séparés résultat numérique, marge et domaine de validité.

Exercice guidé — Rotation et accélération centripète

Cas « Rotation et accélération centripète » — La formule ne résout ni cinétose, ni gradients tête-pieds, ni masse structurelle. Repère: Pour une rotation à vitesse angulaire ω et rayon r , l'accélération centripète vaut $a = \omega^2 r$. Réserve: Un ingénieur garde séparés résultat numérique, marge et domaine de validité. Référence quantitative

Corrigé raisonné — Rotation et accélération centripète

Point de départ

Pour une rotation à vitesse angulaire ω et rayon r , l'accélération centripète vaut $a = \omega^2 r$. Cette relation permet d'explorer les concepts de gravité artificielle: augmenter le rayon réduit la vitesse angulaire nécessaire pour une même accélération.

Indice du cas

Pour une rotation à vitesse angulaire ω et rayon r , l'accélération centripète vaut $a = \omega^2 r$.

Réserve à appliquer

Un ingénieur garde séparés résultat numérique, marge et domaine de validité.

Conclusion

Cette relation permet d'explorer les concepts de gravité artificielle: augmenter le rayon réduit la vitesse angulaire nécessaire pour une même accélération.

Étude intégrée: déplacer et pressuriser

Définition

Équipement de 500 kg, accélération $0,4 \text{ m/s}^2$: $F = 200 \text{ N}$. À 4 m/s , énergie cinétique = $0,5 \times 500 \times 16 = 4\,000 \text{ J}$.

Intuition ou cas concret

Ajoutez une paroi de 2 m^2 à 70 kPa : la résultante de pression atteint 140 kN , très supérieure à la force d'accélération du petit équipement.

Repère quantitatif

Équipement de 500 kg, accélération $0,4 \text{ m/s}^2$: $F = 200 \text{ N}$.

Limite ou critère de vigilance

Avec une batterie offrant 100 kWh réellement utilisables, le retour identique ferait 132 kWh : le trajet aller-retour n'est donc pas couvert sans recharge, baisse de puissance, réserve supplémentaire ou autre hypothèse.

Exercice guidé — Étude intégrée: déplacer et pressuriser

Cas « Étude intégrée: déplacer et pressuriser » — Ajoutez une paroi de 2 m^2 à 70 kPa : la résultante de pression atteint 140 kN , très supérieure à la force d'accélération du petit équipement. Repère: Équipement de 500 kg, accélération $0,4 \text{ m/s}^2$: $F = 200 \text{ N}$. Réserve: Avec une batterie offrant 100 kWh réellement utilisables, le retour identique ferait 132 kWh : le trajet aller-retour n'est donc pas couvert sans recharge, baisse de... Référence quantitative

Corrigé raisonné — Étude intégrée: déplacer et pressuriser

Point de départ

Équipement de 500 kg, accélération $0,4 \text{ m/s}^2$: $F = 200 \text{ N}$. À 4 m/s , énergie cinétique = $0,5 \times 500 \times 16 = 4\,000 \text{ J}$.

Indice du cas

Équipement de 500 kg, accélération $0,4 \text{ m/s}^2$: $F = 200 \text{ N}$.

Réserve à appliquer

Avec une batterie offrant 100 kWh réellement utilisables, le retour identique ferait 132 kWh : le trajet aller-retour n'est donc pas couvert sans recharge, baisse de puissance, réserve supplémentaire ou autre hypothèse.

Conclusion

L'étude intégrée montre que les ordres de grandeur gouvernent la décision: 200 N suffisent pour l'accélération donnée, alors qu'une paroi de 2 m^2 à 70 kPa subit 140 kN ; parallèlement, 132 kWh de trajet aller-retour dépassent une batterie utile de 100 kWh .



La physique relie les nombres et les mathématiques à des phénomènes observables. Chaque formule sera traitée comme un modèle avec un domaine de validité, pas comme une incantation.

Le but est de reconnaître les grandeurs dominantes et de savoir ce qu'un calcul élémentaire démontre — et ce qu'il ne démontre pas.

1. Position, vitesse et accélération

La position situe un objet dans un La mesure la variation de position par de temps; mesure la variation de vitesse. Une vitesse constante peut être élevée avec accélération nulle, tandis qu'un mouvement circulaire à vitesse constante est accéléré parce que la direction change.

Vitesse moyenne et accélération moyenne

$$v = \Delta x / \Delta t ; a = \Delta v / \Delta t$$

1 — Question concrète

Comment transformer un déplacement et une variation de vitesse en taux mesurables sur un intervalle de temps ?

2 — Intuition sans symboles	La vitesse indique combien de distance est parcourue par unité de temps ; l'accélération indique à quelle vitesse la vitesse elle-même change.
3 — Grandeurs	v : vitesse moyenne ; Δx : déplacement ; Δt : durée ; a : accélération moyenne ; Δv : variation de vitesse.
4 — Formule	$v = \Delta x / \Delta t$; $a = \Delta v / \Delta t$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $v = \Delta x / \Delta t$; $a = \Delta v / \Delta t$.
6 — Symboles et sens	Le symbole Δ signifie « valeur finale moins valeur initiale ». Les deux rapports utilisent le même principe : une variation divisée par la durée correspondante.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	v en m/s, Δx en m, Δt en s ; a en m/s^2 et Δv en m/s.
9 — Convention	Choisir un axe et conserver son sens positif pendant tout le calcul ; une variation négative traduit un mouvement ou un changement dans le sens opposé.
10 — Pourquoi cette opération	Diviser par la durée convertit une variation totale en taux moyen par unité de temps.
11 — Hypothèses	Ces relations donnent des valeurs moyennes sur l'intervalle ; elles ne décrivent pas les variations instantanées à l'intérieur de cet intervalle.
12 — Contrôle d'unités	m/s pour la vitesse ; $(\text{m/s})/\text{s} = \text{m/s}^2$ pour l'accélération.
13 — Cas numérique	Un rover parcourt 120 m en 10 s : $v = 12 \text{ m/s}$. Sa vitesse passe ensuite de 2 à 8 m/s en 3 s : $a = 2 \text{ m/s}^2$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	La première division rapporte le déplacement au temps ; la seconde rapporte une variation de vitesse au temps. Les deux calculs mesurent des taux, mais pas la même grandeur.
15 — Contrôle algébrique	$\Delta x = v\Delta t$ et $\Delta v = a\Delta t$ permettent de reconstruire une variation lorsque le taux et la durée sont connus.
16 — Estimation mentale	120 m en une dizaine de secondes donne un ordre de grandeur de 12 m/s ; gagner 6 m/s en 3 s doit donner environ 2 m/s^2 .
17 — Interprétation	Ces taux permettent de vérifier si une trajectoire, un freinage ou une manœuvre respecte les capacités du véhicule.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Une moyenne peut masquer un pic d'accélération ou un arrêt bref ; elle ne remplace pas une chronologie fine ou un capteur.
19 — Sensibilité	À variation fixe, doubler la durée divise le taux moyen par deux ; à durée fixe, doubler la variation double le taux.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Un véhicule parcourt 300 m en 25 s. Calculez sa vitesse moyenne. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $v = 300/25 = 12 \text{ m/s}$. Les unités donnent bien m/s.

Exercice autonome. La vitesse passe de 5 à 17 m/s en 6 s. Calculez l'accélération moyenne.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$\Delta v = 12 \text{ m/s}$, donc $a = 12/6 = 2 \text{ m/s}^2$.

21 — Décision mission

Comparer ces taux aux limites de traction, de freinage et de confort avant d'autoriser la manœuvre.

Exercice 1

Un rover passe de 0 à 6 m/s en 12 s. Accélération moyenne?

Correction: $(6-0)/12 = 0,5 \text{ m/s}^2$. Référence quantitative

L'accélération moyenne de $0,5 \text{ m/s}^2$ signifie que la vitesse gagne en moyenne un demi-mètre par seconde à chaque seconde sur l'intervalle. Elle ne décrit pas les pointes de traction, le patinage ni la variation réelle de l'accélération.

Données du cas

Exercice 1 — Un rover passe de 0 à 6 m/s en 12 s. Accélération moyenne?

Relation

Correction: $(6-0)/12 = 0,5 \text{ m/s}^2$.

Raisonnement

Correction: $(6-0)/12 = 0,5 \text{ m/s}^2$. L'accélération moyenne de $0,5 \text{ m/s}^2$ signifie que la vitesse gagne en moyenne un demi-mètre par seconde à chaque seconde sur l'intervalle. Elle ne décrit pas les pointes de traction, le patinage ni la variation réelle de l'accélération.

Résultat

$(6-0)/12 = 0,5 \text{ m/s}^2$.

Interprétation

L'accélération moyenne de $0,5 \text{ m/s}^2$ signifie que la vitesse gagne en moyenne un demi-mètre par seconde à chaque seconde sur l'intervalle.

Pourquoi cette idée compte

Position, vitesse et accélération répondent à trois questions différentes: où suis-je, à quelle vitesse la position change-t-elle et à quelle vitesse la vitesse change-t-elle. Les confondre produit des erreurs de freinage, ou contrôle.

Un rover passant de 0 à 6 m/s en 12 s a une accélération moyenne de $0,5 \text{ m/s}^2$. À vitesse constante de 6 m/s pendant 50 s, il parcourt 300 m.

Application liée

Application — Vitesse moyenne et accélération moyenne

Cas d'application conservé : $a = \Delta v / \Delta t$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

Une accélération moyenne ne décrit pas un pic de traction ou un choc; l'échelle de temps d'intérêt dépend du système.

2. Forces et deuxième loi de Newton

La résultante des forces vérifie $F = ma$ dans le modèle newtonien. Une même accélération accélère davantage une petite Si plusieurs forces se compensent, l'accélération nette est nulle même si chaque force individuellement est importante. Référence quantitative

Un rover martien combine traction, pente, résistance au roulement, inertie et parfois forces aérodynamiques faibles. Une formule élémentaire donne la structure du problème; elle ne remplace pas le modèle de contact roue-

Étude de cas — accélérer un chariot chargé

Un chariot de 600 kg subit une force horizontale nette de 900 N. Avec $F = ma$, son accélération idéale vaut $1,5 \text{ m/s}^2$. Après 8 s à accélération constante depuis le repos, sa vitesse atteindrait 12 m/s et la distance parcourue 48 m. Ce calcul est volontairement idéal: un vrai véhicule est limité par l'adhérence, le couple moteur, les pertes, la stabilité et la nécessité de freiner. Référence quantitative

Le mot « nette » est crucial. Si le moteur fournit 1 200 N mais que les résistances totalisent 300 N, la force utilisée dans $F = ma$ est 900 N. Oublier les forces opposées surestime l'accélération. À l'inverse, traiter toutes les forces comme des pertes masque les contributions qui se compensent. Un diagramme des forces précède donc le calcul lorsqu'un système est plus complexe qu'un seul objet sur un axe. Référence quantitative

Deuxième loi de Newton : force nette et accélération

$$\Sigma F = ma ; a = F_{\text{net}}/m$$

1 — Question concrète	Quelle accélération produit une force nette connue sur une masse donnée ?
2 — Intuition sans symboles	Une force nette plus grande change plus vite le mouvement ; une masse plus grande résiste davantage au même effort.
3 — Grandeurs	ΣF ou F_{net} : somme vectorielle des forces ; m : masse ; a : accélération.
4 — Formule	$\Sigma F = ma ; a = F_{\text{net}}/m$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $\Sigma F = ma ; a = F_{\text{net}}/m$.
6 — Symboles et sens	Σ indique qu'il faut additionner les forces avec leurs signes/directions. La relation $a=F_{\text{net}}/m$ est la même loi isolée pour l'accélération.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	Force en newtons (N), masse en kg, accélération en m/s^2 .
9 — Convention	Définir l'axe positif avant de sommer les forces ; une force opposée reçoit un signe opposé.
10 — Pourquoi cette opération	La somme des forces détermine la variation du mouvement ; diviser par la masse donne la réponse dynamique du véhicule.
11 — Hypothèses	On travaille dans un référentiel où la forme classique de la deuxième loi est adaptée et avec une masse considérée constante sur l'intervalle.
12 — Contrôle d'unités	$\text{N/kg} = (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)/\text{kg} = \text{m/s}^2$.

13 — Cas numérique	$F_{\text{net}} = 900 \text{ N}$ sur $m = 600 \text{ kg}$ donne $a = 1,5 \text{ m/s}^2$. Maintenue 8 s depuis le repos, cette accélération conduit idéalement à 12 m/s.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Additionner les forces fixe d'abord le bilan mécanique ; la division par la masse transforme ce bilan en accélération.
15 — Contrôle algébrique	$F_{\text{net}} = ma$ permet de retrouver la force nécessaire si l'accélération cible est imposée.
16 — Estimation mentale	900/600 est proche de 1,5 : l'accélération doit être de l'ordre de quelques m/s ² , pas de dizaines.
17 — Interprétation	Le résultat relie directement propulsion, résistance et masse aux performances de manœuvre.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Il ne décrit pas à lui seul l'adhérence, la saturation des actionneurs, la rotation ou les forces variables.
19 — Sensibilité	À force nette fixe, doubler la masse divise l'accélération par deux ; à masse fixe, l'accélération suit linéairement la force nette.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Une force nette de 1 200 N agit sur 800 kg. Calculez l'accélération. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $a = 1200/800 = 1,5 \text{ m/s}^2$. Exercice autonome. Quelle force nette faut-il pour accélérer 1 500 kg à 0,8 m/s² ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $F = ma = 1500 \times 0,8 = 1\,200 \text{ N}$.
21 — Décision mission	Vérifier que la propulsion et les structures peuvent fournir cette force avec marge.

Lecture physique

La deuxième loi de Newton relie la résultante des forces à l'accélération de la masse. La force nette est une somme vectorielle: traction, résistance, pente et contact peuvent agir simultanément.

Pour 2 000 kg et une accélération nette de 0,25 m/s², il faut 500 N de force nette. Si 300 N de résistances s'opposent au mouvement, l'actionneur doit fournir environ 800 N dans ce modèle. Référence quantitative

Application liée

Application — Deuxième loi de Newton : force nette et accélération

Cas d'application conservé : $\Sigma F = ma$; $F_{\text{moteur}} - F_{\text{résistance}} = ma$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

Le modèle ponctuel ignore adhérence, transfert de charge, déformation du sol et limite de couple; il donne d'abord un bilan de forces.

3. Masse et poids ne sont pas la même chose

La masse mesure l'inertie et reste 80 kg pour une personne transportée de la Terre à Mars. Le est une force $W = mg$. Avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ sur Terre et $3,71 \text{ m/s}^2$ comme valeur de calcul martienne, 80 kg correspondent respectivement à environ 785 N et 297 N. Référence quantitative

Application liée

Application — Masse et poids dans un champ gravitationnel

Cas d'application conservé : Terre: $80 \times 9,81 = 784,8 \text{ N}$; Mars: $80 \times 3,71 = 296,8 \text{ N}$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

La réduction du poids modifie les charges verticales et la traction, mais l'inertie latérale reste liée à la masse. Une machine de 500 kg reste difficile à accélérer brusquement.

Passage au calcul

La masse mesure l'inertie et s'exprime en kilogrammes; le poids est une force gravitationnelle et s'exprime en newtons. Sur Mars, la masse d'un équipement ne change pas alors que son poids vaut environ 0,38 fois celui sur Terre.

Une personne de 80 kg a un poids d'environ $80 \times 3,71 = 297 \text{ N}$ sur Mars, contre environ 785 N avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ sur Terre. L'intérêt pédagogique est de voir les unités se transformer en décision — module 02 · Passage au calcul. Référence quantitative

Masse et poids dans un champ gravitationnel

$$F_g = mg$$

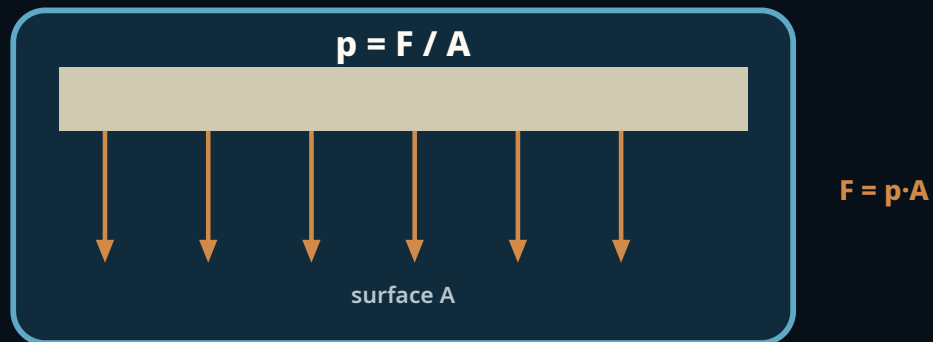
1 — Question concrète	Quel poids exerce une masse donnée sur Mars ou sur Terre ?
2 — Intuition sans symboles	La masse décrit la quantité de matière ; le poids est la force exercée par la gravité sur cette masse.
3 — Grandeurs	F_g : poids ; m : masse ; g : accélération locale de la gravité.
4 — Formule	$F_g = mg$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $F_g = mg$.
6 — Symboles et sens	La masse ne change pas quand on déplace l'objet ; g change avec l'astre et le lieu, donc F_g change.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	F_g en N, m en kg, g en m/s^2 .
9 — Convention	Utiliser la valeur locale de g et préciser si le signe vertical est traité séparément de la valeur absolue du poids.

10 — Pourquoi cette opération	Multiplier la masse par l'accélération gravitationnelle applique directement la deuxième loi à la force de gravité.
11 — Hypothèses	Le calcul suppose que la variation de g sur la hauteur de l'objet est négligeable.
12 — Contrôle d'unités	$\text{kg} \times \text{m/s}^2 = \text{N}$.
13 — Cas numérique	Pour 80 kg : Terre $80 \times 9,81 = 784,8 \text{ N}$; Mars $80 \times 3,71 = 296,8 \text{ N}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	La multiplication applique la même accélération gravitationnelle à chaque kilogramme de masse.
15 — Contrôle algébrique	$m = F_g / g$ permet de retrouver la masse à partir d'un poids et de la gravité locale.
16 — Estimation mentale	Sur Mars, g vaut environ 38 % de la valeur terrestre ; le poids doit donc être environ 38 % du poids terrestre.
17 — Interprétation	Cette différence affecte traction, manutention et efforts sur les supports sans changer l'inertie liée à la masse.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Un poids plus faible ne signifie pas qu'un objet massif devient facile à accélérer ou arrêter.
19 — Sensibilité	La force de pesanteur varie linéairement avec la masse et avec g.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Calculez le poids martien d'une charge de 120 kg avec $g = 3,71 \text{ m/s}^2$. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $F_g = 120 \times 3,71 = 445,2 \text{ N}$. Exercice autonome. Quelle masse correspond à un poids martien de 742 N ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $m = 742 / 3,71 = 200 \text{ kg}$.
21 — Décision mission	Dimensionner supports et manutention avec le poids local, mais freinage et accélération avec la masse réelle.

Une faible pesanteur réduit le poids mais pas l'énergie nécessaire pour accélérer latéralement la même masse à la même vitesse.

Space Academy · 02

Pression et force / pressure and force



Une même pression produit plus de force sur une plus grande surface

De la pression à la force: convertir une pression interne en charge structurale puis appliquer une

4. Travail et énergie cinétique

Le travail d'une force constante alignée avec le déplacement vaut $W = Fd$. vaut $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. La vitesse étant au carré, doubler la vitesse multiplie l'énergie cinétique par quatre. Référence quantitative

Énergie cinétique

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

1 — Question concrète	Quelle énergie de mouvement possède une masse se déplaçant à une vitesse donnée ?
2 — Intuition sans symboles	Une masse plus lourde transporte plus d'énergie, et la vitesse compte encore davantage parce qu'elle intervient au carré.
3 — Grandeurs	E_k : énergie cinétique ; m : masse ; v : vitesse.
4 — Formule	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.
6 — Symboles et sens	$\frac{1}{2}$ est le coefficient un demi ; v^2 signifie vitesse multipliée par elle-même.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	E_k en J, m en kg, v en m/s.
9 — Convention	Utiliser la valeur de la vitesse dans un référentiel clairement défini ; l'énergie dépend de ce référentiel.

10 — Pourquoi cette opération	Le carré de la vitesse traduit l'accumulation du travail nécessaire pour accélérer la masse depuis le repos.
11 — Hypothèses	Formule classique non relativiste et masse constante.
12 — Contrôle d'unités	$\text{kg} \times (\text{m/s})^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{J}$.
13 — Cas numérique	Pour 200 kg à 10 m/s : $E_k = 0,5 \times 200 \times 100 = 10\,000 \text{ J} = 10 \text{ kJ}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	On met d'abord la vitesse au carré, puis on multiplie par la masse et par un demi.
15 — Contrôle algébrique	$v = \sqrt{2E_k/m}$ retrouve la vitesse à partir de l'énergie.
16 — Estimation mentale	200 kg à 10 m/s : la moitié de 200×100 donne immédiatement environ 10 000 J.
17 — Interprétation	Cette énergie fixe l'ordre de grandeur du freinage, des chocs et de la récupération énergétique.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Elle ne donne pas la distance d'arrêt sans modèle de force, d'adhérence ou de freinage.
19 — Sensibilité	Doubler la masse double l'énergie ; doubler la vitesse la multiplie par quatre.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Calculez l'énergie cinétique de 500 kg à 4 m/s. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $E_k = 0,5 \times 500 \times 16 = 4\,000 \text{ J}$. Exercice autonome. À quelle vitesse 1 000 kg possèdent-ils 18 kJ ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $v = \sqrt{(2 \times 18000 / 1000)} = 6 \text{ m/s}$.
21 — Décision mission	Utiliser cette énergie pour dimensionner freinage, zones de sécurité et protections contre les collisions.

Travail d'une force constante alignée

$$W = Fd$$

1 — Question concrète

Quel travail mécanique une force constante effectue-t-elle sur un déplacement aligné ?

2 — Intuition sans symboles	Un effort appliqué sur une distance transfère de l'énergie ; plus l'effort ou la distance augmente, plus ce transfert est grand.
3 — Grandeurs	W : travail mécanique ; F : composante de force alignée avec le déplacement ; d : déplacement.
4 — Formule	$W = Fd$
5 — Lecture	Lire « travail égale force fois déplacement dans la direction de la force ».
6 — Symboles et sens	W : travail mécanique ; F : composante de force alignée avec le déplacement ; d : déplacement.
7 — Prononciation	Distinguer le symbole W du watt, unité de puissance.
8 — Unités	W en joules (J), F en newtons (N), d en mètres (m).
9 — Convention	Le signe du travail dépend du sens relatif force-déplacement.
10 — Pourquoi cette opération	Le produit force × déplacement accumule le transfert d'énergie mécanique le long du trajet.
11 — Hypothèses	Force constante et alignée avec le déplacement pour cette forme simple.
12 — Contrôle d'unités	$N \times m = J$.
13 — Cas numérique	Une force de 500 N appliquée sur 8 m fournit $W = 4\,000\text{ J}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	La multiplication additionne le même effort sur toute la distance parcourue.
15 — Contrôle algébrique	$F = W/d$ et $d = W/F$.
16 — Estimation mentale	Une force de quelques centaines de newtons sur quelques mètres donne quelques kilojoules.
17 — Interprétation	Le travail positif ajoute de l'énergie mécanique ; un travail négatif en retire.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	La forme simple ne couvre pas une force variable, un angle variable ni les pertes dissipatives non modélisées.
19 — Sensibilité	À force fixe, doubler la distance double le travail ; à distance fixe, le travail varie linéairement avec la composante de force.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. 300 N sur 5 m : calculez W. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $W = 300 \times 5 = 1\,500\text{ J}$. Exercice autonome. Quel déplacement correspond à 2 400 J sous 600 N ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$$d=2400/600=4 \text{ m.}$$

21 — Décision mission

Comparer ce travail à l'énergie cinétique et aux pertes avant de conclure sur une manœuvre.

Exercice 4

Énergie cinétique d'un véhicule de 1 000 kg à 10 m/s?

Correction: $0,5 \times 1\,000 \times 100 = 50\,000 \text{ J} = 50 \text{ kJ}$. À 20 m/s: 200 kJ. Référence quantitative

Données du cas

Exercice 4 — Énergie cinétique d'un véhicule de 1 000 kg à 10 m/s?

Relation

Correction: $0,5 \times 1\,000 \times 100 = 50\,000 \text{ J} = 50 \text{ kJ}$.

Raisonnement

Correction: $0,5 \times 1\,000 \times 100 = 50\,000 \text{ J} = 50 \text{ kJ}$. À 20 m/s: 200 kJ.

Résultat

$0,5 \times 1\,000 \times 100 = 50\,000 \text{ J} = 50 \text{ kJ}$.

Point de

Le travail transfère de l'énergie lorsqu'une force agit sur un déplacement. L'énergie cinétique dépend du carré de la vitesse, ce qui rend les vitesses élevées rapidement coûteuses en freinage et en sécurité.

Un véhicule de 1 000 kg à 5 m/s possède 12,5 kJ d'énergie cinétique; à 10 m/s il en possède 50 kJ, soit quatre fois plus pour une vitesse doublée. Un ingénieur garde séparés résultat numérique, marge et domaine de validité.

Application liée

Application — Énergie cinétique

Cas d'application conservé : $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

Ce bilan n'inclut ni résistance au roulement, ni pente, ni moteur; l'énergie de batterie sera donc supérieure à la variation d'énergie cinétique.

5. Puissance, durée et rendement

La est un d'énergie: $P = E/t$. Un appareil de 5 kW transforme ou transfère idéalement 5 kJ par seconde. Le rendement $\eta = \text{sortie utile} / \text{entrée}$ rappelle qu'un dispositif réel restitue rarement toute l'énergie sous la forme recherchée. Référence quantitative

Rendement de conversion de puissance

$$\eta = P_{\text{utile}}/P_{\text{entrée}}$$

1 — Question concrète	Quelle fraction de la puissance d'entrée devient réellement utile ?
2 — Intuition sans symboles	Un système réel perd toujours une partie de ce qu'il reçoit ; le rendement compare la sortie utile à l'entrée.
3 — Grandeurs	η : rendement ; P_{utile} : puissance utile ; $P_{\text{entrée}}$: puissance fournie au système.
4 — Formule	$\eta = P_{\text{utile}}/P_{\text{entrée}}$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $\eta = P_{\text{utile}}/P_{\text{entrée}}$.
6 — Symboles et sens	Le rendement est un rapport : 1 correspond à 100 %, 0,9 à 90 %.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	η sans dimension ; les deux puissances dans la même unité, W ou kW.
9 — Convention	Comparer des puissances moyennes sur le même intervalle et au même périmètre énergétique.
10 — Pourquoi cette opération	La division mesure quelle part de l'entrée ressort sous la forme recherchée.
11 — Hypothèses	Les puissances doivent correspondre au même régime et les pertes hors périmètre doivent être déclarées.
12 — Contrôle d'unités	$\text{kW}/\text{kW} = 1$: les unités s'annulent.
13 — Cas numérique	$4,5 \text{ kW} / 5,0 \text{ kW} = 0,90 = 90 \text{ \%}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Diviser la sortie utile par l'entrée normalise la performance indépendamment de la taille du système.
15 — Contrôle algébrique	$P_{\text{entrée}} = P_{\text{utile}}/\eta$ et $P_{\text{utile}} = \eta P_{\text{entrée}}$.
16 — Estimation mentale	4,5 est neuf dixièmes de 5 : le rendement doit être proche de 90 %.
17 — Interprétation	Le rendement fixe les pertes à évacuer et la puissance réellement nécessaire en amont.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Un bon rendement ne prouve pas que le système peut fournir la puissance maximale requise ni durer.
19 — Sensibilité	À sortie utile fixe, une baisse de rendement augmente la puissance d'entrée nécessaire.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Un convertisseur reçoit 8 kW et fournit 6,8 kW utiles. Calculez η. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $\eta = 6,8/8 = 0,85 = 85 \text{ \%}$. Exercice autonome. Quelle puissance d'entrée faut-il pour fournir 9 kW utiles à 75 % ?

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$P_{\text{entrée}} = 9 / 0,75 = 12 \text{ kW}$.

21 — Décision mission

Appliquer le rendement réel au dimensionnement de source et au bilan thermique.

Une perte électrique ou mécanique devient souvent chaleur. Le budget de puissance et le sont donc couplés: davantage de pertes signifie davantage de chaleur à évacuer.

Interprétation

La puissance est un débit d'énergie. Elle détermine la taille des convertisseurs, câbles et actionneurs, tandis que l'énergie intégrée dimensionne batteries, carburants ou stockage thermique.

Un chauffage de 5 kW pendant 10 h fournit 50 kWh utiles. À 90 % de rendement global, il faut environ 55,6 kWh électriques. Référence quantitative

Énergie d'entrée avec rendement

$$E_{\text{entrée}} = P_{\text{utile}} t / \eta$$

1 — Question concrète	Quelle énergie faut-il prélever à la source pour fournir une puissance utile pendant une durée donnée ?
2 — Intuition sans symboles	L'énergie utile s'accumule avec le temps ; si le système perd une fraction de l'entrée, la source doit fournir davantage.
3 — Grandeurs	$E_{\text{entrée}}$: énergie prélevée ; P_{utile} : puissance utile ; t : durée ; η : rendement.
4 — Formule	$E_{\text{entrée}} = P_{\text{utile}} t / \eta$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $E_{\text{entrée}} = P_{\text{utile}} t / \eta$.
6 — Symboles et sens	$P_{\text{utile}} t$ est l'énergie utile ; la division par η remonte à l'énergie d'entrée.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	$\text{kW} \times \text{h} = \text{kWh}$ ou $\text{W} \times \text{s} = \text{J}$; η sans dimension.
9 — Convention	Exprimer η sous forme décimale et garder une unité temps compatible avec l'unité d'énergie souhaitée.
10 — Pourquoi cette opération	La multiplication donne l'énergie utile ; la division compense les pertes de conversion.
11 — Hypothèses	Puissance et rendement sont représentatifs de l'intervalle ; les transitoires sont négligés.
12 — Contrôle d'unités	$\text{kW} \cdot \text{h} / 1 = \text{kWh}$.

13 — Cas numérique	$5 \text{ kW} \times 10 \text{ h} / 0,90 = 55,6 \text{ kWh}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Calculer d'abord l'énergie utile évite de mélanger puissance et énergie ; corriger ensuite par le rendement donne l'énergie réellement demandée.
15 — Contrôle algébrique	$t = E_{\text{entrée}} / P_{\text{utile}}$ donne une autonomie idéale.
16 — Estimation mentale	50 kWh utiles à 90 % doivent demander un peu plus de 50 kWh, environ 56.
17 — Interprétation	Cette valeur doit être comparée à l'énergie réellement utilisable d'une batterie ou d'une source.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Elle n'inclut pas automatiquement réserve, vieillissement, température ni limites de puissance.
19 — Sensibilité	À puissance et durée fixes, l'énergie d'entrée varie comme $1/\eta$.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. 4 kW utiles pendant 8 h avec $\eta=0,8$: calculez l'énergie d'entrée. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $E = 4 \times 8 / 0,8 = 40 \text{ kWh}$. Exercice autonome. Une batterie fournit 60 kWh à un système de rendement 0,75 consommant 6 kW utiles. Quelle durée idéale ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $t = 60 \times 0,75 / 6 = 7,5 \text{ h}$.
21 — Décision mission	Ajouter ensuite réserve et dégradation avant de déclarer une autonomie mission.

Un système peut disposer de suffisamment d'énergie totale mais échouer si la batterie ou le convertisseur ne peut pas fournir la puissance de pointe.

6. Pression: force distribuée sur une surface

La $p = F/A$ s'exprime en pascals, avec $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Une différence de 70 kPa sur 1 m^2 correspond à 70 000 N de résultante idéale. Sur 2 m^2 , la même pression donne 140 kN. Référence quantitative

Application liée

Application — Force due à une différence de pression

Cas d'application conservé : $F = p \times A$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

Ce calcul n'est pas un dimensionnement de coque: forme, contraintes, ouvertures, et facteurs de sécurité restent nécessaires. Il révèle seulement l'échelle de la charge.

Étude de cas — pression et charge sur une paroi

Une paroi de 2 m² sépare un habitat pressurisé à 70 kPa d'un extérieur presque vide. La force résultante idéale due à la différence de pression vaut $\Delta P \times A = 70\,000 \times 2 = 140\,000$ N, soit 140 kN. La pression n'est donc pas une petite valeur parce qu'elle s'exprime en « seulement » quelques dizaines de kilopascals: multipliée par de grandes surfaces, elle produit des charges structurales considérables. Référence quantitative

Cette force ne dit pas à elle seule comment dimensionner la paroi. Il faut connaître la géométrie, les appuis, les concentrations de contraintes, les cycles de pressurisation, la température, les défauts et les facteurs de sécurité. Le calcul de pression est le début d'un chemin mécanique, pas une certification de structure. Il sert cependant de contrôle immédiat lorsqu'une ouverture, un sas ou une fenêtre change de surface.

Force due à une différence de pression

$F = \Delta P \cdot A$

1 — Question concrète	Quelle force nette une différence de pression exerce-t-elle sur une porte ou une paroi ?
2 — Intuition sans symboles	Une pression agit sur chaque portion de surface ; plus la surface est grande, plus la force totale augmente.
3 — Grandeurs	F : force normale résultante ; ΔP : différence de pression entre les deux côtés ; A : surface chargée.
4 — Formule	$F = \Delta P \cdot A$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $F = \Delta P \cdot A$.
6 — Symboles et sens	Si l'autre côté est proche du vide, ΔP est presque la pression interne ; sinon il faut soustraire les deux pressions.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	ΔP en Pa = N/m ² , A en m ² , F en N.
9 — Convention	Utiliser une pression différentielle cohérente avec la charge structurale et l'aire projetée pertinente.
10 — Pourquoi cette opération	Multiplier N/m ² par m ² additionne la charge de pression sur toute la surface.
11 — Hypothèses	La pression est considérée uniforme sur l'aire et la direction normale à la surface.
12 — Contrôle d'unités	$(\text{N/m}^2) \times \text{m}^2 = \text{N}$.
13 — Cas numérique	$\Delta P = 70\,000$ Pa et $A = 2$ m ² donnent $F = 140\,000$ N = 140 kN.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	La pression est une force surfacique ; la multiplication par l'aire reconstruit la force totale.
15 — Contrôle	$\Delta P = F/A$ et $A = F/\Delta P$.

algébrique	
16 — Estimation mentale	70 kPa sur 2 m ² : 70 kN par m ² fois deux, donc environ 140 kN.
17 — Interprétation	Cette charge peut dominer le dimensionnement des portes, sas, hublots et joints.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	La relation ne donne pas les contraintes locales, concentrations de contrainte ni modes de flambement.
19 — Sensibilité	À aire fixe, +10 % de ΔP donne +10 % de force ; à pression fixe, la force varie linéairement avec l'aire.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Calculez la force sur 1,5 m² avec $\Delta P=60$ kPa. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $F=60\ 000 \times 1,5=90\ 000$ N=90 kN. Exercice autonome. Quelle aire peut subir 100 kN si $\Delta P=50$ kPa ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $A=100\ 000/50\ 000=2$ m².
21 — Décision mission	Utiliser la charge calculée comme entrée du dimensionnement mécanique avec facteurs de sécurité adaptés.

Raisonnement de terrain

La pression multiplie rapidement les forces structurales parce qu'elle agit sur des surfaces entières. Un habitat à pression modérée contient donc des charges bien supérieures à celles suggérées par le mot « air ».

À $\Delta P=70$ kPa, un panneau de 2 m² reçoit une résultante idéale de 140 kN. C'est le poids terrestre d'environ 14 tonnes-force, sans que le panneau lui-même pèse autant. Référence quantitative

Application liée

Application — Force due à une différence de pression

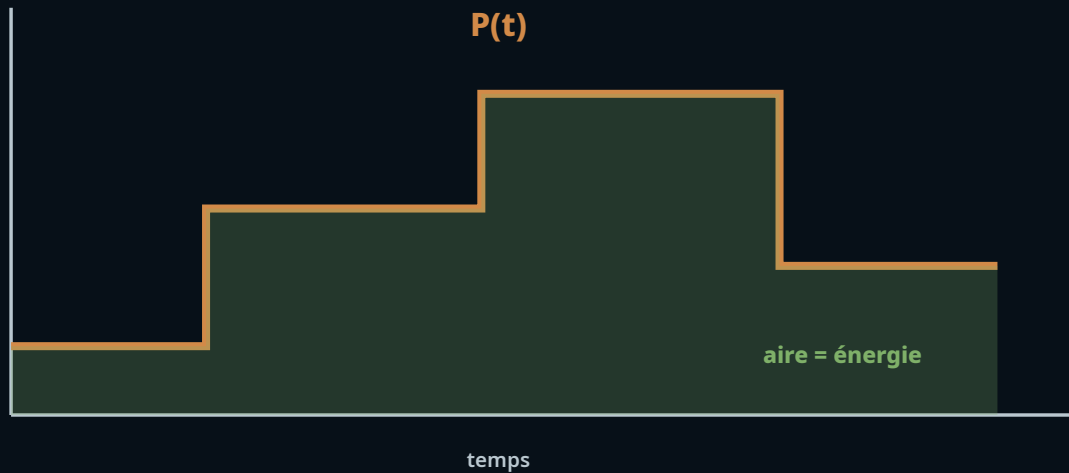
Cas d'application conservé : $F=\Delta P A$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

La structure réelle distribue la charge dans une coque, des cadres et des attaches; $F=PA$ ne donne pas directement la contrainte locale. Référence quantitative

Space Academy · 02

Puissance et énergie / power and energy



$W = \text{J/s} ; \text{kWh}$ mesure une énergie

Puissance, durée et rendement: chaîne minimale pour dimensionner énergie utile et réserve.

7. Fluides, densité et débits

Le débit volumique Q s'exprime en m^3/s ; le débit massique $\dot{m}$ en kg/s . La ρ relie les deux: $\dot{m} = \rho Q$. Pour l'eau proche de $1\,000 \text{ kg/m}^3$, 1 L/s correspond approximativement à 1 kg/s . Référence quantitative

Une boucle réelle ajoute pertes de charge, viscosité, tuyaux, vannes et pompes. Le bilan de masse reste cependant fondamental: accumulation = entrées – sorties. Référence quantitative

Pourquoi cette idée compte

Densité, débit massique et débit volumique permettent de suivre un fluide sans confondre quantité de matière et volume occupé. Pompes et conduites imposent en plus pertes de charge, viscosité et limites thermiques.

Pour de l'eau à $\rho \approx 1\,000 \text{ kg/m}^3$, $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond à environ 2 kg/s . Dix minutes à ce débit déplacent environ $1\,200 \text{ kg}$. Référence quantitative

Débit massique à partir du débit volumique

$$\dot{m} = \rho Q$$

1 — Question concrète

Quelle masse de fluide traverse une conduite par seconde à partir de sa densité et de son débit volumique ?

2 — Intuition sans symboles

Chaque volume transporté contient une masse déterminée par la densité ; multiplier le volume par seconde par la masse par volume donne la masse par seconde.

3 — Grandeurs

$\dot{m}$: débit massique ; ρ : masse volumique ; Q : débit volumique.

4 — Formule

$$\dot{m} = \rho Q$$

5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $\dot{m} = \rho Q$.
6 — Symboles et sens	Le point sur m signifie une dérivée temporelle, donc une masse par unité de temps.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	$\dot{m}$ en kg/s, ρ en kg/m ³ , Q en m ³ /s.
9 — Convention	Employer une densité correspondant à la température, pression et composition du fluide étudié.
10 — Pourquoi cette opération	La densité convertit chaque mètre cube transporté en kilogrammes transportés.
11 — Hypothèses	Le fluide est suffisamment homogène pour représenter sa densité par une valeur moyenne.
12 — Contrôle d'unités	$(\text{kg/m}^3) (\text{m}^3/\text{s}) = \text{kg/s}$.
13 — Cas numérique	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ et $Q = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ donnent $\dot{m} = 2 \text{ kg/s}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	La multiplication applique la masse contenue dans chaque unité de volume au volume écoulé chaque seconde.
15 — Contrôle algébrique	$Q = \dot{m} / \rho$ et $\rho = \dot{m} / Q$.
16 — Estimation mentale	Deux litres par seconde d'eau valent environ deux kilogrammes par seconde.
17 — Interprétation	Le débit massique sert à dimensionner consommables, pompes, conduites et bilans de ressources.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	La formule seule ne donne ni perte de charge, ni régime d'écoulement, ni cavitation.
19 — Sensibilité	À densité fixe, le débit massique varie linéairement avec le débit volumique.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Un liquide de 800 kg/m³ circule à 0,005 m³/s. Calculez $\dot{m}$. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $\dot{m} = 800 \times 0,005 = 4 \text{ kg/s}$. Exercice autonome. Quel débit volumique faut-il pour 3 kg/s d'un fluide à 750 kg/m³ ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $Q = 3 / 750 = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}$.
21 — Décision mission	Dimensionner la chaîne fluide sur le débit massique de pointe et ses marges, pas seulement sur le volume.

Bilan dynamique d'un stock

$$dm/dt = \dot{m}_{\text{entrée}} - \dot{m}_{\text{sortie}}$$

1 — Question concrète	À quelle vitesse un stock augmente-t-il ou diminue-t-il lorsque des flux entrent et sortent simultanément ?
2 — Intuition sans symboles	Un stock change seulement par la différence entre ce qui entre et ce qui sort de son périmètre.
3 — Grandeurs	dm/dt : variation du stock ; $\dot{m}_{\text{entrée}}$: débit massique entrant ; $\dot{m}_{\text{sortie}}$: débit massique sortant.
4 — Formule	$dm/dt = \dot{m}_{\text{entrée}} - \dot{m}_{\text{sortie}}$
5 — Lecture	Lire « variation du stock égale débit entrant moins débit sortant ».
6 — Symboles et sens	dm/dt : variation du stock ; $\dot{m}_{\text{entrée}}$: débit massique entrant ; $\dot{m}_{\text{sortie}}$: débit massique sortant.
7 — Prononciation	Le point sur m indique une variation par unité de temps.
8 — Unités	Toutes les grandeurs de débit en kg/s, kg/h ou kg/j sur la même base de temps.
9 — Convention	Choisir un signe positif pour les entrées et négatif pour les sorties, puis le conserver.
10 — Pourquoi cette opération	La différence entre ce qui entre et ce qui sort est exactement ce qui s'accumule ou se vide.
11 — Hypothèses	Le périmètre du système doit être fermé et les flux exprimés sur la même base de temps.
12 — Contrôle d'unités	$\text{kg/s} - \text{kg/s} = \text{kg/s}$.
13 — Cas numérique	Avec 5 kg/h entrants et 3,5 kg/h sortants, le stock augmente de 1,5 kg/h.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Soustraire les sorties des entrées donne le taux net de variation du stock.
15 — Contrôle algébrique	À régime stationnaire, $dm/dt=0$ implique $\dot{m}_{\text{in}}=\dot{m}_{\text{out}}$.
16 — Estimation mentale	Si entrée et sortie sont presque égales, l'accumulation doit être petite devant chaque flux.
17 — Interprétation	Le signe indique si le stock augmente ou diminue.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Le bilan seul n'explique ni la cause des flux ni les limites de capacité, fuites non mesurées ou changements de phase.
19 — Sensibilité	Une petite erreur persistante entre entrée et sortie s'accumule avec le temps.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. 4,2 kg/h entrent et 5,0 kg/h sortent : variation ?

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$dm/dt = -0,8 \text{ kg/h}$: le stock diminue.

Exercice autonome. Un stock doit rester constant avec 7 kg/h de sortie. Quel débit entrant ?

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$\dot{m}_{\text{entrée}} = 7 \text{ kg/h}$.

21 — Décision mission

Utiliser le signe et la tendance du stock pour déclencher appoint, délestage ou diagnostic de fuite.

La densité dépend de température et composition; pour des gaz compressibles, utiliser une densité fixe sur une grande variation de pression devient mauvais.

8. Gaz parfaits et température absolue

Le modèle $pV = nRT$ relie pression, volume, quantité de matière et température. À volume et quantité fixes, la pression absolue augmente avec la température absolue. Le kelvin est indispensable: $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$. Référence quantitative

Gaz parfait : pression, volume, quantité et température

$$pV = nRT$$

1 — Question concrète	Quelle pression résulte d'une quantité de gaz donnée dans un volume et à une température absolue ?
2 — Intuition sans symboles	Chauffer un gaz confiné ou ajouter des molécules augmente les collisions contre les parois ; augmenter le volume l'espace.
3 — Grandeurs	p : pression absolue ; V : volume ; n : quantité de matière ; R : constante des gaz parfaits ; T : température absolue.
4 — Formule	$pV = nRT$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $pV = nRT$.
6 — Symboles et sens	$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ en unités SI. À n et V constants, $p_2/p_1 = T_2/T_1$.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	p en Pa, V en m^3 , n en mol, T en K.
9 — Convention	Toujours employer pression absolue et température en kelvins dans la relation.
10 — Pourquoi cette opération	Le produit nRT représente l'échelle énergétique microscopique du gaz ; diviser par le volume donne la pression.

11 — Hypothèses	Le gaz doit être suffisamment dilué pour que l'approximation de gaz parfait soit acceptable.
12 — Contrôle d'unités	$\text{mol} \times \text{J} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times \text{K} = \text{J} = \text{Pa} \cdot \text{m}^3$, donc pV et nRT ont la même dimension.
13 — Cas numérique	$n=10 \text{ mol}$, $T=300 \text{ K}$, $V=0,10 \text{ m}^3$ donnent $p \approx 249\,420 \text{ Pa} = 249,4 \text{ kPa}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Multiplier n , R et T donne pV ; diviser par V isole ensuite la pression.
15 — Contrôle algébrique	$p=nRT/V$, $V=nRT/p$, $T=pV/(nR)$.
16 — Estimation mentale	$10 \times 8,314 \times 300 \approx 24,9 \text{ kJ}$; diviser par $0,10 \text{ m}^3$ donne environ 249 kPa , cohérent avec le calcul précis.
17 — Interprétation	La relation permet d'anticiper la pression d'un volume pressurisé quand température ou quantité de gaz change.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Elle ne capture pas les gaz réels à haute pression ni les gradients thermiques ou mélanges réactifs.
19 — Sensibilité	À n et V fixes, la pression est proportionnelle à T ; à n et T fixes, elle varie comme $1/V$.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Calculez p pour 2 mol, 300 K et $0,05 \text{ m}^3$. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $p=2 \times 8,314 \times 300 / 0,05 \approx 99\,768 \text{ Pa} \approx 99,8 \text{ kPa}$. Exercice autonome. À volume et quantité constants, une pression de 70 kPa à 280 K devient quelle pression à 300 K ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $p_2 = 70 \times 300 / 280 = 75 \text{ kPa}$.
21 — Décision mission	Utiliser pression absolue et température mesurée pour vérifier les marges de réservoir et d'habitat.

Le modèle idéal possède des limites, mais il permet de vérifier rapidement un stockage gazeux et de comprendre pourquoi chauffer un volume fermé peut faire monter sa pression.

Lecture physique

Le modèle du gaz parfait relie pression, volume, quantité de matière et température absolue. Il est particulièrement utile comme contrôle de cohérence pour atmosphères, bouteilles et procédés, même si les gaz réels peuvent s'en écarter.

À volume et quantité fixes, passer de 293 K à 303 K augmente idéalement la pression d'un facteur $303/293 \approx 1,034$, soit environ $3,4 \%$. Référence quantitative

Application — Gaz parfait : pression, volume, quantité et température

Cas d'application conservé : $pV = nRT$; $p_2/p_1 = T_2/T_1$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

La température doit être en kelvins; utiliser directement des degrés Celsius dans un de gaz produit un résultat absurde.

9. Chaleur et transfert thermique

Sans changement de une première approximation d'énergie sensible est $Q = mc\Delta T$. La conduction transporte la chaleur dans les solides, la convection par mouvement de fluide, et le rayonnement par émission électromagnétique. Référence quantitative

Sur Mars, l'atmosphère externe très ténue change la convection autour des équipements, tandis qu'un habitat pressurisé recrée une convection interne. Les radiateurs et échangeurs deviennent donc des organes fonctionnels de la survie et de l'industrie.

Étude de cas — relier thermique, puissance et énergie

Supposons qu'un habitat perde en moyenne 5 kW de chaleur pendant une froide de 10 h. Pour maintenir la température, un système de chauffage doit fournir au moins 50 kWh de chaleur sur cette période dans ce modèle simplifié. Si le chauffage électrique transforme 90 % de l'électricité en chaleur utile au point considéré, l'énergie électrique nécessaire devient environ 55,6 kWh. Le rendement doit être placé au bon côté de l'équation: on divise le besoin utile par 0,90. Référence quantitative

Le bilan réel inclut les gains internes, le Soleil, les machines, les gradients de température et le stockage thermique. Mais le modèle simple montre déjà la différence entre puissance et énergie. Cinq kilowatts décrivent un rythme instantané; cinquante kilowatt-heures décrivent une quantité intégrée sur dix heures. Une batterie se dimensionne en énergie, tandis qu'un convertisseur doit aussi supporter la puissance de pointe.

Énergie requise par une charge critique

$$E = Pt$$

1 — Question concrète	Quelle énergie une source doit-elle fournir à une charge critique pendant une durée imposée ?
2 — Intuition sans symboles	Une puissance constante consommée pendant plus longtemps accumule proportionnellement plus d'énergie.
3 — Grandeurs	E : énergie requise ; P : puissance moyenne ; t : durée.
4 — Formule	$E = Pt$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $E = Pt$.
6 — Symboles et sens	La puissance est un débit d'énergie : multiplier ce débit par le temps reconstitue la quantité d'énergie.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	$\text{kW} \times \text{h} = \text{kWh}$ ou $\text{W} \times \text{s} = \text{J}$.

9 — Convention	Utiliser une puissance moyenne représentative de la charge sur l'intervalle et des unités de temps compatibles.
10 — Pourquoi cette opération	La multiplication accumule l'énergie consommée à chaque unité de temps.
11 — Hypothèses	Le calcul suppose une puissance moyenne constante et ne comprend ni pertes ni réserve sauf si elles sont ajoutées séparément.
12 — Contrôle d'unités	$\text{kW} \cdot \text{h} = \text{kWh}$.
13 — Cas numérique	$P = 3,2 \text{ kW}$ pendant 5 h donne $E = 16 \text{ kWh}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Multiplier la puissance par la durée additionne l'énergie consommée durant tout l'intervalle.
15 — Contrôle algébrique	$t = E/P$ et $P = E/t$.
16 — Estimation mentale	3 kW pendant 5 h font environ 15 kWh ; 16 kWh est donc plausible.
17 — Interprétation	L'énergie calculée doit être confrontée à la capacité réellement utilisable de la source.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Une batterie annoncée à 16 kWh ne garantit pas automatiquement cinq heures : puissance maximale, rendement, température et profondeur de décharge comptent.
19 — Sensibilité	À durée fixe, $+25 \%$ de puissance donne $+25 \%$ d'énergie ; à puissance fixe, l'énergie varie linéairement avec la durée.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. Un chauffage critique de $1,8 \text{ kW}$ fonctionne 6 h. Calculez E. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $E = 1,8 \times 6 = 10,8 \text{ kWh}$. Exercice autonome. Une charge vaut $4,5 \text{ kW}$ pendant 2 h puis $2,5 \text{ kW}$ pendant 8 h. Calculez l'énergie totale. Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $4,5 \times 2 + 2,5 \times 8 = 9 + 20 = 29 \text{ kWh}$.
21 — Décision mission	Comparer ce besoin au temps nécessaire pour réparer, délester ou basculer sur une autre source.

Passage au calcul

La chaleur est une énergie transférée à cause d'une différence de température. Les systèmes martiens doivent distinguer stockage thermique, conduction dans les structures, convection à l'intérieur d'un habitat et rayonnement vers l'environnement.

Chauffer 100 kg d'eau de 20 K avec $c \approx 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ demande idéalement 8,36 MJ, soit environ 2,32 kWh, avant pertes. L'intérêt pédagogique est de voir les unités se transformer en décision — module 02 · Passage au calcul · étape 2. Référence quantitative

Chaleur sensible

$Q = mc\Delta T$

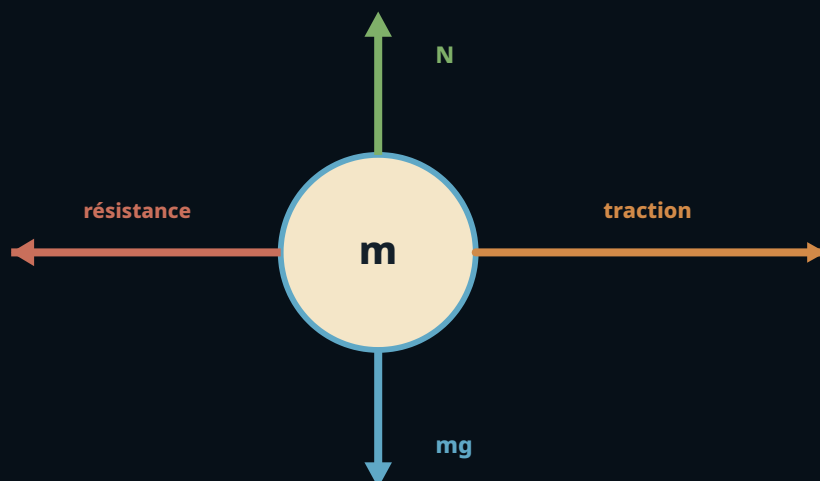
1 — Question concrète	Quelle énergie thermique faut-il pour changer la température d'une masse sans changement de phase ?
2 — Intuition sans symboles	Plus une masse est grande, plus elle est difficile à chauffer ; certains matériaux exigent aussi plus d'énergie par kilogramme et par degré.
3 — Grandeurs	Q : chaleur échangée ; m : masse ; c : capacité thermique massique ; ΔT : variation de température.
4 — Formule	$Q = mc\Delta T$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $Q = mc\Delta T$.
6 — Symboles et sens	$\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{initial}}$; le signe de Q dépend de la convention choisie pour chaleur reçue ou cédée.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	Q en J, m en kg, c en $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, ΔT en K ou °C pour une différence.
9 — Convention	Utiliser une capacité thermique correspondant au matériau et à la plage de température.
10 — Pourquoi cette opération	Chaque kilogramme nécessite c joules par kelvin ; multiplier par la masse et l'écart de température donne l'énergie totale.
11 — Hypothèses	Pas de changement de phase, capacité thermique supposée constante et pertes vers l'environnement négligées.
12 — Contrôle d'unités	$\text{kg} \times \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \times \text{K} = \text{J}$.
13 — Cas numérique	$m=10 \text{ kg}$, $c=900 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $\Delta T=20 \text{ K}$ donnent $Q=180 \text{ kJ}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	La multiplication additionne l'énergie nécessaire pour chaque kilogramme et chaque degré de variation.
15 — Contrôle algébrique	$\Delta T = Q/(mc)$.
16 — Estimation mentale	$10 \times 900 \approx 9\,000 \text{ J/K}$; sur 20 K, environ 180 000 J.

17 — Interprétation	Cette énergie fixe la durée et la puissance de chauffage/refroidissement idéales.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Le calcul ne comprend ni rayonnement, conduction vers la structure, convection ni chaleur latente.
19 — Sensibilité	Q varie linéairement avec m, c et ΔT .
20 — Exercices guidé et autonome	Exercice guidé. Calculez Q pour 5 kg, $c=800 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $\Delta T=30 \text{ K}$. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $Q=5\times 800\times 30=120\ 000 \text{ J}=120 \text{ kJ}$. Exercice autonome. Quel ΔT produit 90 kJ dans 10 kg avec $c=900 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $\Delta T=90\ 000/(10\times 900)=10 \text{ K}$.
21 — Décision mission	Ajouter les pertes réelles avant de dimensionner chauffage, refroidissement et énergie stockée.

L'énergie sensible ne couvre ni changement de phase ni chaleur dissipée vers l'environnement; ces termes peuvent dominer un procédé réel.

Space Academy · 02

Bilan des forces / free-body balance



$\Sigma F = m \cdot a$: choisir un système avant de sommer

Bilan physique d'un rover: relier forces, vitesse, énergie, chaleur et batterie dans un même système.

10. Rotation et

Pour une rotation à ω et rayon r , l'accélération centripète vaut $a = \omega^2 r$. Cette relation permet d'explorer les concepts de : augmenter le rayon réduit la vitesse angulaire nécessaire pour une même accélération. Référence quantitative

Accélération centripète et vitesse angulaire

$$a = \omega^2 r ; \omega = \sqrt{a/r}$$

1 — Question concrète	Quelle vitesse de rotation produit une accélération artificielle donnée à un rayon donné ?
2 — Intuition sans symboles	Plus on tourne vite ou plus le rayon est grand, plus l'accélération vers le centre augmente.
3 — Grandeurs	a : accélération centripète ; ω : vitesse angulaire ; r : rayon.
4 — Formule	$a = \omega^2 r ; \omega = \sqrt{a/r}$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $a = \omega^2 r ; \omega = \sqrt{a/r}$.
6 — Symboles et sens	ω^2 signifie que l'accélération dépend du carré de la vitesse angulaire ; isoler ω impose une racine carrée.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	a en m/s^2 , ω en rad/s , r en m .
9 — Convention	Utiliser le rayon jusqu'au point où l'accélération est évaluée ; convertir ensuite rad/s en rpm seulement si nécessaire.
10 — Pourquoi cette opération	Le mouvement circulaire exige une accélération vers le centre proportionnelle au rayon et au carré de la vitesse angulaire.
11 — Hypothèses	Rotation uniforme et géométrie circulaire ; effets humains et gradients radiaux traités séparément.
12 — Contrôle d'unités	$(rad/s)^2 \times m = m/s^2$, le radian étant sans dimension SI.
13 — Cas numérique	Pour $a=3,71 \text{ m/s}^2$ et $r=40 \text{ m}$, $\omega=0,3045 \text{ rad/s} \approx 2,91 \text{ rpm}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Diviser d'abord l'accélération cible par le rayon, puis prendre la racine carrée pour retrouver ω .
15 — Contrôle algébrique	$r=a/\omega^2$ donne le rayon nécessaire à une vitesse angulaire fixée.
16 — Estimation mentale	À 40 m , une accélération de quelques m/s^2 exige une vitesse angulaire de quelques dixièmes de rad/s .
17 — Interprétation	Le résultat relie taille de l'habitat rotatif et vitesse de rotation pour une gravité artificielle cible.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Il ne prouve pas que le taux de rotation est physiologiquement acceptable ni que la structure peut le supporter.

19 — Sensibilité	À accélération fixe, quadrupler le rayon divise ω par deux ; à rayon fixe, doubler ω quadruple a.
20 — Exercices guidé et autonome	Exercice guidé. Calculez ω pour $a=3,71 \text{ m/s}^2$ et $r=10 \text{ m}$. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $\omega = \sqrt{(3,71/10)} = 0,609 \text{ rad/s} \approx 5,82 \text{ rpm}$. Exercice autonome. Quel rayon faut-il pour $a=3,71 \text{ m/s}^2$ à $\omega=0,25 \text{ rad/s}$? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $r = 3,71/0,25^2 \approx 59,4 \text{ m}$.
21 — Décision mission	Choisir ensemble rayon, vitesse de rotation, contraintes structurelles et tolérance humaine.

La formule ne résout ni cinétose, ni gradients tête-pieds, ni masse structurelle. Elle expose seulement le premier compromis géométrique.

Étude de cas — rotation et gravité artificielle

Pour une centrifugeuse de rayon 10 m visant une accélération centripète de $3,71 \text{ m/s}^2$, comparable à la gravité de surface martienne, la relation $a = \omega^2 r$ donne $\omega = \sqrt{(3,71/10)} \approx 0,609 \text{ rad/s}$. La fréquence est $\omega/(2\pi) \approx 0,0969 \text{ Hz}$, soit environ 5,8 tours par minute. Ce calcul ne prouve pas qu'une telle centrifugeuse soit physiologiquement acceptable: il convertit seulement une accélération cible en vitesse de rotation pour un rayon donné. Référence quantitative

Si le rayon passe à 40 m pour la même accélération, ω diminue à environ $0,305 \text{ rad/s}$, soit environ 2,9 tr/min. Le compromis devient visible: un grand rayon réduit la vitesse de rotation mais augmente la taille et la masse de la structure. Les effets vestibulaires, gradients tête-pieds et coûts mécaniques exigent d'autres modèles. La physique fondamentale donne les relations nécessaires pour poser le problème sans prétendre le résoudre entièrement. Référence quantitative

Application liée

Application — Accélération centripète et vitesse angulaire

Cas d'application conservé : $\omega = \sqrt{a/r}$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

Point de contrôle

La rotation fournit une accélération centripète $a=\omega^2 r$. Elle sert à explorer les concepts de gravité artificielle, mais la physiologie dépend aussi de la vitesse de rotation et des gradients le long du corps. Référence quantitative

Pour $a=3,71 \text{ m/s}^2$ et $r=10 \text{ m}$, $\omega \approx 0,609 \text{ rad/s}$, soit environ 5,8 tr/min. À $r=40 \text{ m}$, la même accélération demande environ 2,9 tr/min. Un ingénieur garde séparés résultat numérique, marge et domaine de validité. Référence quantitative

Application liée

Application — Accélération centripète et vitesse angulaire

Cas d'application conservé : $\omega = \sqrt{a/r}$. La méthode, les symboles, unités, hypothèses et exercices sont portés par la mini-leçon canonique liée ci-dessous.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

Le calcul ne fixe pas un seuil médical acceptable; il transforme une cible d'accélération en géométrie et vitesse de rotation.

11. Électricité: tension, courant, résistance et puissance

Dans un composant ohmique simplifié, $V = RI$. La vaut $P = VI$. Un bus à 120 V fournissant 10 A transporte 1 200 W, soit 1,2 kW. Référence quantitative

Loi d'Ohm et puissance électrique

$$V = RI ; P = VI$$

1 — Question concrète	Quelle tension et quelle puissance correspondent à un courant traversant une résistance ?
2 — Intuition sans symboles	Une résistance exige une tension pour faire circuler le courant ; la tension multipliée par le courant mesure la puissance électrique transférée.
3 — Grandeurs	V : tension ; R : résistance ; I : courant ; P : puissance.
4 — Formule	$V = RI ; P = VI$
5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $V = RI ; P = VI$.
6 — Symboles et sens	$V=RI$ relie le point de fonctionnement résistif ; $P=VI$ convertit ce point en puissance.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	V en volts, R en ohms, I en ampères, P en watts.
9 — Convention	Employer tension et courant cohérents avec la convention générateur/récepteur du circuit.
10 — Pourquoi cette opération	La première relation décrit la chute de tension résistive ; la seconde mesure le débit d'énergie électrique.
11 — Hypothèses	Composant approximativement ohmique au point de fonctionnement.
12 — Contrôle d'unités	$\Omega \times A = V$ et $V \times A = W$.
13 — Cas numérique	$R=4 \ \Omega$, $I=3 \ A$ donnent $V=12 \ V$ puis $P=36 \ W$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Multiplier R par I donne la tension ; multiplier ensuite V par I donne la puissance au même point de fonctionnement.
15 — Contrôle algébrique	$I=V/R$ et $R=V/I$.

16 — Estimation mentale	4 Ω à 3 A donne une douzaine de volts et quelques dizaines de watts.
17 — Interprétation	Ces relations permettent de dimensionner tension de bus, courant, câbles et protections.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	Elles ne décrivent pas les composants non linéaires, transitoires, inductifs ou capacitifs.
19 — Sensibilité	À R fixe, V varie comme I et P comme I ² puisque P=RI ² .
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. R=6 Ω et I=2 A : calculez V et P. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé V=12 V, puis P=24 W. Exercice autonome. Une charge de 48 V consomme 240 W. Quel courant moyen ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé I=P/V=240/48=5 A.
21 — Décision mission	Vérifier courant de pointe, chute de tension et échauffement avant de choisir câbles et protections.

Une architecture réelle ajoute conversion, protections, câbles, transitoires, mise à la masse et Les relations de base servent de contrôle de cohérence sur chaque branche.

Interprétation

Tension, courant, résistance et puissance permettent de suivre un réseau électrique simple avant d'ajouter convertisseurs, batteries, protections et transitoires. Les pertes ohmiques augmentent comme I²R.

Une charge de 2,4 kW sous 120 V appelle idéalement 20 A. Une résistance totale de ligne de 0,05 Ω dissipe alors I²R=20 W. Référence quantitative

Pertes Joule dans une résistance

$$P_{\text{pertes}} = I^2 R$$

1 — Question concrète	Quelle puissance est dissipée en chaleur par une résistance parcourue par un courant ?
2 — Intuition sans symboles	Faire passer davantage de courant chauffe très vite un conducteur parce que l'effet du courant est quadratique.
3 — Grandeurs	P _{pertes} : puissance thermique dissipée ; I : courant ; R : résistance.
4 — Formule	$P_{\text{pertes}} = I^2 R$

5 — Lecture	Lire la relation en nommant chaque grandeur et chaque opération : $P_{\text{pertes}} = I^2 R$.
6 — Symboles et sens	I^2 signifie que le courant est multiplié par lui-même avant d'être multiplié par R.
7 — Prononciation	Nommer chaque symbole, indice et opérateur sans les confondre avec son unité.
8 — Unités	P_{pertes} en W, I en A, R en Ω .
9 — Convention	Utiliser la résistance effective à la température de fonctionnement et le courant RMS si le courant varie périodiquement.
10 — Pourquoi cette opération	La puissance électrique dissipée vaut VI ; avec $V=RI$, on obtient $I^2 R$.
11 — Hypothèses	Résistance ohmique représentative et régime où la valeur de courant choisie est pertinente.
12 — Contrôle d'unités	$A^2 \times \Omega = W$.
13 — Cas numérique	$I=50 \text{ A}$, $R=0,02 \text{ }\Omega$ donnent $P_{\text{pertes}}=50 \text{ W}$.
14 — Pourquoi le calcul fonctionne	Mettre I au carré capture l'effet quadratique du courant ; multiplier par R applique la résistance du chemin.
15 — Contrôle algébrique	$I=\sqrt{(P_{\text{pertes}}/R)}$.
16 — Estimation mentale	$50^2=2\,500$; fois 0,02 donne 50 W.
17 — Interprétation	Les pertes imposent un budget thermique et réduisent l'efficacité de distribution électrique.
18 — Ce que le résultat ne prouve pas	La relation ne donne pas à elle seule la température du câble ni son refroidissement.
19 — Sensibilité	Doubler le courant quadruple les pertes ; doubler R double les pertes.
20 — Exercices guidé et autonome	----- Exercice guidé. $I=20 \text{ A}$ et $R=0,1 \text{ }\Omega$: calculez les pertes. Correction guidée — ouvrir après avoir essayé $P=20^2 \times 0,1=40 \text{ W}$. Exercice autonome. Quelle résistance maximale limite les pertes à 25 W sous 10 A ? Correction autonome — ouvrir après avoir essayé $R=25/10^2=0,25 \text{ }\Omega$.
21 — Décision mission	Réduire courant ou résistance si les pertes dépassent le budget thermique ou énergétique.

Une même puissance transmise à tension plus élevée utilise moins de courant, mais isolation, convertisseurs et sécurité imposent d'autres compromis.

12. Étude intégrée: déplacer et pressuriser

Équipement de 500 kg, accélération $0,4 \text{ m/s}^2$: $F = 200 \text{ N}$. À 4 m/s , énergie cinétique $= 0,5 \times 500 \times 16 = 4\,000 \text{ J}$. Si un moteur absorbe 2 kW pendant 10 s , il reçoit 20 kJ : l'écart avec 4 kJ rappelle que l'énergie d'entrée n'est pas entièrement convertie en énergie cinétique. Référence quantitative

Ajoutez une paroi de 2 m^2 à 70 kPa : la résultante de pression atteint 140 kN , très supérieure à la force d'accélération du petit équipement. La physique sert notamment à voir quels phénomènes dominent. Référence quantitative

Projet guidé — un module pressurisé mobile comme système physique

Considérez un de masse $4\,000 \text{ kg}$ sur Mars. Avec $g \approx 3,71 \text{ m/s}^2$, son poids vaut environ $14,8 \text{ kN}$, alors que sa masse reste $4\,000 \text{ kg}$. Une accélération horizontale nette de $0,20 \text{ m/s}^2$ exige $F=ma=800 \text{ N}$, indépendamment du poids vertical dans ce modèle simple. Cette séparation empêche de remplacer la masse par le poids dans les équations d'accélération. Référence quantitative

Le véhicule possède une porte de $1,2 \text{ m}^2$ et une pression interne de 70 kPa au-dessus de l'extérieur. La charge idéale normale sur la porte vaut environ 84 kN . Cette force est très supérieure à la force horizontale de traction calculée plus haut. Cela ne signifie pas que la porte est « plus difficile » que la propulsion; les deux charges agissent sur des architectures différentes. Le calcul révèle seulement des échelles et oblige à ne pas comparer des newtons sans contexte mécanique. Référence quantitative

Pour un trajet de 30 km à vitesse moyenne 10 km/h , la durée de roulage vaut 3 h . Si la puissance électrique moyenne de traction et auxiliaires est 18 kW , l'énergie est 54 kWh . Ajoutez 4 kW de maintien thermique et vie pendant les mêmes 3 h : 12 kWh supplémentaires, soit 66 kWh . Avec une batterie offrant 100 kWh réellement utilisables, le retour identique ferait 132 kWh : le trajet aller-retour n'est donc pas couvert sans recharge, baisse de puissance, réserve supplémentaire ou autre hypothèse. Une autonomie annoncée en kilomètres ne peut pas être séparée du profil de puissance. Référence quantitative

Supposons qu'un freinage récupératif rende 20% de l'énergie cinétique lors de certains ralentissements. À 10 m/s , l'énergie cinétique du véhicule vaut $0,5 \times 4\,000 \times 10^2 = 200 \text{ kJ}$, soit seulement $0,0556 \text{ kWh}$. Même récupérer 20% de cette énergie ne rend qu'environ $0,011 \text{ kWh}$ par freinage depuis cette vitesse. L'ordre de grandeur montre que la dépense de plusieurs heures de roulage ne disparaît pas grâce à quelques freinages régénératifs. Référence quantitative

Enfin, un bilan thermique et une limite de puissance de pointe doivent être ajoutés avant de conclure. Le projet illustre comment plusieurs lois élémentaires se combinent: gravité pour le poids, Newton pour l'accélération, pression pour la structure, puissance intégrée pour l'énergie, énergie cinétique pour les transitoires. Aucun de ces calculs n'est très compliqué isolément; la compétence d'ingénierie consiste à les mettre dans le bon ordre et à ne pas faire répondre une équation à une question qu'elle ne décrit pas.

Application liée

Étude intégrée — application multi-formules

Ce cas d'intégration réutilise plusieurs compétences déjà enseignées ; il ne crée pas une formule canonique supplémentaire.

Référence canonique : ouvrir la mini-leçon canonique 1 → 21.

13. Vérification de fin de module

- Je distingue vitesse, accélération, masse et poids.
- Je relie force, travail, énergie et puissance.
- Je calcule une force de pression.
- Je relie débit massique et débit volumique.
- Je comprends pourquoi les gaz utilisent la température absolue.
- Je relie tension, courant et puissance.

Série d'exercices corrigés — contrôle autonome

1. Masse 80 kg: poids sur Mars avec $g=3,71 \text{ m/s}^2$? Référence quantitative

$W=mg=80 \times 3,71 \approx 296,8 \text{ N}$. La masse reste 80 kg; le poids change avec le champ de gravité. Référence quantitative

2. Une force nette de 600 N agit sur 300 kg. Accélération? Référence quantitative

$a=F/m=2 \text{ m/s}^2$. Le mot nette signifie qu'on a déjà additionné vectoriellement les forces pertinentes. Référence quantitative

3. Une paroi de $0,5 \text{ m}^2$ subit 60 kPa. Force? Référence quantitative

$F=PA=60\,000 \times 0,5 = 30\,000 \text{ N} = 30 \text{ kN}$. Une pression modérée sur une grande surface produit une charge importante. Référence quantitative

4. 10 kW pendant 3 h, puis 2 kW pendant 5 h: énergie?

$10 \times 3 + 2 \times 5 = 40 \text{ kWh}$. Additionner les puissances seules serait faux; chaque segment doit être multiplié par sa durée. Référence quantitative

5. Pourquoi un rendement de 80 % augmente-t-il l'énergie d'entrée nécessaire?

Si la charge exige une énergie utile E , l'entrée doit être $E/0,8$. Les pertes font que l'on doit fournir davantage que ce qui arrive à la fonction utile.

Atelier d'entraînement approfondi

Dans chaque exercice de physique, tracez d'abord la frontière du système: qu'est-ce qui entre, qu'est-ce qui sort, et quelles forces ou formes d'énergie traversent cette frontière? Écrivez ensuite la loi physique avec ses unités avant d'insérer les valeurs. Le corrigé vérifie à la fois le calcul, le signe, l'ordre de grandeur et le sens physique du résultat.

1. Accélération

$0 \rightarrow 8 \text{ m/s}$ en 16 s: accélération moyenne? Référence quantitative

Correction: $0,5 \text{ m/s}^2$.

Données du cas

La vitesse passe de 0 à 8 m/s en 16 s.

Relation

Accélération moyenne = variation de vitesse / durée, soit $a_{\text{moy}} = \Delta v / \Delta t$.

Raisonnement

La variation de vitesse vaut $8 - 0 = 8 \text{ m/s}$. Diviser cette variation par 16 s donne $a_{\text{moy}} = 8/16 = 0,5 \text{ m/s}^2$.

Résultat

L'accélération moyenne vaut $0,5 \text{ m/s}^2$.

Contrôle

À $0,5 \text{ m/s}^2$ pendant 16 s, la variation de vitesse reconstruite est $0,5 \times 16 = 8 \text{ m/s}$; elle retrouve exactement la donnée de départ.

Interprétation

Une accélération moyenne décrit la variation globale sur l'intervalle; elle ne prouve pas que l'accélération instantanée soit restée constante à chaque seconde.

Repères numériques conservés. $8 \text{ m} \cdot 16 \text{ s}$.

2. Force nette

1 500 kg à $0,3 \text{ m/s}^2$ avec 250 N de résistance: force moteur? Référence quantitative

Correction: $m a = 450 \text{ N}$; moteur $\approx 700 \text{ N}$ pour compenser aussi 250 N de résistance. Référence quantitative

La force de 450 N ne suffit qu'à produire l'accélération demandée en l'absence d'autre résistance. Ajouter 250 N traduit la frontière du modèle: moteur et structure doivent fournir environ 700 N avant toute marge supplémentaire. Référence quantitative

Données du cas

2. Force nette — 1 500 kg à $0,3 \text{ m/s}^2$ avec 250 N de résistance: force moteur?

Relation

Correction: $m a = 450 \text{ N}$

Raisonnement

Correction: $m a = 450 \text{ N}$; moteur $\approx 700 \text{ N}$ pour compenser aussi 250 N de résistance. La force de 450 N ne suffit qu'à produire l'accélération demandée en l'absence d'autre résistance. Ajouter 250 N traduit la frontière du modèle: moteur et structure doivent fournir environ 700 N avant toute marge supplémentaire.

Résultat

$m a = 450 \text{ N}$

Contrôle

Ajouter 250 N traduit la frontière du modèle: moteur et structure doivent fournir environ 700 N avant toute marge supplémentaire.

Interprétation

La force de 450 N ne suffit qu'à produire l'accélération demandée en l'absence d'autre résistance.

Repères numériques conservés. $500 \text{ kg} \cdot 0,3 \text{ m}$.

3. Poids martien

250 kg sur Mars à $g = 3,71$? Référence quantitative

Correction: $W \approx 927,5 \text{ N}$. La masse reste 250 kg. Référence quantitative

Le poids change avec la gravité alors que la masse ne change pas. Les 927,5 N sont donc la force gravitationnelle martienne sur 250 kg; l'inertie à accélérer ou à freiner reste celle d'un objet de 250 kg. Référence quantitative

Données du cas

3. Poids martien — 250 kg sur Mars à $g = 3,71$?

Relation

Correction: $W \approx 927,5 \text{ N}$.

Raisonnement

Correction: $W \approx 927,5 \text{ N}$. La masse reste 250 kg. Le poids change avec la gravité alors que la masse ne change pas. Les 927,5 N sont donc la force gravitationnelle martienne sur 250 kg; l'inertie à accélérer ou à freiner reste celle d'un objet de 250 kg.

Résultat

$W \approx 927,5 \text{ N}$.

Contrôle

La masse reste 250 kg.

Interprétation

Les 927,5 N sont donc la force gravitationnelle martienne sur 250 kg

4. Énergie cinétique

800 kg à 12 m/s?

Correction: $E = 0,5 \times 800 \times 144 = 57\,600 \text{ J} = 57,6 \text{ kJ}$. Référence quantitative

La dépendance en v^2 est le point majeur: doubler la vitesse quadruple l'énergie à dissiper. Un véhicule ou un treuil peut donc rester léger tout en imposant rapidement des exigences sévères de freinage et de sécurité.

Données du cas

4. Énergie cinétique — 800 kg à 12 m/s?

Relation

Correction: $E = 0,5 \times 800 \times 144 = 57\,600 \text{ J} = 57,6 \text{ kJ}$.

Raisonnement

Correction: $E = 0,5 \times 800 \times 144 = 57\,600 \text{ J} = 57,6 \text{ kJ}$. La dépendance en v^2 est le point majeur: doubler la vitesse quadruple l'énergie à dissiper. Un véhicule ou un treuil peut donc rester léger tout en imposant rapidement des exigences sévères de freinage et de sécurité.

Résultat

$E = 0,5 \times 800 \times 144 = 57\,600 \text{ J} = 57,6 \text{ kJ}$.

Contrôle

Un véhicule ou un treuil peut donc rester léger tout en imposant rapidement des exigences sévères de freinage et de sécurité.

Interprétation

La dépendance en v^2 est le point majeur: doubler la vitesse quadruple l'énergie à dissiper.

Repères numériques conservés. 800kg · 12m.

5. Pression

65 kPa sur 0,8 m²? Référence quantitative

Correction: $F = 65\,000 \times 0,8 = 52\,000 \text{ N} = 52 \text{ kN}$. Référence quantitative

La conversion 65 kPa → 65 000 Pa rend les unités compatibles avec m². Les 52 kN sont la force totale sur la surface choisie; une paroi réelle doit ensuite distribuer cette charge dans ses attaches et sa géométrie. Référence quantitative

Données du cas

5. Pression — 65 kPa sur 0,8 m²?

Relation

Correction: $F = 65\,000 \times 0,8 = 52\,000 \text{ N} = 52 \text{ kN}$.

Raisonnement

Correction: $F = 65\,000 \times 0,8 = 52\,000 \text{ N} = 52 \text{ kN}$. La conversion 65 kPa → 65 000 Pa rend les unités compatibles avec m². Les 52 kN sont la force totale sur la surface choisie; une paroi réelle doit ensuite distribuer cette charge dans ses attaches et sa géométrie.

Résultat

$F = 65\,000 \times 0,8 = 52\,000 \text{ N} = 52 \text{ kN}$.

Interprétation

une paroi réelle doit ensuite distribuer cette charge dans ses attaches et sa géométrie.

Repères numériques conservés. 0,8m².

6. Débit

0,0015 m³/s d'eau pendant 20 min? Référence quantitative

Correction: $V=1,8 \text{ m}^3$; masse $\approx 1\,800 \text{ kg}$. Référence quantitative

Données du cas

6. Débit — $0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$ d'eau pendant 20 min?

Relation

Correction: $V=1,8 \text{ m}^3$

Raisonnement

Correction: $V=1,8 \text{ m}^3$; masse $\approx 1\,800 \text{ kg}$.

Résultat

$V=1,8 \text{ m}^3$

Repères numériques conservés. $0,0015 \text{ m}^3 \cdot 20 \text{ min}$.

7. Gaz

À volume fixe, $280 \text{ K} \rightarrow 300 \text{ K}$: ratio de pression? Référence quantitative

Correction: $p_2/p_1=300/280 \approx 1,071$, soit $+7,1 \%$ idéalement. Référence quantitative

À volume et quantité de gaz constants, la pression absolue suit la température absolue. Le $+7,1 \%$ n'est valable que si le volume reste fixe et si le gaz se comporte assez près du modèle idéal.

Données du cas

7. Gaz — À volume fixe, $280 \text{ K} \rightarrow 300 \text{ K}$: ratio de pression?

Relation

Correction: $p_2/p_1=300/280 \approx 1,071$, soit $+7,1 \%$ idéalement.

Raisonnement

Correction: $p_2/p_1=300/280 \approx 1,071$, soit $+7,1 \%$ idéalement. À volume et quantité de gaz constants, la pression absolue suit la température absolue. Le $+7,1 \%$ n'est valable que si le volume reste fixe et si le gaz se comporte assez près du modèle idéal.

Résultat

$p_2/p_1=300/280 \approx 1,071$, soit $+7,1 \%$ idéalement.

Contrôle

Le $+7,1 \%$ n'est valable que si le volume reste fixe et si le gaz se comporte assez près du modèle idéal.

Interprétation

À volume et quantité de gaz constants, la pression absolue suit la température absolue.

Repères numériques conservés. $280 \text{ k} \cdot 300 \text{ k}$.

8. Capstone énergie

Un rover consomme 14 kW traction $+3 \text{ kW}$ habitat pendant 5 h. Batterie utile 100 kWh , réserve exigée 20% . Mission faisable sans recharge? Référence quantitative

Correction: Besoin $= 17 \times 5 = 85 \text{ kWh}$. Énergie utilisable si 20% de réserve sur $100 \text{ kWh} = 80 \text{ kWh}$. Non: il manque 5 kWh avant même les pertes et variations. Il faut réduire durée/puissance, augmenter capacité ou recharger. Référence quantitative

Le déficit de 5 kWh apparaît avant rendement, froid, vieillissement ou pics de puissance: le scénario est donc déjà non viable. Une réserve opérationnelle n'est pas une décoration du calcul mais une contrainte à conserver jusqu'à la décision. Référence quantitative

Problèmes avancés supplémentaires

1. Freinage

1 200 kg de 10 à 0 m/s: énergie cinétique à dissiper?

Correction raisonnée: $0,5 \times 1\,200 \times 100 = 60$ kJ, hors pente et rotation des roues. Référence quantitative

Données du cas

1. Freinage — 1 200 kg de 10 à 0 m/s: énergie cinétique à dissiper?

Relation

1 200 kg de 10 à 0 m/s: énergie cinétique à dissiper?

Raisonnement

Correction raisonnée: $0,5 \times 1\,200 \times 100 = 60$ kJ, hors pente et rotation des roues.

Résultat

$0,5 \times 1\,200 \times 100 = 60$ kJ, hors pente et rotation des roues.

Repères numériques conservés. 200kg.

2. Puissance pompe

Une pompe fournit 2 kW hydrauliques à 70 % de rendement. Puissance électrique idéale?

Correction raisonnée: $2/0,70 \approx 2,86$ kW. Référence quantitative

Diviser la puissance hydraulique utile par 0,70 remonte vers la puissance électrique d'entrée. Le rendement doit rester compris entre 0 et 1; l'écart devient chaleur et pertes qu'il faudra aussi évacuer.

Données du cas

2. Puissance pompe — Une pompe fournit 2 kW hydrauliques à 70 % de rendement. Puissance électrique idéale?

Raisonnement

Correction raisonnée: $2/0,70 \approx 2,86$ kW. Diviser la puissance hydraulique utile par 0,70 remonte vers la puissance électrique d'entrée. Le rendement doit rester compris entre 0 et 1; l'écart devient chaleur et pertes qu'il faudra aussi évacuer.

Résultat

$2/0,70 \approx 2,86$ kW.

Contrôle

Le rendement doit rester compris entre 0 et 1

Interprétation

Diviser la puissance hydraulique utile par 0,70 remonte vers la puissance électrique d'entrée.

Repères numériques conservés. 2kw.

3. Chauffage eau

50 kg d'eau, +30 K, $c=4,18$ kJ/kg/K. Référence quantitative

Correction raisonnée: $Q \approx 6,27$ MJ $\approx 1,74$ kWh avant pertes. Référence quantitative

Le calcul calorifique utilise $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$ avec un c supposé constant. Les 6,27 MJ sont une énergie thermique idéale; isolation, pertes de tuyauterie et rendement du chauffage augmenteraient l'énergie électrique demandée. Référence quantitative

Données du cas

3. Chauffage eau — 50 kg d'eau, +30 K, $c=4,18$ kJ/kg/K.

Relation

Le calcul calorifique utilise $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$ avec un c supposé constant.

Raisonnement

Correction raisonnée: $Q \approx 6,27$ MJ $\approx 1,74$ kWh avant pertes. Le calcul calorifique utilise $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$ avec un c supposé constant. Les 6,27 MJ sont une énergie thermique idéale; isolation, pertes de tuyauterie et rendement

du chauffage augmenteraient l'énergie électrique demandée.

Résultat

$Q \approx 6,27 \text{ MJ} \approx 1,74 \text{ kWh}$ avant pertes.

Interprétation

isolation, pertes de tuyauterie et rendement du chauffage augmenteraient l'énergie électrique demandée.

Repères numériques conservés. 50kg · +30k.

4. Mini-projet électrique

Charge 3 kW sur bus 120 V pendant 4 h: courant idéal et énergie? Référence quantitative

Correction raisonnée: $I=P/V=25 \text{ A}$; $E=12 \text{ kWh}$. Le câble se dimensionne sur courant et transitoires, la batterie sur énergie et puissance. Référence quantitative

Courant et énergie répondent à deux contraintes différentes. Les 25 A concernent câbles, protections et convertisseurs; les 12 kWh concernent la capacité stockée. Une batterie doit satisfaire les deux simultanément. Référence quantitative

Données du cas

4. Mini-projet électrique — Charge 3 kW sur bus 120 V pendant 4 h: courant idéal et énergie?

Relation

$E=12 \text{ kWh}$.

Raisonnement

Correction raisonnée: $I=P/V=25 \text{ A}$; $E=12 \text{ kWh}$. Le câble se dimensionne sur courant et transitoires, la batterie sur énergie et puissance. Courant et énergie répondent à deux contraintes différentes. Les 25 A concernent câbles, protections et convertisseurs; les 12 kWh concernent la capacité stockée. Une batterie doit satisfaire les deux simultanément.

Résultat

$I=P/V=25 \text{ A}$

Interprétation

Une batterie doit satisfaire les deux simultanément.

Repères numériques conservés. 3kw.

Sources et références

Les sources fixent les définitions physiques et le contexte martien. Les études de chariot, paroi, chauffage et centrifugeuse sont des modèles pédagogiques explicitement simplifiés.

- [NIST — Definitions of SI Base Units](#) — SI base units and exact defining constants.
- [NASA Glenn — Newton and forces](#) — Newtonian force and motion fundamentals.
- [NASA Glenn — Pressure](#) — Pressure as force distributed over area.
- [NASA Glenn — Equation of State](#) — Ideal-gas relation and state variables.
- [NASA Glenn — Mars](#) — Source primaire ou institutionnelle utilisée pour les définitions, le statut technologique ou les données du module.

Matrice de compétences FR ↔ EN

Cette matrice vérifie compétence par compétence la couverture intellectuelle FR ↔ EN des mini-leçons canoniques.

Compétence	Français	English	Statut
01	Vitesse moyenne et accélération moyenne	Average velocity and average acceleration	PASS
02	Deuxième loi de Newton : force nette et accélération	Newton's second law: net force and acceleration	PASS
03	Masse et poids dans un champ gravitationnel	Mass and weight in a gravitational field	PASS
04	Énergie cinétique	Kinetic energy	PASS
05	Travail d'une force constante alignée	Work by a constant aligned force	PASS
06	Rendement de conversion de puissance	Power-conversion efficiency	PASS
07	Énergie d'entrée avec rendement	Input energy with efficiency	PASS
08	Force due à une différence de pression	Force from a pressure difference	PASS
09	Débit massique à partir du débit volumique	Mass flow from volumetric flow	PASS
10	Bilan dynamique d'un stock	Dynamic inventory mass balance	PASS
11	Gaz parfait : pression, volume, quantité et température	Ideal gas: pressure, volume, amount and temperature	PASS
12	Énergie requise par une charge critique	Critical-load energy requirement	PASS
13	Chaleur sensible	Sensible heat	PASS
14	Accélération centripète et vitesse angulaire	Centripetal acceleration and angular speed	PASS
15	Loi d'Ohm et puissance électrique	Ohm's law and electrical power	PASS
16	Pertes Joule dans une résistance	Resistive Joule losses	PASS