

Je pars de zéro: nombres, unités et ordres de grandeur

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Je pars de zéro: nombres, unités et ordres de grandeur: comment « Lire un nombre avant de calculer » agit-il sur « Les unités SI sont une grammaire », et quel repère issu de « Préfixes et facteurs mille » permet de vérifier la décision?

Intuition. Un nombre ne devient utile que lorsque l'on sait ce qu'il mesure. Trois kilogrammes, trois mètres et trois kilowatts ne répondent à aucune question commune.

1

Lire un nombre avant de calculer

Un nombre ne devient utile que lorsque l'on sait ce qu'il mesure.

2

Les unités SI sont une grammaire

Le mètre mesure la longueur, le kilogramme la masse, la seconde la durée, l'ampère le courant, le kelvin la température thermodynamique, la mole la quantité de matière et la candela l'intensité lumineuse.

3

Préfixes et facteurs mille

milli signifie 10^{-3} , kilo 10^3 , méga 10^6 et giga 10^9 . [Référence canonique.](#)

Repère concret. 0,1 est un dixième, 0,01 un centième et 0,001 un millième.

- Lire un nombre avant de calculer — Un nombre ne devient utile que lorsque l'on sait ce qu'il mesure.
- Les unités SI sont une grammaire — Le mètre mesure la longueur, le kilogramme la masse, la seconde la durée, l'ampère le courant, le kelvin la température thermodynamique, la mole la quantité de matière et la...
- Préfixes et facteurs mille — milli signifie 10^{-3} , kilo 10^3 , méga 10^6 et giga 10^9 . [Référence canonique.](#)



Quatre repères à maîtriser — Je pars de zéro: nombres, unités et ordres de grandeur

Les unités SI sont une grammaire

Définition

Le mètre mesure la longueur, le kilogramme la masse, la seconde la durée, l'ampère le courant, le kelvin la température thermodynamique, la mole la quantité de matière et la candela l'intensité lumineuse. Les unités dérivées recombinent ces briques: N pour la force, J pour l'énergie, W pour la puissance et Pa pour la pression.

Intuition ou cas concret

Les unités participent au raisonnement.

Repère quantitatif

Les unités dérivées recombinent ces briques: N pour la force, J pour l'énergie, W pour la puissance et Pa pour la pression.

Limite ou critère de vigilance

Imaginez une équipe qui reçoit trois données: une cuve contient 2,4 m³ d'eau, une pompe débite 18 L/min et une panne impose de disposer de 1 200 kg d'eau utilisable. [Référence canonique](#).

Exercice guidé — Les unités SI sont une grammaire

Cas « Les unités SI sont une grammaire » — Les unités participent au raisonnement. Repère: Les unités dérivées recombinent ces briques: N pour la force, J pour l'énergie, W pour la puissance et Pa pour la pression. Réserve: Imaginez une équipe qui reçoit trois données: une cuve contient 2,4 m³ d'eau, une pompe débite 18 L/min et une panne impose de disposer de 1 200 kg d'eau utilisable. [Référence canonique](#).

Corrigé raisonné — Les unités SI sont une grammaire

Point de départ

Le mètre mesure la longueur, le kilogramme la masse, la seconde la durée, l'ampère le courant, le kelvin la température thermodynamique, la mole la quantité de matière et la candela l'intensité lumineuse. Les unités dérivées recombinent ces briques: N pour la force, J pour l'énergie, W pour la puissance et Pa pour la pression.

Indice du cas

Les unités dérivées recombinent ces briques: N pour la force, J pour l'énergie, W pour la puissance et Pa pour la pression.

Réserve à appliquer

Imaginez une équipe qui reçoit trois données: une cuve contient 2,4 m³ d'eau, une pompe débite 18 L/min et une panne impose de disposer de 1 200 kg d'eau utilisable. [Référence canonique](#).

Conclusion

Une pression de 70 kPa vaut 70 000 Pa, donc 70 000 N/m². [Référence canonique](#).

Puissances de dix et ordre de grandeur

Définition

La notation scientifique écrit un nombre $a \times 10^n$ avec un coefficient a compris en valeur absolue entre 1 et 10. 45 000 = $4,5 \times 10^4$; 0,00045 = $4,5 \times 10^{-4}$. [Leçon canonique](#).

Intuition ou cas concret

L'ordre de grandeur est une estimation de l'échelle.

Repère quantitatif

La notation scientifique écrit un nombre $a \times 10^n$ avec un coefficient a compris en valeur absolue entre 1 et 10. [Leçon canonique](#).

Limite ou critère de vigilance

Si une incertitude de densité du régolithe change la masse de $\pm 20\%$, discuter la troisième décimale du débit n'a aucun intérêt.

Exercice guidé — Puissances de dix et ordre de grandeur

Cas « Puissances de dix et ordre de grandeur » — L'ordre de grandeur est une estimation de l'échelle. Repère: La notation scientifique écrit un nombre $a \times 10^n$ avec un coefficient a compris en valeur absolue entre 1 et 10. Réserve: Si une

incertitude de densité du régolithe change la masse de $\pm 20\%$, discuter la troisième décimale du débit n'a aucun intérêt.
[Leçon canonique.](#)

Corrigé raisonné — Puissances de dix et ordre de grandeur

Point de départ

La notation scientifique écrit un nombre $a \times 10^n$ avec un coefficient a compris en valeur absolue entre 1 et 10. $45\,000 = 4,5 \times 10^4$; $0,00045 = 4,5 \times 10^{-4}$. [Leçon canonique.](#)

Indice du cas

La notation scientifique écrit un nombre $a \times 10^n$ avec un coefficient a compris en valeur absolue entre 1 et 10. [Leçon canonique.](#)

Réserve à appliquer

Si une incertitude de densité du régolithe change la masse de $\pm 20\%$, discuter la troisième décimale du débit n'a aucun intérêt.

Conclusion

Elle permet de comparer rapidement 3×10^2 kg, 3×10^5 kg et 3×10^8 kg sans perdre les trois ordres de grandeur qui les séparent. [Référence canonique.](#)

Incertitude et chiffres significatifs

Définition

Une mesure n'est pas infiniment précise. NIST formalise l'incertitude comme une information sur la dispersion raisonnablement attribuable au mesurande.

Intuition ou cas concret

Si un scénario suppose 20 kg/personne/jour, le résultat 14,600000 t/an n'est pas plus vrai que 14,6 t/an.

Repère quantitatif

Une mesure de $10,0 \pm 0,2$ kg exprime autre chose qu'une exigence « au moins 10 kg ».

Limite ou critère de vigilance

NIST formalise l'incertitude comme une information sur la dispersion raisonnablement attribuable au mesurande.

Exercice guidé — Incertitude et chiffres significatifs

Cas « Incertitude et chiffres significatifs » — Si un scénario suppose 20 kg/personne/jour, le résultat 14,600000 t/an n'est pas plus vrai que 14,6 t/an. Repère: Une mesure de $10,0 \pm 0,2$ kg exprime autre chose qu'une exigence « au moins 10 kg ».

Réserve: NIST formalise l'incertitude comme une information sur la dispersion raisonnablement attribuable au mesurande.

Corrigé raisonné — Incertitude et chiffres significatifs

Point de départ

Une mesure n'est pas infiniment précise. NIST formalise l'incertitude comme une information sur la dispersion raisonnablement attribuable au mesurande.

Indice du cas

Une mesure de $10,0 \pm 0,2$ kg exprime autre chose qu'une exigence « au moins 10 kg ».

Réserve à appliquer

Une incertitude décrit la dispersion associée à une mesure; elle ne doit pas être confondue avec une marge de sécurité ni avec une tolérance contractuelle.

Conclusion

Pour $10,0 \pm 0,2$ kg, la décision doit considérer un intervalle de mesure et non traiter 10,0 kg comme une valeur exacte. Plus la marge disponible est proche de l'incertitude, moins la conclusion est robuste.

Cinq questions de contrôle

Définition

Avant d'accepter un résultat: l'unité finale répond-elle à la question? le signe est-il possible?

Intuition ou cas concret

Un calcul d'ingénierie est donc une courte démonstration: données, symboles, unités, opération, résultat, contrôle et sens physique.

Repère quantitatif

La fiabilité du raisonnement est le vrai objectif du module 00.

Limite ou critère de vigilance

l'hypothèse dominante est-elle visible?

Exercice guidé — Cinq questions de contrôle

Cas « Cinq questions de contrôle » — Un calcul d'ingénierie est donc une courte démonstration: données, symboles, unités, opération, résultat, contrôle et sens physique. Repère: La fiabilité du raisonnement est le vrai objectif du module 00.

Réserve: l'hypothèse dominante est-elle visible?

Corrigé raisonné — Cinq questions de contrôle

Point de départ

Avant d'accepter un résultat: l'unité finale répond-elle à la question? le signe est-il possible?

Indice du cas

La fiabilité du raisonnement est le vrai objectif du module 00.

Réserve à appliquer

Un résultat peut avoir la bonne unité tout en étant faux: il faut aussi contrôler le signe, l'ordre de grandeur, l'hypothèse dominante et la cohérence avec un calcul indépendant.

Conclusion

Une fiche de quart exploitable indique donc la nature de la donnée, la conversion effectuée, le résultat avec unité, le contrôle d'ordre de grandeur et la limite de validité avant toute décision.



Ce module suppose volontairement que les mathématiques peuvent être un souvenir lointain. Sur Mars, une erreur de facteur mille peut déformer un stock, un filtre ou un budget énergétique; on commence donc par apprendre à lire les nombres avec leurs unités.

La méthode reste simple: identifier la grandeur, conserver l'unité, convertir explicitement, estimer l'ordre de grandeur, puis calculer. Elle transforme la calculatrice en instrument de vérification plutôt qu'en oracle.

1. Lire un nombre avant de calculer

Un nombre ne devient utile que lorsque l'on sait ce qu'il mesure. Trois kilogrammes, trois mètres et trois kilowatts ne répondent à aucune question commune. Le premier réflexe consiste donc à garder l'unité attachée à la valeur. La virgule décimale française, le point décimal anglais et les séparateurs de milliers ne doivent jamais masquer l'échelle physique.

0,1 est un dixième, 0,01 un centième et 0,001 un millième. Entre 0,003 et 3 000 se trouve un facteur un million. Cette distance d'échelle est plus importante que le nombre de chiffres affichés.

Exercice 1

Classez 0,003; 0,3; 3; 30; 3 000 et calculez le rapport entre les extrêmes.

Correction: $0,003 < 0,3 < 3 < 30 < 3\,000$; $3\,000 / 0,003 = 1\,000\,000$, soit six ordres de grandeur. [Référence canonique.](#)

Données du cas

Exercice 1 — Classez 0,003; 0,3; 3; 30; 3 000 et calculez le rapport entre les extrêmes.

Relation

$3\,000 / 0,003 = 1\,000\,000$, soit six ordres de grandeur. [Référence canonique.](#)

Raisonnement

Correction: $0,003 < 0,3 < 3 < 30 < 3\,000$; $3\,000 / 0,003 = 1\,000\,000$, soit six ordres de grandeur. [Référence canonique.](#)

Résultat

$0,003 < 0,3 < 3 < 30 < 3\,000$

Interprétation

Correction: $0,003 < 0,3 < 3 < 30 < 3\,000$

Pourquoi cette idée compte

Une valeur n'est exploitable que si l'on sait quelle grandeur elle représente, avec quelle unité et à quel endroit du système elle s'applique. Pression, masse, [débit](#), concentration et énergie ne peuvent pas être additionnés parce qu'ils n'ont pas la même dimension.

La limite NASA 2026 de $0,1 \text{ mg/m}^3$ pour les particules martiennes $<10 \text{ }\mu\text{m}$ implique, dans 100 m^3 d'air parfaitement homogène, 10 mg de [poussière](#) en suspension à cette moyenne. [Référence canonique.](#)

Masse contenue dans un volume

$$M = C \times V$$

1 — Question concrète

Que donne la multiplication prescrite par « $M = C \times V$ » pour M?

2 — Intuition sans symboles

Une concentration devient une masse totale lorsqu'on la rapporte au volume réellement concerné

3 — Grandeurs

M («ème»): masse; C («cé»): concentration massique; V («vé»): volume

4 — Formule

$$M = C \times V$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: «M égale C multiplié par V».

6 — Symboles et sens

M («ème»): masse; C («cé»): concentration massique; V («vé»): volume

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Masse $\rightarrow$ kg; concentration massique $\rightarrow$ kg/m^3 ; volume $\rightarrow$ m^3 .

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Dans «Pourquoi cette idée compte», M résulte du produit $C \times V$. La multiplication est justifiée parce que les facteurs représentent des effets qui se composent dans ce modèle.

11 — Hypothèses

Cette relation suppose une concentration homogène sur le volume retenu.

12 — Contrôle d'unités

Masse $\rightarrow$ kg; concentration massique $\rightarrow$ kg/m³; volume $\rightarrow$ m³. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec $C = 0,12$ mg/m³ et $V = 120$ m³, $M = C \times V = 0,12 \times 120 = 14,4$ mg.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Un calcul inverse doit reconstruire l'une des données de départ à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Comparer les puissances de dix des facteurs de $C \times V$; leur somme d'exposants donne l'ordre de grandeur probable de M.

17 — Interprétation

La relation « $M = C \times V$ » sert ici le raisonnement de «Pourquoi cette idée compte»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Tester un facteur de $C \times V$ à la fois: une hausse de k % se transmet à M avec le même pourcentage lorsque tous les autres restent constants.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Une concentration vaut 0,12 mg/m³ dans 120 m³ d'air. Calculez la masse totale de poussière.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$M = C \times V = 0,12 \times 120 = 14,4$ mg. L'unité m³ s'annule avec /m³ : le résultat est bien une masse.

Exercice autonome. Refaites le calcul avec 0,08 mg/m³ dans 75 m³.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$M = 0,08 \times 75 = 6,0$ mg. À volume plus faible et concentration plus faible, la masse totale diminue logiquement.

21 — Décision mission

Elle transforme une mesure locale en inventaire utile pour filtration, exposition ou bilan de matière.

La concentration moyenne ne décrit ni un pic local près d'un sas ni la dose réellement inhalée par une personne.

2. Les unités SI sont une grammaire

Le mètre mesure la longueur, le kilogramme la masse, la seconde la durée, l'ampère le courant, le kelvin la température thermodynamique, la mole la quantité de matière et la candela l'intensité lumineuse. Les unités dérivées recombinent ces briques: N pour la force, J pour l'énergie, W pour la puissance et Pa pour la pression.

Les unités participent au raisonnement. Une distance divisée par un temps donne m/s; une **force** divisée par une surface donne $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$. Un résultat dont les dimensions ne correspondent pas à la question est faux avant même que l'on examine ses décimales. [Référence canonique](#).

Grandeur	Unité	Sens
masse	kg	inertie
force	$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ Référence canonique .	accélère une masse
énergie	J	quantité transférable
puissance	$\text{W} = \text{J/s}$ Référence canonique .	débit d'énergie
pression	$\text{Pa} = \text{N/m}^2$ Référence canonique .	force par surface

Atelier — tenir un journal d'unités

Imaginez une équipe qui reçoit trois données: une cuve contient $2,4 \text{ m}^3$ d'eau, une pompe débite 18 L/min et une panne impose de disposer de $1\,200 \text{ kg}$ d'eau utilisable. La première erreur serait de comparer directement $2,4$, 18 et $1\,200$. On transforme tout dans un langage commun. Avec une **densité** pédagogique de l'eau égale à $1\,000 \text{ kg/m}^3$, $2,4 \text{ m}^3$ correspondent à environ $2\,400 \text{ kg}$. Le débit de 18 L/min vaut $0,018 \text{ m}^3/\text{min}$, donc environ 18 kg/min . La réserve est donc deux fois le besoin de $1\,200 \text{ kg}$, tandis que la pompe mettrait environ $66,7$ minutes à transférer $1\,200 \text{ kg}$ si le débit restait constant. Chaque conclusion vient d'une conversion visible, pas d'une intuition. [Référence canonique](#).

Un journal d'unités note pour chaque valeur: symbole, grandeur physique, unité d'entrée, unité de travail, source et précision. Cette habitude paraît lente au début, mais elle évite les erreurs de facteurs mille et les mélanges masse-volume. Dans un projet martien, le même tableau peut contenir kg d'eau, kg/j de perte, kW électriques et kWh de stockage. Les nombres deviennent comparables seulement après avoir défini ce qu'ils représentent.

Chaîner volume, densité et débit

$2,4 \text{ m}^3 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 2\,400 \text{ kg}$; $1\,200 \text{ kg} \div 18 \text{ kg/min} \approx 66,7 \text{ min}$

- 1 — Question concrète
Comment enchaîner correctement les relations réunies dans « $2,4 \text{ m}^3 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 2\,400 \text{ kg}$; $1\,200 \text{ kg} \div 18 \text{ kg/min} \approx 66,7 \text{ min}$ » pour «2. Les unités SI sont une grammaire»?
- 2 — Intuition sans symboles
Un problème de terrain se résout souvent en convertissant d'abord un volume en masse, puis cette masse en durée de traitement
- 3 — Grandeurs
Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique
- 4 — Formule
 $2,4 \text{ m}^3 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 2\,400 \text{ kg}$; $1\,200 \text{ kg} \div 18 \text{ kg/min} \approx 66,7 \text{ min}$
- 5 — Lecture
Lecture des symboles: « $2,4 \text{ m}^3$ multiplié par $1\,000 \text{ kg}$ divisé par m^3 égale $2\,400 \text{ kg}$; $1\,200 \text{ kg}$ divisé par 18 kg divisé par min environ égal à $66,7 \text{ min}$ ».
- 6 — Symboles et sens
Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique
- 7 — Prononciation
Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.
- 8 — Unités
Suivre les unités écrites dans « $2,4 \text{ m}^3 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 2\,400 \text{ kg}$; $1\,200 \text{ kg} \div 18 \text{ kg/min} \approx 66,7 \text{ min}$ » et vérifier leur simplification jusqu'au résultat.
- 9 — Convention
Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.
- 10 — Pourquoi cette opération

Chaque sous-relation produit une information qui alimente la suivante. Les hypothèses et les unités doivent être vérifiées à chaque transition.

11 — Hypothèses

Chaque étape doit employer des unités compatibles et le débit doit rester représentatif de la phase étudiée.

12 — Contrôle d'unités

Suivre les unités écrites dans « $2,4 \text{ m}^3 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 2\,400 \text{ kg}$; $1\,200 \text{ kg} \div 18 \text{ kg/min} \approx 66,7 \text{ min}$ » et vérifier leur simplification jusqu'au résultat. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Pour $V = 3,0 \text{ m}^3$ et $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$, la masse vaut $3\,000 \text{ kg}$. Si $1\,500 \text{ kg}$ doivent ensuite être transférés à 25 kg/min , la durée vaut $1\,500/25 = 60 \text{ min}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Un calcul inverse doit reconstruire l'une des données de départ à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Estimer l'échelle après chaque sous-calcul afin de repérer immédiatement l'étape qui produit une valeur incohérente.

17 — Interprétation

La relation « $2,4 \text{ m}^3 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 2\,400 \text{ kg}$; $1\,200 \text{ kg} \div 18 \text{ kg/min} \approx 66,7 \text{ min}$ » sert ici le raisonnement de «2. Les unités SI sont une grammaire» : une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée et propager son effet étape par étape montre où la chaîne amplifie ou amortit la perturbation.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Un réservoir contient $3,0 \text{ m}^3$ d'eau à $1\,000 \text{ kg/m}^3$. On doit transférer $1\,500 \text{ kg}$ à 25 kg/min . Calculez d'abord la masse contenue, puis la durée de transfert.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$M = 3,0 \times 1\,000 = 3\,000 \text{ kg}$. Pour le transfert demandé : $t = 1\,500/25 = 60 \text{ min}$. Les deux relations sont chaînées sans mélanger leurs unités.

Exercice autonome. Même chaîne avec $1,8 \text{ m}^3$ d'eau ; transférez 900 kg à 15 kg/min .

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$M = 1,8 \times 1\,000 = 1\,800 \text{ kg}$; $t = 900/15 = 60 \text{ min}$. La masse totale disponible dépasse bien la masse transférée.

21 — Décision mission

La chaîne permet de vérifier si une ressource ou une opération tient dans le temps disponible.

Lecture physique

Le SI fournit une grammaire commune : le mètre décrit une longueur, le kilogramme une masse, la seconde un temps, l'ampère un courant, le kelvin une température thermodynamique, la **mole** une quantité de matière et la candela une intensité lumineuse. Les unités dérivées rendent visibles les relations physiques.

Une pression de 70 kPa vaut $70\,000 \text{ Pa}$, donc $70\,000 \text{ N/m}^2$. Sur une porte de $1,2 \text{ m}^2$, la force idéale liée à cette différence de pression vaut 84 kN . [Référence canonique](#).

Force due à une différence de pression

$$F = \Delta P \times A$$

1 — Question concrète

Que donne la multiplication prescrite par « $F = \Delta P \times A$ » pour F ?

2 — Intuition sans symboles

Une pression appliquée sur une surface crée une charge mécanique globale qu'une porte, une paroi ou une fixation doit reprendre

3 — Grandeurs

F («*e*ffe»): force; ΔP («*delta* *P*»): différence de pression; A («*a*»): aire

4 — Formule

$$F = \Delta P \times A$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: « F égale ΔP multiplié par A ».

6 — Symboles et sens

F («*e*ffe»): force; ΔP («*delta* *P*»): différence de pression; A («*a*»): aire

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Force $\rightarrow$ N; différence de pression $\rightarrow$ Pa; aire ou surface $\rightarrow$ m².

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Dans «Lecture physique», F résulte du produit $\Delta P \times A$. La multiplication est justifiée parce que les facteurs représentent des effets qui se composent dans ce modèle.

11 — Hypothèses

La différence de pression doit être celle qui agit réellement sur la surface considérée.

12 — Contrôle d'unités

Force $\rightarrow$ N; différence de pression $\rightarrow$ Pa; aire ou surface $\rightarrow$ m². Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Exemple de contrôle issu du passage: Une pression de 70 kPa vaut 70 000 Pa, donc 70 000 N/m². Sur une porte de 1,2 m², la force idéale liée à cette différence de pression vaut 84 kN.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Le contrôle indépendant consiste à réinjecter le résultat dans la relation de départ.

16 — Estimation mentale

Comparer les puissances de dix des facteurs de $\Delta P \times A$; leur somme d'exposants donne l'ordre de grandeur probable de F .

17 — Interprétation

La relation « $F = \Delta P \times A$ » sert ici le raisonnement de «Lecture physique»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Tester un facteur de $\Delta P \times A$ à la fois: une hausse de k % se transmet à F avec le même pourcentage lorsque tous les autres restent constants.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Une trappe de 1,5 m² subit 65 kPa de différence de pression. Calculez la force idéale.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$65 \text{ kPa} = 65\,000 \text{ Pa}$. $F = \Delta P \times A = 65\,000 \times 1,5 = 97\,500 \text{ N}$, soit $97,5 \text{ kN}$.

Exercice autonome. Calculez la force pour 50 kPa sur $0,8 \text{ m}^2$.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$F = 50\,000 \times 0,8 = 40\,000 \text{ N} = 40 \text{ kN}$. Une aire plus petite réduit proportionnellement la force.

21 — Décision mission

Le calcul convertit une condition atmosphérique en exigence de structure ou de mécanisme.

Le calcul donne une résultante, pas les contraintes détaillées dans les charnières, joints ou renforts.

3. Préfixes et facteurs mille

milli signifie 10^{-3} , kilo 10^3 , méga 10^6 et giga 10^9 . La casse compte: mW et MW diffèrent d'un facteur un milliard. Pour convertir sans mémoire fragile, écrivez un facteur égal à un: $2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 2\,500 \text{ g}$. Les kg se simplifient comme des symboles algébriques. [Référence canonique](#).

Conversion par facteur d'unité

$$2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 2\,500 \text{ g}$$

1 — Question concrète

Que relie précisément « $2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 2\,500 \text{ g}$ » dans «3. Préfixes et facteurs mille» et comment déterminer $2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg})$?

2 — Intuition sans symboles

Une conversion fiable remplace une unité par une autre sans changer la quantité physique

3 — Grandeurs

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

4 — Formule

$$2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 2\,500 \text{ g}$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: « $2,5 \text{ kg}$ multiplié par $(1\,000 \text{ g} \text{ divisé par } 1 \text{ kg})$ égale $2\,500 \text{ g}$ ».

6 — Symboles et sens

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Suivre les unités écrites dans « $2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 2\,500 \text{ g}$ » et vérifier leur simplification jusqu'au résultat.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

La relation établit une correspondance directe entre ses grandeurs. On suit l'égalité telle qu'elle est définie et on isole $2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg})$ sans ajouter d'opération non justifiée.

11 — Hypothèses

Le facteur de conversion doit être exactement égal à un et les unités doivent se simplifier explicitement.

12 — Contrôle d'unités

Suivre les unités écrites dans $\ll 2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 2\,500 \text{ g} \gg$ et vérifier leur simplification jusqu'au résultat. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

$3,2 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 3\,200 \text{ g}$: l'unité kg se simplifie.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Une seconde voie de calcul ou l'opération inverse doit retrouver la grandeur initiale.

16 — Estimation mentale

Prévoir le sens de variation de $2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg})$ lorsque l'entrée principale augmente; cette tendance constitue un contrôle d'ordre de grandeur qualitatif.

17 — Interprétation

La relation $\ll 2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 2\,500 \text{ g} \gg$ sert ici le raisonnement de «3. Préfixes et facteurs mille» : une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée de $\pm 10\%$ tout en gardant les autres fixes montre comment la relation transmet cette perturbation à $2,5 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg})$.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Convertissez 3,2 kg en grammes avec un facteur d'unité.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$3,2 \text{ kg} \times (1\,000 \text{ g} / 1 \text{ kg}) = 3\,200 \text{ g}$. Le facteur vaut numériquement 1, donc la grandeur physique ne change pas.

Exercice autonome. Convertissez 4,6 L en millilitres.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$4,6 \text{ L} \times (1\,000 \text{ mL} / 1 \text{ L}) = 4\,600 \text{ mL}$. L'unité L s'annule exactement.

21 — Décision mission

Cette discipline évite qu'une erreur d'échelle contamine un bilan de masse, de dose ou de consommation.

La même méthode fonctionne avec les unités composées. Elle devient particulièrement utile lorsque kg/jour doivent devenir tonnes/an ou lorsque kW multipliés par des heures doivent devenir kWh.

Passage au calcul

Les préfixes évitent des suites de zéros mais deviennent dangereux lorsqu'on les traite comme de la typographie. Milli signifie 10^{-3} , micro 10^{-6} , kilo 10^3 et méga 10^6 . Le facteur porte sur l'unité entière. [Référence canonique](#).

$0,1 \text{ mg/m}^3$ équivaut à $100 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. Une batterie de 80 kWh stocke 80 000 Wh; en joules, $80 \times 3,6 \text{ MJ} = 288 \text{ MJ}$. L'intérêt pédagogique est de voir les unités se transformer en décision — module 00 · Passage au calcul. [Référence canonique](#).

Préfixes, énergie et échelles décimales

$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$; $0,1 \text{ mg} = 100 \text{ }\mu\text{g}$

1 — Question concrète

Comment enchaîner correctement les relations réunies dans «1 kWh = 3,6 MJ; 0,1 mg = 100 µg» pour «Passage au calcul»?

2 — Intuition sans symboles

Les préfixes et unités dérivées permettent de changer d'échelle sans perdre l'ordre de grandeur de la grandeur physique

3 — Grandeurs

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

4 — Formule

$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$; $0,1 \text{ mg} = 100 \text{ µg}$

5 — Lecture

Lecture des symboles: «1 kWh égale 3,6 MJ; 0,1 mg égale 100 µg».

6 — Symboles et sens

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Suivre les unités écrites dans «1 kWh = 3,6 MJ; 0,1 mg = 100 µg» et vérifier leur simplification jusqu'au résultat.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Chaque sous-relation produit une information qui alimente la suivante. Les hypothèses et les unités doivent être vérifiées à chaque transition.

11 — Hypothèses

La conversion doit conserver la dimension physique et utiliser un facteur exact ou explicitement défini.

12 — Contrôle d'unités

Suivre les unités écrites dans «1 kWh = 3,6 MJ; 0,1 mg = 100 µg» et vérifier leur simplification jusqu'au résultat. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Cas calculé fourni à proximité: $0,1 \text{ mg/m}^3$ équivaut à 100 µg/m^3 . Une batterie de 80 kWh stocke 80 000 Wh; en joules, $80 \times 3,6 \text{ MJ} = 288 \text{ MJ}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Une seconde voie de calcul ou l'opération inverse doit retrouver la grandeur initiale.

16 — Estimation mentale

Estimer l'échelle après chaque sous-calcul afin de repérer immédiatement l'étape qui produit une valeur incohérente.

17 — Interprétation

La relation «1 kWh = 3,6 MJ; 0,1 mg = 100 µg» sert ici le raisonnement de «Passage au calcul»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée et propager son effet étape par étape montre où la chaîne amplifie ou amortit la perturbation.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Convertissez 60 kWh en MJ et 0,25 mg en µg.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$60 \times 3,6 = 216$ MJ. Pour la masse, $0,25 \text{ mg} \times 1\,000 = 250$ μg . Les deux conversions utilisent des facteurs décimaux explicites.

Exercice autonome. Convertissez 12 kWh en MJ et 0,035 mg en μg .

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$12 \times 3,6 = 43,2$ MJ ; $0,035 \times 1\,000 = 35$ μg .

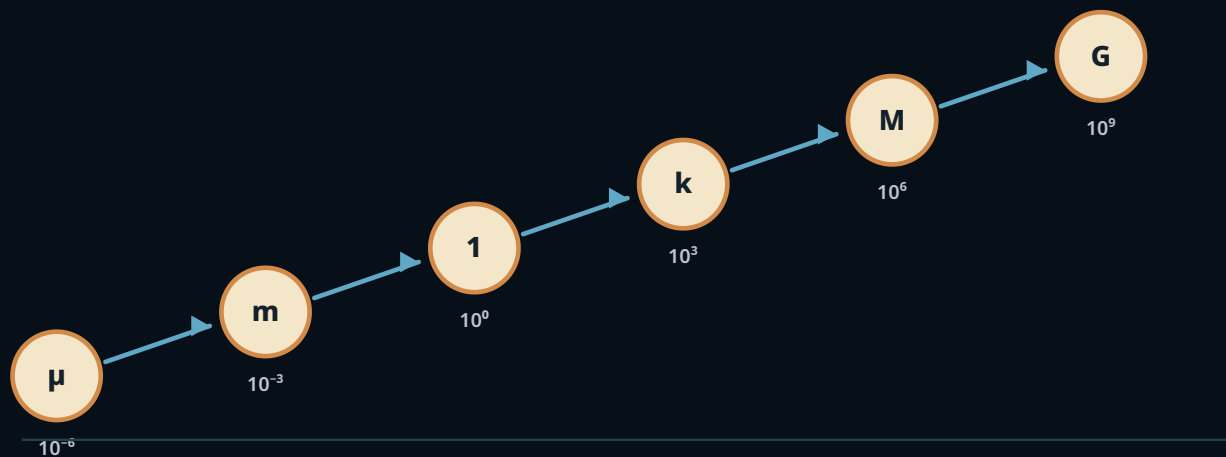
21 — Décision mission

Le but est de comparer des données provenant d'instruments ou de documents exprimés dans des unités différentes.

Confondre kW et kWh mélange un débit d'énergie et une quantité d'énergie; la faute peut dimensionner faux une batterie ou un convertisseur.

Space Academy · 00

Préfixes SI / SI prefixes



Chaque marche = facteur 1 000

Échelle des préfixes SI: passer de micro à méga sans perdre l'unité de la grandeur.

4. Puissances de dix et ordre de grandeur

La notation scientifique écrit un nombre $a \times 10^n$ avec un coefficient a compris en valeur absolue entre 1 et 10. $45\,000 = 4,5 \times 10^4$; $0,00045 = 4,5 \times 10^{-4}$. Multiplier des puissances de dix revient à additionner les exposants. [Leçon canonique](#).

L'ordre de grandeur est une estimation de l'échelle. Avant une calculatrice, remplacez 198×51 par $200 \times 50 \approx 10\,000$. Si l'écran annonce 100 ou dix millions, la saisie ou le modèle doit être revu. [Référence canonique](#).

Exercice 4

Écrivez 6 500 000 et 0,000072 en notation scientifique. [Leçon canonique](#).

Correction: $6,5 \times 10^6$ et $7,2 \times 10^{-5}$. [Référence canonique](#).

Données du cas

Deux nombres à écrire en notation scientifique: 6 500 000 et 0,000072. [Leçon canonique](#).

Relation

En notation scientifique, on écrit $a \times 10^n$ avec $1 \leq a < 10$; déplacer la virgule vers la gauche donne n positif, vers la droite n négatif. [Leçon canonique](#).

Raisonnement

Pour 6 500 000, déplacer la virgule de six rangs vers la gauche donne 6,5: on obtient $6,5 \times 10^6$. Pour 0,000072, déplacer la virgule de cinq rangs vers la droite donne 7,2: l'exposant est donc -5 , soit $7,2 \times 10^{-5}$. [Référence canonique](#).

Résultat

$6\,500\,000 = 6,5 \times 10^6$ et $0,000072 = 7,2 \times 10^{-5}$. [Référence canonique](#).

Contrôle

Dans les deux écritures, le coefficient est compris entre 1 et 10. Revenir à l'écriture décimale redonne bien 6 500 000 et 0,000072.

Interprétation

Le signe de l'exposant indique immédiatement l'échelle: un grand nombre porte ici un exposant positif, un nombre très inférieur à 1 un exposant négatif.

Atelier — ordre de grandeur avant précision

Supposons qu'un atelier doive déplacer 287 000 kg de [régolithe](#) avec une chaîne qui traite réellement 243 kg/h. Avant la division exacte, arrondissez à 300 000 kg et 250 kg/h: $300\,000 \div 250 \approx 1\,200$ h. Le calcul précis donne environ 1 181 h. Les deux réponses racontent la même histoire: il faut de l'ordre de mille heures, pas dix heures ni cent mille heures. L'estimation permet donc de détecter immédiatement une saisie de 118,1 h ou 11 810 h. [Référence canonique](#).

L'ordre de grandeur sert aussi à choisir ce qui mérite d'être modélisé. Si une [incertitude](#) de densité du régolithe change la masse de $\pm 20\%$, discuter la troisième décimale du débit n'a aucun intérêt. L'ingénieur commence par les paramètres qui déplacent réellement le résultat. C'est une façon de hiérarchiser l'effort de mesure et non une permission d'être vague.

Estimation d'ordre de grandeur d'une durée

$300\,000 / 250 \approx 1,2 \times 10^3$ h; calcul précis: $287\,000 / 243 \approx 1,18 \times 10^3$ h

1 — Question concrète

Comment enchaîner correctement les relations réunies dans « $300\,000 / 250 \approx 1,2 \times 10^3$ h; calcul précis: $287\,000 / 243 \approx 1,18 \times 10^3$ h» pour «Exercice 4»?

2 — Intuition sans symboles

Une estimation grossière permet de savoir immédiatement si un calcul détaillé se situe dans la bonne décennie

3 — Grandeurs

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

4 — Formule

$300\,000 / 250 \approx 1,2 \times 10^3$ h; calcul précis: $287\,000 / 243 \approx 1,18 \times 10^3$ h

5 — Lecture

Lecture des symboles: «300 000 divisé par 250 environ égal à 1,2 multiplié par 10^3 h; calcul précis: 287 000 divisé par 243 environ égal à 1,18 multiplié par 10^3 h».

6 — Symboles et sens

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Suivre les unités écrites dans « $300\,000 / 250 \approx 1,2 \times 10^3$ h; calcul précis: $287\,000 / 243 \approx 1,18 \times 10^3$ h» et vérifier leur simplification jusqu'au résultat.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Chaque sous-relation produit une information qui alimente la suivante. Les hypothèses et les unités doivent être vérifiées à chaque transition.

11 — Hypothèses

Les valeurs arrondies doivent rester proches des données réelles et servir seulement de contrôle indépendant.

12 — Contrôle d'unités

Suivre les unités écrites dans « $300\,000 / 250 \approx 1,2 \times 10^3$ h; calcul précis: $287\,000 / 243 \approx 1,18 \times 10^3$ h» et vérifier leur simplification jusqu'au résultat. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Application chiffrée locale conservée: Supposons qu'un atelier doive déplacer $287\,000$ kg de régolithe avec une chaîne qui traite réellement 243 kg/h. Avant la division exacte, arrondissez à $300\,000$ kg et 250 kg/h: $300\,000 \div 250 \approx 1\,200$ h. Le calcul précis donne environ $1\,181$ h. Les deux réponses racontent la même histoire: il faut de l'ordre de mille heures, pas dix heures ni cent mille heures. L'estimation permet donc de détecter immédiatement une saisie de $118,1$ h ou $11\,810$ h.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Le contrôle indépendant consiste à réinjecter le résultat dans la relation de départ.

16 — Estimation mentale

Estimer l'échelle après chaque sous-calcul afin de repérer immédiatement l'étape qui produit une valeur incohérente.

17 — Interprétation

La relation « $300\,000 / 250 \approx 1,2 \times 10^3$ h; calcul précis: $287\,000 / 243 \approx 1,18 \times 10^3$ h» sert ici le raisonnement de «Exercice 4»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée et propager son effet étape par étape montre où la chaîne amplifie ou amortit la perturbation.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Estimez puis calculez $420\,000$ kg traités à 350 kg/h.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

Ordre de grandeur : $4,2 \times 10^5 / 3,5 \times 10^2 \approx 1,2 \times 10^3$ h. Calcul exact : $420\,000 / 350 = 1\,200$ h. Les deux sont cohérents.

Exercice autonome. Estimez $96\,000$ kg à 480 kg/h.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$\approx 10^5 / (5 \times 10^2) \approx 2 \times 10^2$ h ; exact : $96\,000 / 480 = 200$ h.

21 — Décision mission

Une estimation rapide détecte une erreur de facteur dix avant qu'elle n'entre dans une décision mission.

Point de contrôle

La notation scientifique sépare le nombre significatif de son échelle. Elle permet de comparer rapidement 3×10^2 kg, 3×10^5 kg et 3×10^8 kg sans perdre les trois ordres de grandeur qui les séparent. [Leçon canonique](#).

Trois cents tonnes de régolithe valent 3×10^5 kg. À 250 kg/h, un système idéal exige $1,2 \times 10^3$ h, soit environ 50 jours continus. Un ingénieur garde séparés résultat numérique, [marge](#) et domaine de validité. [Référence canonique](#).

Durée à partir d'une masse et d'un débit

$$t = 3 \times 10^5 \text{ kg} / (2,5 \times 10^2 \text{ kg/h})$$

1 — Question concrète

Quel quotient donne $3 \times 10^5 \text{ kg}$ sur $(2,5 \times 10^2 \text{ kg/h})$ dans le calcul de t présenté à «Point de contrôle»?

2 — Intuition sans symboles

Diviser une quantité à traiter par le rythme de traitement donne le temps idéal nécessaire

3 — Grandeurs

t (« té ») : durée nécessaire pour traiter ou transférer la masse considérée au débit indiqué. Les autres éléments de l'expression sont des valeurs chiffrées avec leurs unités.

4 — Formule

$$t = 3 \times 10^5 \text{ kg} / (2,5 \times 10^2 \text{ kg/h})$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: « t égale 3 multiplié par 10^5 kg divisé par $(2,5 \text{ multiplié par } 10^2 \text{ kg divisé par h})$ ».

6 — Symboles et sens

t (« té ») : durée nécessaire pour traiter ou transférer la masse considérée au débit indiqué. Les autres éléments de l'expression sont des valeurs chiffrées avec leurs unités.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Le numérateur est une masse en kg et le dénominateur un débit massique en kg/h. Donc $\text{kg} \div (\text{kg/h}) = \text{kg} \times (\text{h/kg}) = \text{h}$: les kilogrammes se simplifient et t s'exprime en heures.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

T est obtenu en prenant $3 \times 10^5 \text{ kg}$ relativement à $(2,5 \times 10^2 \text{ kg/h})$: le calcul effectue $(3 \times 10^5 \text{ kg}) / ((2,5 \times 10^2 \text{ kg/h}))$. Cette orientation du quotient conserve l'interprétation choisie dans «Point de contrôle».

11 — Hypothèses

Le débit doit rester applicable pendant la période calculée et les arrêts doivent être traités séparément.

12 — Contrôle d'unités

Le numérateur est une masse en kg et le dénominateur un débit massique en kg/h. Donc $\text{kg} \div (\text{kg/h}) = \text{kg} \times (\text{h/kg}) = \text{h}$: les kilogrammes se simplifient et t s'exprime en heures. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Pour $M = 240\,000 \text{ kg}$ et $q = 300 \text{ kg/h}$, $t = M/q = 800 \text{ h}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Une seconde voie de calcul ou l'opération inverse doit retrouver la grandeur initiale.

16 — Estimation mentale

Avant la division exacte, arrondir grossièrement $3 \times 10^5 \text{ kg}$ et $(2,5 \times 10^2 \text{ kg/h})$ à un chiffre significatif et former leur rapport pour encadrer t .

17 — Interprétation

La relation « $t = 3 \times 10^5 \text{ kg} / (2,5 \times 10^2 \text{ kg/h})$ » sert ici le raisonnement de «Point de contrôle»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Variation utile: multiplier $3 \times 10^5 \text{ kg}$ par k multiplie t par k , tandis que multiplier $(2,5 \times 10^2 \text{ kg/h})$ par k divise t par k , toutes choses égales par ailleurs.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Calculez la durée pour traiter 240 000 kg à 300 kg/h.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$t = M/q = 240\,000/300 = 800$ h. kg se simplifie et il reste des heures.

Exercice autonome. Calculez la durée pour 150 000 kg à 250 kg/h.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$t = 150\,000/250 = 600$ h.

21 — Décision mission

Cette relation sert à vérifier si une campagne de production ou de traitement ferme dans la fenêtre disponible.

L'ordre de grandeur ne remplace pas le calcul détaillé; il sert à repérer un résultat impossible avant de lui faire confiance.

5. Fractions, ratios et pourcentages

Un **pourcentage** est une fraction sur 100. $98\% = 0,98$ et la fraction non récupérée vaut $1 - 0,98 = 0,02$. Dans un bilan de ressources, c'est souvent cette petite différence qui dimensionne l'appoint. [Référence canonique](#).

Fraction résiduelle après récupération

part restante = quantité initiale $\times$ (1 – taux récupéré)

1 — Question concrète

Que donne la multiplication prescrite par «part restante = quantité initiale $\times$ (1 – taux récupéré)» pour part restante?

2 — Intuition sans symboles

Ce qui reste après récupération est la part initiale qui n'a pas été récupérée

3 — Grandeurs

Part restante: quantité non récupérée; quantité initiale: quantité avant récupération; taux récupéré: fraction récupérée, comprise entre 0 et 1.

4 — Formule

Part restante = quantité initiale $\times$ (1 – taux récupéré)

5 — Lecture

Lecture des symboles: «part restante égale quantité initiale multiplié par (1 moins taux récupéré)».

6 — Symboles et sens

Part restante: quantité non récupérée; quantité initiale: quantité avant récupération; taux récupéré: fraction récupérée, comprise entre 0 et 1.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

La part restante a la même unité que la quantité initiale. Le taux récupéré et la fraction 1–taux récupéré sont sans dimension.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Le taux récupéré est une fraction de la quantité initiale. Sa fraction complémentaire vaut $1 - \text{taux récupéré}$; multiplier la quantité initiale par cette fraction donne la quantité non récupérée.

11 — Hypothèses

Le taux de récupération doit être exprimé comme une fraction comprise entre zéro et un et concerner le même flux.

12 — Contrôle d'unités

La part restante a la même unité que la quantité initiale. Le taux récupéré et la fraction $1 - \text{taux récupéré}$ sont sans dimension. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec 500 L au départ et $R = 0,92$, la part restante vaut $500 \times (1 - 0,92) = 40$ L.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Un calcul inverse doit reconstruire l'une des données de départ à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Comparer les puissances de dix des facteurs de quantité initiale $\times (1 - \text{taux récupéré})$; leur somme d'exposants donne l'ordre de grandeur probable de part restante.

17 — Interprétation

La relation «part restante = quantité initiale $\times (1 - \text{taux récupéré})$ » sert ici le raisonnement de «5. Fractions, ratios et pourcentages» : une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

À quantité initiale fixe, augmenter le taux récupéré réduit la part restante. Par exemple, passer de 90 % à 99 % de récupération fait passer la fraction restante de 10 % à 1 %, donc la divise par dix.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Une boucle récupère 92 % de 500 L. Quelle quantité reste à fournir ?

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

Résiduel = $500 \times (1 - 0,92) = 500 \times 0,08 = 40$ L.

Exercice autonome. Même calcul avec 320 kg et une récupération de 87,5 %.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$320 \times (1 - 0,875) = 320 \times 0,125 = 40$ kg.

21 — Décision mission

Le résultat permet de dimensionner l'appoint, les pertes et les stocks de secours.

Le mot **ratio** doit toujours préciser ce qui est comparé. Un ratio EN/FR, une fraction massique et un **rendement** ne sont pas interchangeables. Le symbole doit être défini avant d'être utilisé.

Interprétation

Une fraction décrit une part d'un tout, un ratio compare deux quantités et un pourcentage exprime une fraction sur cent. Avant toute règle de trois, il faut vérifier que la grandeur varie réellement de façon linéaire.

Avec 20 kg d'eau de procédé par personne et par jour, une récupération globale de 98 % laisse 0,4 kg/j d'appoint par personne; à 94 %, la perte devient 1,2 kg/j. Pour 100 personnes, l'écart annuel atteint 29,2 t dans cet exemple pédagogique.

Besoin d'appoint d'une boucle de récupération

$$M_{\text{appoint}} = q N (1-R)$$

1 — Question concrète

Que donne la multiplication prescrite par « $M_{\text{appoint}} = q N (1-R)$ » pour M_{appoint} ?

2 — Intuition sans symboles

L'appoint dépend de la consommation brute, du nombre d'usagers et surtout de la fraction qui n'est pas récupérée

3 — Grandeurs

M_{appoint} (« M_{appoint} »): masse d'appoint à fournir par unité de temps; q (« ku »): consommation brute par personne et par unité de temps; N (« $enne$ »): nombre de personnes servies; R (« $erre$ »): taux de récupération sans dimension

4 — Formule

$$M_{\text{appoint}} = q N (1-R)$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: « $M_{\text{indice appoint}} \text{ égale } q N (1 \text{ moins } R)$ ».

6 — Symboles et sens

M_{appoint} (« M_{appoint} »): masse d'appoint à fournir par unité de temps; q (« ku »): consommation brute par personne et par unité de temps; N (« $enne$ »): nombre de personnes servies; R (« $erre$ »): taux de récupération sans dimension

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Si q est en $\text{kg}/(\text{personne} \cdot \text{j})$, N est un nombre de personnes et R est sans dimension, alors M_{appoint} est en kg/j . Le même raisonnement vaut pour un débit volumique si q est exprimé en $\text{L}/(\text{personne} \cdot \text{j})$.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

On calcule d'abord le besoin brut du groupe $q \times N$. La fraction récupérée vaut R ; la fraction perdue à remplacer vaut donc $1-R$. L'appoint est exactement le produit $q \times N \times (1-R)$, jamais une soustraction entre q , N et R .

11 — Hypothèses

La récupération doit être mesurée sur le même périmètre temporel et matériel que la consommation.

12 — Contrôle d'unités

Si q est en $\text{kg}/(\text{personne} \cdot \text{j})$, N est un nombre de personnes et R est sans dimension, alors M_{appoint} est en kg/j . Le même raisonnement vaut pour un débit volumique si q est exprimé en $\text{L}/(\text{personne} \cdot \text{j})$. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Pour $q = 3,5 \text{ L}/(\text{personne} \cdot \text{j})$, $N = 20$ et $R = 0,90$, $M_{\text{appoint}} = 3,5 \times 20 \times 0,10 = 7 \text{ L}/\text{j}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Le contrôle indépendant consiste à réinjecter le résultat dans la relation de départ.

16 — Estimation mentale

Comparer les puissances de dix des facteurs de $q N (1-R)$; leur somme d'exposants donne l'ordre de grandeur probable de M_{appoint} .

17 — Interprétation

La relation « $M_{\text{appoint}} = q N (1-R)$ » sert ici le raisonnement de «Interprétation»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

À q et N fixes, l'appoint est proportionnel à $1-R$: si R passe de 0,90 à 0,99, la fraction perdue passe de 0,10 à 0,01 et l'appoint est divisé par dix. À R fixe, +10 % sur q ou sur N donne +10 % sur M_{appoint} .

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Une consommation brute est de 3,5 L/personne/j pour 20 personnes, avec 90 % de récupération. Calculez l'appoint.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$$M_{\text{appoint}} = qN(1-R) = 3,5 \times 20 \times 0,10 = 7 \text{ L/j.}$$

Exercice autonome. Avec $q = 4$ L/personne/j, $N = 12$ et $R = 0,85$, calculez l'appoint.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$$4 \times 12 \times 0,15 = 7,2 \text{ L/j.}$$

21 — Décision mission

Cette relation convertit une performance de recyclage en masse qu'il faut réellement apporter ou produire.

Le 20 kg/j est une hypothèse pédagogique, pas une [exigence NASA](#); mélanger hypothèse et donnée institutionnelle fausse le statut du résultat.

6. Analyse dimensionnelle

Une conversion sûre est une chaîne de facteurs qui annulent les unités inutiles. $72 \text{ km/h} \times 1\,000 \text{ m/km} \times 1 \text{ h}/3\,600 \text{ s} = 20 \text{ m/s}$. Chaque unité supprimée apparaît une fois au numérateur et une fois au dénominateur. [Référence canonique](#).

Sur Mars, cette discipline sert à convertir un débit en stock annuel, une concentration en masse totale ou une puissance en énergie. Lorsque l'unité finale n'est pas celle demandée, le calcul n'est pas terminé.

Exercice 6

Convertissez 40 kg/jour en tonnes sur 365 jours.

Correction: $40 \times 365 = 14\,600 \text{ kg} = 14,6 \text{ t/an}$. [Référence canonique](#).

Données du cas

Débit massique de 40 kg par jour pendant 365 jours; résultat demandé en tonnes par an.

Relation

Masse annuelle = débit journalier $\times$ nombre de jours; $1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg}$. [Leçon canonique](#).

Raisonnement

$40 \text{ kg/jour} \times 365 \text{ jours} = 14\,600 \text{ kg}$ sur une année. Convertir ensuite les kilogrammes en tonnes revient à diviser par 1 000: $14\,600 / 1\,000 = 14,6$. [Référence canonique](#).

Résultat

40 kg/jour pendant 365 jours correspondent à 14 600 kg/an, soit 14,6 t/an.

Contrôle

Un ordre de grandeur mental donne $40 \times 400 \approx 16\,000 \text{ kg}$; 14 600 kg est donc plausible. La conversion inverse $14,6 \times 1\,000$ redonne 14 600 kg. [Référence canonique](#).

Interprétation

Un débit quotidien apparemment modeste devient une masse logistique annuelle importante; cette conversion est indispensable pour dimensionner stockage et ravitaillement.

Raisonnement de terrain

L'analyse dimensionnelle teste la structure d'une équation avant même de connaître les nombres. Si le membre de gauche est une énergie, le membre de droite doit se réduire à des joules; si l'on cherche une masse, les unités finales doivent être des kilogrammes.

Un débit de 40 kg/j pendant 365 j donne 14 600 kg. Les jours s'annulent. En revanche, multiplier 40 kg/j par 365 kg n'a aucun sens physique même si la calculatrice affiche un nombre.

Contrôle dimensionnel

$$(kg/j) \times j = kg; W \times s = J; Pa \times m^2 = N$$

1 — Question concrète

Comment enchaîner correctement les relations réunies dans « $(kg/j) \times j = kg; W \times s = J; Pa \times m^2 = N$ » pour «Raisonnement de terrain»?

2 — Intuition sans symboles

Les unités se comportent comme des facteurs algébriques : elles révèlent immédiatement si une relation peut produire la grandeur attendue

3 — Grandeurs

Cette ligne manipule uniquement des unités: kg («kilogramme») mesure une masse; j («jour») une durée; W («watt») une puissance; s («seconde») une durée; J («joule») une énergie; Pa («pascal») une pression; m^2 («mètre carré») une aire; N («newton») une force. Ici N n'est pas un nombre de personnes.

4 — Formule

$$(kg/j) \times j = kg; W \times s = J; Pa \times m^2 = N$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: «(kg divisé par j) multiplié par j égale kg; W multiplié par s égale J; Pa multiplié par m^2 égale N».

6 — Symboles et sens

Cette ligne manipule uniquement des unités: kg («kilogramme») mesure une masse; j («jour») une durée; W («watt») une puissance; s («seconde») une durée; J («joule») une énergie; Pa («pascal») une pression; m^2 («mètre carré») une aire; N («newton») une force. Ici N n'est pas un nombre de personnes.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

$(kg/j) \times j$ simplifie en kg; $W \times s$ simplifie en J car $1 W = 1 J/s$; $Pa \times m^2$ simplifie en N car $1 Pa = 1 N/m^2$.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Le but est de vérifier les dimensions avant d'accepter un résultat numérique: multiplier un débit massique par une durée donne une masse; une puissance par une durée donne une énergie; une pression par une aire donne une force.

11 — Hypothèses

Le contrôle dimensionnel vérifie la cohérence d'une relation, pas la justesse de ses données ni de son modèle.

12 — Contrôle d'unités

$(kg/j) \times j$ simplifie en kg; $W \times s$ simplifie en J car $1 W = 1 J/s$; $Pa \times m^2$ simplifie en N car $1 Pa = 1 N/m^2$. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Données numériques déjà explicitées dans la page: Un débit de 40 kg/j pendant 365 j donne 14 600 kg. Les jours s'annulent. En revanche, multiplier 40 kg/j par 365 kg n'a aucun sens physique même si la calculatrice affiche un nombre.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Une seconde voie de calcul ou l'opération inverse doit retrouver la grandeur initiale.

16 — Estimation mentale

Estimer l'échelle après chaque sous-calcul afin de repérer immédiatement l'étape qui produit une valeur incohérente.

17 — Interprétation

La relation « $(\text{kg/j}) \times j = \text{kg}$; $\text{W} \times \text{s} = \text{J}$; $\text{Pa} \times \text{m}^2 = \text{N}$ » sert ici le raisonnement de «Raisonnement de terrain»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Changer la valeur numérique ne change pas la dimension: doubler un débit pendant la même durée double la masse, mais l'unité finale reste kg.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Vérifiez dimensionnellement 45 kg/j pendant 12 j puis 250 W pendant $7\,200 \text{ s}$.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$45 \times 12 = 540 \text{ kg}$ car j se simplifie. $250 \times 7\,200 = 1\,800\,000 \text{ J} = 1,8 \text{ MJ}$ car $\text{W} \cdot \text{s} = \text{J}$.

Exercice autonome. Vérifiez 35 kPa appliqués sur $0,6 \text{ m}^2$.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$35\,000 \text{ Pa} \times 0,6 \text{ m}^2 = 21\,000 \text{ N} = 21 \text{ kN}$ puisque $\text{Pa} \cdot \text{m}^2 = \text{N}$.

21 — Décision mission

Avant de faire confiance à un nombre, ce contrôle permet d'éliminer de nombreuses erreurs de saisie ou de formule.

Une équation dimensionnellement correcte peut encore être physiquement fausse; le test élimine certaines erreurs, pas toutes.

Space Academy · 00

Contrôle dimensionnel / dimensional check

$$\boxed{\text{débit } 2,5 \text{ L/min}} \times \boxed{10^{-3} \text{ m}^3 / 60 \text{ s}} = \boxed{4,17 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

L et min disparaissent

Les unités doivent mener à la grandeur demandée

Contrôle dimensionnel: donnée, unité, équation, simplification des unités puis résultat.

7. Calculatrice: estimer avant de taper

Une calculatrice exécute une syntaxe; elle ne sait pas si votre hypothèse est absurde. Avant chaque résultat, prédissez le signe, l'ordre de grandeur et l'unité. Les touches EXP ou EE servent souvent à saisir « $\times 10$ puissance »: 6,02 EE 23 représente $6,02 \times 10^{23}$. [Référence canonique](#).

La vérification la plus efficace consiste à recalculer autrement. Une conversion peut être contrôlée en revenant à l'unité de départ; un pourcentage peut être vérifié en additionnant récupéré et perdu; un budget énergétique doit retrouver la puissance lorsqu'on divise l'énergie par la durée.

Pourquoi cette idée compte

La discipline de calculatrice commence par une estimation mentale. On écrit les unités, on anticipe l'ordre de grandeur, puis on tape les nombres. La calculatrice vérifie l'arithmétique; elle ne choisit ni le modèle ni les hypothèses.

40 kg/j pendant un an doit être proche de $40 \times 400 \approx 16\,000$ kg. Le résultat exact 14 600 kg est cohérent. Si l'écran affichait 146 kg ou 1,46 million de kg, l'estimation signalerait immédiatement une erreur de facteur cent. [Référence canonique](#).

Chaîne de contrôle d'un calcul

estimation → calcul → unité → ordre de grandeur → interprétation

1 — Question concrète

Comment utiliser correctement la chaîne « estimation → calcul → unité → ordre de grandeur → interprétation » sans la confondre avec une équation physique?

2 — Intuition sans symboles

Un résultat fiable n'est pas seulement calculé : il est estimé, dimensionné, comparé à un ordre de grandeur puis interprété

3 — Grandeurs

Cette ligne ne contient pas de variable mathématique: elle décrit cinq étapes successives d'un raisonnement quantitatif.

4 — Formule

Estimation → calcul → unité → ordre de grandeur → interprétation

5 — Lecture

Lecture des symboles: «estimation → calcul → unité → ordre de grandeur → interprétation».

6 — Symboles et sens

Cette ligne ne contient pas de variable mathématique: elle décrit cinq étapes successives d'un raisonnement quantitatif.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

La chaîne n'a pas d'unité propre. Chaque calcul intermédiaire conserve les unités de la grandeur traitée, puis le résultat doit être contrôlé avec son unité.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

La flèche signifie ici « puis »: on estime d'abord l'échelle, on calcule, on vérifie l'unité, on compare l'ordre de grandeur, puis on interprète. Elle n'est ni un signe égal ni une flèche de réaction chimique.

11 — Hypothèses

Chaque contrôle doit rester indépendant autant que possible du calcul principal.

12 — Contrôle d'unités

La chaîne n'a pas d'unité propre. Chaque calcul intermédiaire conserve les unités de la grandeur traitée, puis le résultat doit être contrôlé avec son unité. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Cas numérique voisin du passage: 40 kg/j pendant un an doit être proche de $40 \times 400 \approx 16\,000$ kg. Le résultat exact 14 600 kg est cohérent. Si l'écran affichait 146 kg ou 1,46 million de kg, l'estimation signalerait immédiatement une erreur de facteur cent.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Une seconde voie de calcul ou l'opération inverse doit retrouver la grandeur initiale.

16 — Estimation mentale

Le nombre total d'atomes de chaque élément doit être identique avant et après la flèche. Un bilan massique idéal doit aussi fermer à l'arrondi près.

17 — Interprétation

La relation «estimation → calcul → unité → ordre de grandeur → interprétation» sert ici le raisonnement de «Pourquoi cette idée compte»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Une entrée multipliée par dix doit déplacer l'estimation conformément à la relation utilisée à l'étape de calcul; la chaîne elle-même n'impose aucune loi de proportionnalité.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Contrôlez un calcul de 48 kg/j pendant 30 j avec la chaîne estimation → calcul → unité → ordre de grandeur.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

Estimation : $50 \times 30 \approx 1\,500$ kg. Exact : $48 \times 30 = 1\,440$ kg. L'unité est kg et l'écart de 4 % avec l'estimation est raisonnable.

Exercice autonome. Contrôlez 2,2 kW pendant 8 h.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

Estimation : $2 \times 8 \approx 16$ kWh. Exact : $2,2 \times 8 = 17,6$ kWh. Le résultat est du bon ordre de grandeur.

21 — Décision mission

La chaîne réduit le risque qu'un nombre plausible mais faux soit utilisé pour décider.

Recopier dix décimales donne une illusion de précision lorsque les entrées ne sont connues qu'à quelques pourcents.

8. Incertitude et chiffres significatifs

Une mesure n'est pas infiniment précise. NIST formalise l'incertitude comme une information sur la **dispersion** raisonnablement attribuable au mesurande. Afficher quinze décimales ne réduit pas l'incertitude d'une hypothèse grossière.

Si un scénario suppose 20 kg/personne/jour, le résultat 14,600000 t/an n'est pas plus vrai que 14,6 t/an. Le nombre de chiffres doit rester cohérent avec les données, et les hypothèses doivent rester visibles à côté du résultat.

Atelier — distinguer précision, incertitude et marge

Une mesure de $10,0 \pm 0,2$ kg exprime autre chose qu'une exigence « au moins 10 kg ». La première décrit une estimation et son incertitude; la seconde fixe un seuil à respecter. Une marge est encore différente: si le besoin calculé vaut 10 kg et que l'on stocke 12 kg, la marge nominale est 2 kg, soit 20 % du besoin. Il ne faut pas additionner aveuglément incertitude et marge comme s'il s'agissait de la même chose.

Prenez un réservoir annoncé à 500 L avec une incertitude de jauge de ± 2 % et un stock opérationnel minimal de 430 L. Deux pour cent de 500 L valent 10 L. Si l'indication affiche 440 L, l'intervalle simplifié 430–450 L touche exactement le minimum opérationnel. Ce n'est donc pas un confortable surplus de 10 L: la décision doit tenir compte de l'incertitude. Ce raisonnement prépare aux marges d'ingénierie, aux seuils d'alarme et aux capteurs **redondants**.

Marge par rapport à un besoin

$\text{marge} = (\text{stock} - \text{besoin}) / \text{besoin}; (500 \text{ L} \times 2 \%)$

1 — Question concrète

Comment enchaîner correctement les relations réunies dans « $\text{marge} = (\text{stock} - \text{besoin}) / \text{besoin}; (500 \text{ L} \times 2 \%)$ » pour «8. Incertitude et chiffres significatifs»?

2 — Intuition sans symboles

Une marge exprime la réserve disponible par rapport au besoin de référence, pas seulement la différence brute

3 — Grandeurs

Marge («marge»): réserve relative par rapport au besoin; stock («stock»): quantité disponible; besoin («besoin»): quantité requise sur le même périmètre; L («litre»): symbole d'unité pour le litre, pas une variable de longueur.

4 — Formule

$\text{Marge} = (\text{stock} - \text{besoin}) / \text{besoin}; (500 \text{ L} \times 2 \%)$

5 — Lecture

Lecture des symboles: «marge égale (stock moins besoin) divisé par besoin; (500 L multiplié par 2 %)

6 — Symboles et sens

Marge («marge»): réserve relative par rapport au besoin; stock («stock»): quantité disponible; besoin («besoin»): quantité requise sur le même périmètre; L («litre»): symbole d'unité pour le litre, pas une variable de longueur.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Marge sans dimension; stock et besoin dans la même unité de quantité (par exemple L, kg, doses ou pièces).

Dans l'exemple, L signifie litre.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

On calcule d'abord l'excédent stock-besoin, puis on le rapporte au besoin. Le quotient indique la réserve relative disponible.

11 — Hypothèses

Le stock et le besoin doivent porter sur le même périmètre, la même durée et les mêmes unités.

12 — Contrôle d'unités

Marge sans dimension; stock et besoin dans la même unité de quantité (par exemple L, kg, doses ou pièces).

Dans l'exemple, L signifie litre. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Cas calculé fourni à proximité: Une mesure de $10,0 \pm 0,2$ kg exprime autre chose qu'une exigence « au moins 10 kg ». La première décrit une estimation et son incertitude; la seconde fixe un seuil à respecter. Une marge est encore différente: si le besoin calculé vaut 10 kg et que l'on stocke 12 kg, la marge nominale est 2 kg, soit 20 % du besoin. Il ne faut pas additionner aveuglément incertitude et marge comme s'il s'agissait de la même chose.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Revenir au résultat par l'opération inverse fournit un contrôle indépendant.

16 — Estimation mentale

Estimer l'échelle après chaque sous-calcul afin de repérer immédiatement l'étape qui produit une valeur incohérente.

17 — Interprétation

La relation «marge = (stock – besoin) / besoin; $(500 \text{ L} \times 2 \%)$ » sert ici le raisonnement de «8. Incertitude et chiffres significatifs»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée et propager son effet étape par étape montre où la chaîne amplifie ou amortit la perturbation.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Un besoin vaut 600 L et le stock prévu 660 L. Calculez la marge relative.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$(660-600)/600 = 60/600 = 0,10 = 10 \%$. Le stock dépasse le besoin de 60 L.

Exercice autonome. Besoin 700 L, stock 875 L : calculez la marge.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$(875-700)/700 = 175/700 = 0,25 = 25 \%$.

21 — Décision mission

Une marge normalisée permet de comparer des scénarios de tailles différentes et de fixer un seuil de décision.

Lecture physique

Une mesure n'est pas seulement une valeur; elle possède une incertitude liée à la répétabilité, à l'étalonnage, à la méthode et parfois au modèle qui transforme le signal en grandeur physique. NIST distingue notamment évaluations de type A et de type B.

Si un débit est $10,0 \pm 0,2$ kg/h, l'incertitude relative simple vaut $0,2/10,0 = 2\%$. Sur 24 h, le débit nominal donne 240 kg, mais la même incertitude systématique de 2 % ne disparaît pas parce que l'on multiplie par 24. [Référence canonique](#).

Incertitude relative

$$u_r = u/x$$

1 — Question concrète

Quel quotient donne u sur x dans le calcul de u_r présenté à «Lecture physique»?

2 — Intuition sans symboles

Rapporter l'incertitude à la valeur mesurée indique la taille de l'incertitude par rapport au signal lui-même

3 — Grandeurs

u_r (« u relatif»): incertitude relative; u (« u »): incertitude absolue sur x ; x (« x »): valeur de la grandeur mesurée servant d'échelle.

4 — Formule

$$u_r = u/x$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: « u indice r égale u divisé par x ».

6 — Symboles et sens

u_r (« u relatif»): incertitude relative; u (« u »): incertitude absolue sur x ; x (« x »): valeur de la grandeur mesurée servant d'échelle.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

u et x dans la même unité physique; u_r sans dimension.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Diviser l'incertitude absolue par la taille de la grandeur transforme une incertitude exprimée dans une unité physique en fraction relative.

11 — Hypothèses

La valeur de référence doit être non nulle et l'incertitude doit être définie selon une convention documentée.

12 — Contrôle d'unités

u et x dans la même unité physique; u_r sans dimension. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Application chiffrée locale conservée: Si un débit est $10,0 \pm 0,2$ kg/h, l'incertitude relative simple vaut $0,2/10,0 = 2\%$. Sur 24 h, le débit nominal donne 240 kg, mais la même incertitude systématique de 2 % ne disparaît pas parce que l'on multiplie par 24.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Un calcul inverse doit reconstruire l'une des données de départ à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Avant la division exacte, arrondir grossièrement u et x à un chiffre significatif et former leur rapport pour encadrer u_r .

17 — Interprétation

La relation « $u_r = u/x$ » sert ici le raisonnement de «Lecture physique»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Variation utile: multiplier u par k multiplie u_r par k , tandis que multiplier x par k divise u_r par k , toutes choses égales par ailleurs.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Une mesure vaut $25,0 \pm 0,5$ kg. Calculez l'incertitude relative.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$u_r = u/x = 0,5/25,0 = 0,02 = 2$ %. L'unité s'annule.

Exercice autonome. Calculez u_r pour $80 \pm 1,2$ L.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$1,2/80 = 0,015 = 1,5$ %.

21 — Décision mission

Cette grandeur aide à décider si une mesure est assez précise pour soutenir un seuil opérationnel.

Il faut distinguer dispersion aléatoire et biais commun: moyenner de nombreuses lectures peut réduire l'une sans corriger l'autre.

9. Laboratoire Mars: poussière, eau et énergie

La NASA a publié en 2026 une exigence préliminaire pour les particules martiennes de diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$: $0,1 \text{ mg/m}^3$ en moyenne pondérée sur 24 heures, pour certains scénarios allant jusqu'à 30 jours. Dans 100 m^3 d'air, cette concentration correspond à 10 mg de masse suspendue à cette moyenne. [Référence canonique](#).

Concentration transformée en masse de poussière

$$0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 = 10 \text{ mg}$$

1 — Question concrète

Que relie précisément « $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 = 10 \text{ mg}$ » dans «9. Laboratoire Mars: poussière, eau et énergie» et comment déterminer $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3$?

2 — Intuition sans symboles

Une concentration atmosphérique n'indique pas à elle seule la masse présente ; il faut la rapporter au volume d'air concerné

3 — Grandeurs

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

4 — Formule

$$0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 = 10 \text{ mg}$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: « $0,1 \text{ mg}$ divisé par m^3 multiplié par 100 m^3 égale 10 mg ».

6 — Symboles et sens

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Suivre les unités écrites dans « $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 = 10 \text{ mg}$ » et vérifier leur simplification jusqu'au résultat.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

La relation établit une correspondance directe entre ses grandeurs. On suit l'égalité telle qu'elle est définie et on isole $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3$ sans ajouter d'opération non justifiée.

11 — Hypothèses

La concentration doit être représentative du volume et l'air doit être suffisamment bien mélangé pour l'approximation utilisée.

12 — Contrôle d'unités

Suivre les unités écrites dans « $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 = 10 \text{ mg}$ » et vérifier leur simplification jusqu'au résultat. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

$0,08 \text{ mg/m}^3 \times 150 \text{ m}^3 = 12 \text{ mg}$ de poussière.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Une seconde voie de calcul ou l'opération inverse doit retrouver la grandeur initiale.

16 — Estimation mentale

Prévoir le sens de variation de $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3$ lorsque l'entrée principale augmente; cette tendance constitue un contrôle d'ordre de grandeur qualitatif.

17 — Interprétation

La relation « $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 = 10 \text{ mg}$ » sert ici le raisonnement de «9. Laboratoire Mars: poussière, eau et énergie»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée de $\pm 10 \%$ tout en gardant les autres fixes montre comment la relation transmet cette perturbation à $0,1 \text{ mg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3$.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Une concentration de $0,08 \text{ mg/m}^3$ est mesurée dans 150 m^3 . Calculez la masse totale.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$M = CV = 0,08 \times 150 = 12 \text{ mg}$.

Exercice autonome. Même calcul pour $0,12 \text{ mg/m}^3$ dans 80 m^3 .

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$0,12 \times 80 = 9,6 \text{ mg}$.

21 — Décision mission

Le calcul relie une mesure de poussière à la charge que la filtration ou le nettoyage doit gérer.

Pour l'eau, prenons une hypothèse pédagogique de $20 \text{ kg/personne/jour}$ de flux brut. À 100 personnes et 98 % de récupération totale, l'appoint théorique vaut $20 \times 100 \times 0,02 = 40 \text{ kg/jour}$, soit $14,6 \text{ t/an}$. L'hypothèse de 20 kg n'est pas une

Exercice 9

Une charge de 2 kW fonctionne 18 h. Quelle énergie consomme-t-elle?

Correction: $2 \times 18 = 36$ kWh. kW est une puissance; kWh est une énergie. [Référence canonique.](#)

Données du cas

Une charge électrique de puissance constante 2 kW fonctionne pendant 18 h.

Relation

Énergie = puissance $\times$ durée, donc $E = P \times t$. [Leçon canonique.](#)

Raisonnement

Substituer $P = 2$ kW et $t = 18$ h donne $E = 2 \times 18 = 36$ kWh. Le kilowatt mesure une puissance; le kilowattheure mesure une énergie cumulée. [Référence canonique.](#)

Résultat

La charge consomme 36 kWh en 18 h.

Contrôle

L'unité kW $\times$ h doit devenir kWh. À 2 kW, chaque heure ajoute 2 kWh; après 10 h on aurait 20 kWh et après 18 h 36 kWh.

Interprétation

Le résultat est un budget d'énergie, pas une puissance instantanée. C'est cette grandeur qu'il faut comparer à une batterie ou à la production disponible.

Passage au calcul

Un bon exercice martien combine plusieurs grandeurs sans les confondre. Le but n'est pas d'accumuler des formules mais d'établir une chaîne de dimensions cohérentes du phénomène observé jusqu'à la décision opérationnelle.

Un sas de 25 m³ mesuré à 0,08 mg/m³ contient idéalement 2 mg de poussière en suspension. Un renouvellement d'air de 100 m³/h ne signifie pas automatiquement que 8 mg/h sont retirés: il faut connaître l'efficacité du filtre et le mélange réel. L'intérêt pédagogique est de voir les unités se transformer en décision — module 00 · Passage au calcul · étape 2. [Référence canonique.](#)

Masse présente et masse filtrée

$$M_{\text{air}} = C V; M_{\text{filtré}} = C Q \eta \Delta t$$

1 — Question concrète

Comment enchaîner correctement les relations réunies dans « $M_{\text{air}} = C V$; $M_{\text{filtré}} = C Q \eta \Delta t$ » pour «Passage au calcul»?

2 — Intuition sans symboles

Le bilan distingue ce qui est présent dans un volume de ce qu'un débit de filtration peut retirer pendant une durée donnée

3 — Grandeurs

M_{air} («ème air»): masse de contaminant présente dans le volume d'air; C («cé»): concentration massique; V («vé»): volume d'air considéré; $M_{\text{filtré}}$ («ème filtré»): masse de contaminant captée; Q («ku»): débit volumique d'air traité; η («êta»): efficacité du filtre; Δt («delta té»): durée de filtration.

4 — Formule

$$M_{\text{air}} = C V; M_{\text{filtré}} = C Q \eta \Delta t$$

5 — Lecture

Lecture des symboles: «M indice air égale C V; M indice filtré égale C Q êta delta t».

6 — Symboles et sens

M_{air} («ème air»): masse de contaminant présente dans le volume d'air; C («cé»): concentration massique; V («vé»): volume d'air considéré; $M_{\text{filtré}}$ («ème filtré»): masse de contaminant captée; Q («ku»): débit volumique d'air traité; η («êta»): efficacité du filtre; Δt («delta té»): durée de filtration.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

M_{air} et $M_{\text{filtré}}$ en unités de masse; C en masse/volume; V en volume; Q en volume/temps; η sans dimension; Δt en temps.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Chaque sous-relation produit une information qui alimente la suivante. Les hypothèses et les unités doivent être vérifiées à chaque transition.

11 — Hypothèses

Concentration, débit, efficacité et durée doivent se rapporter au même flux et rester valides pendant l'intervalle.

12 — Contrôle d'unités

M_{air} et $M_{\text{filtré}}$ en unités de masse; C en masse/volume; V en volume; Q en volume/temps; η sans dimension; Δt en temps. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec $C = 0,06 \text{ mg/m}^3$ et $V = 40 \text{ m}^3$, $M_{\text{air}} = C \times V = 0,06 \times 40 = 2,4 \text{ mg}$. Avec $Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$, $\eta = 0,85$ et $\Delta t = 0,5 \text{ h}$, $M_{\text{filtré}} = C \times Q \times \eta \times \Delta t = 0,06 \times 120 \times 0,85 \times 0,5 = 3,06 \text{ mg}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Le contrôle indépendant consiste à réinjecter le résultat dans la relation de départ.

16 — Estimation mentale

Estimer l'échelle après chaque sous-calcul afin de repérer immédiatement l'étape qui produit une valeur incohérente.

17 — Interprétation

La relation « $M_{\text{air}} = C V$; $M_{\text{filtré}} = C Q \eta \Delta t$ » sert ici le raisonnement de «Passage au calcul»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée et propager son effet étape par étape montre où la chaîne amplifie ou amortit la perturbation.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Pour $C = 0,06 \text{ mg/m}^3$ et $V = 40 \text{ m}^3$, calculez la masse présente ; puis avec $Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$, $\eta = 0,85$ et $\Delta t = 0,5 \text{ h}$, calculez la masse filtrée.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$M_{\text{air}} = CV = 0,06 \times 40 = 2,4 \text{ mg}$. $M_{\text{filtré}} = CQ\eta\Delta t = 0,06 \times 120 \times 0,85 \times 0,5 = 3,06 \text{ mg}$. Le second terme intègre un débit d'air sur une durée, pas seulement l'inventaire instantané.

Exercice autonome. Avec $C = 0,04 \text{ mg/m}^3$, $Q = 90 \text{ m}^3/\text{h}$, $\eta = 0,90$ et $\Delta t = 1 \text{ h}$, calculez $M_{\text{filtré}}$.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$M_{\text{filtré}} = 0,04 \times 90 \times 0,90 \times 1 = 3,24 \text{ mg}$.

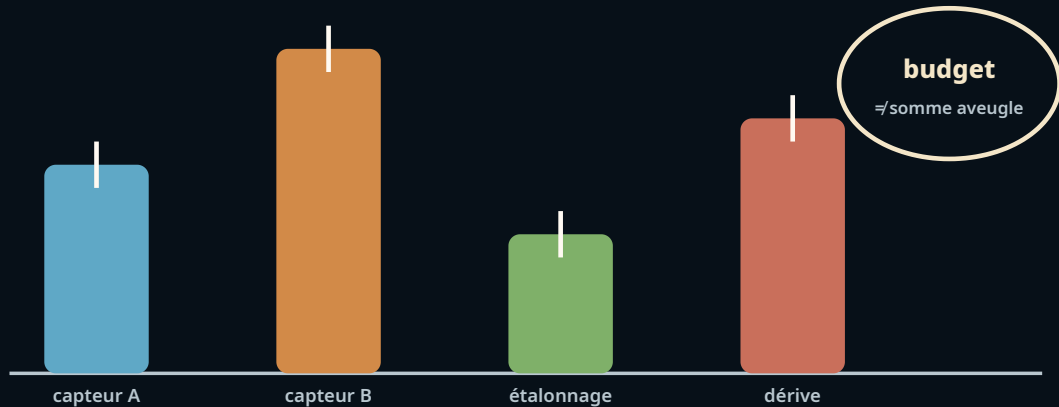
21 — Décision mission

Ce bilan vérifie si le système de filtration peut réellement suivre la charge de contamination.

Le bilan matière impose de définir la frontière: air du sas, filtre, dépôt sur surfaces et poussière remise en suspension ne sont pas le même stock.

Space Academy · 00

Budget d'incertitude / uncertainty budget



Séparer bruit, biais, dérive et hypothèses

Budget d'incertitude: identifier les contributions avant de combiner l'incertitude et décider.

10. Cinq questions de contrôle

Avant d'accepter un résultat: l'unité finale répond-elle à la question? le signe est-il possible? l'ordre de grandeur ressemble-t-il à l'estimation? le résultat varie-t-il dans le bon sens quand une entrée change? l'hypothèse dominante est-elle visible? Ces questions attrapent une grande partie des erreurs ordinaires.

Un calcul d'ingénierie est donc une courte démonstration: données, symboles, unités, opération, résultat, contrôle et sens physique. La vitesse vient ensuite. La **fiabilité** du raisonnement est le vrai objectif du module 00.

Atelier final — contrôler un bilan complet

Une petite installation consomme en moyenne 4,8 kW pendant 20 h par sol de fonctionnement et 1,2 kW pendant les 4 h restantes. L'énergie quotidienne vaut $4,8 \times 20 + 1,2 \times 4 = 100,8$ kWh. Si le stockage électrique utilisable est de 320 kWh, il représente environ 3,17 jours de cette consommation moyenne, en supposant qu'aucune production ne soit disponible et en négligeant volontairement les pertes de conversion. Cette dernière phrase est essentielle: elle sépare le calcul pédagogique du comportement d'un vrai système. [Référence canonique](#).

Ajoutez maintenant un rendement aller-retour de batterie supposé à 85 %. Si 320 kWh désignent l'énergie stockée avant pertes, l'énergie restituable est 272 kWh. L'autonomie tombe à environ 2,70 jours. Le résultat change parce que l'on a modifié une hypothèse clairement nommée. Avant d'accepter le chiffre, vérifiez: les unités sont kWh, le signe est positif, $272/100$ est un peu moins de trois, et une baisse de rendement réduit bien l'autonomie. Vous venez d'appliquer la chaîne complète: données → unités → opération → hypothèses → ordre de grandeur → sens physique. [Référence canonique](#).

Budget énergétique quotidien

$$E = \sum(P_i \Delta t_i)$$

1 — Question concrète

Quelle énergie quotidienne consomme l'installation si elle tire 4,8 kW pendant 20 h puis 1,2 kW pendant les 4 h restantes?

2 — Intuition sans symboles

Une journée énergétique se construit en additionnant l'énergie consommée pendant chaque régime de puissance

3 — Grandeurs

E : énergie totale consommée pendant la journée ; P_i : puissance moyenne du régime i ; Δt_i : durée pendant laquelle ce régime est actif ; Σ : somme de toutes les contributions $P_i \times \Delta t_i$. Dans le cas étudié, les deux régimes sont 4,8 kW pendant 20 h et 1,2 kW pendant 4 h.

4 — Formule

$$E = \Sigma(P_i \Delta t_i)$$

5 — Lecture

Lecture: «E égale 4,8 kilowatts fois 20 heures plus 1,2 kilowatt fois 4 heures, soit 100,8 kilowattheures».

6 — Symboles et sens

L'indice i numérote les différents régimes de fonctionnement. Pour chaque régime, P_i indique la puissance et Δt_i sa durée ; Σ demande d'additionner les énergies de tous les régimes pour obtenir E .

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Chaque produit kW×h donne des kWh. Les deux contributions sont donc des énergies de même unité et peuvent être additionnées: 96 kWh + 4,8 kWh = 100,8 kWh.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

On calcule l'énergie de chaque phase par puissance×durée, puis on additionne les deux énergies parce qu'elles couvrent des intervalles successifs de la même journée.

11 — Hypothèses

Les durées ne doivent pas se chevaucher et chaque puissance doit représenter le régime réellement appliqué.

12 — Contrôle d'unités

Chaque produit kW×h donne des kWh. Les deux contributions sont donc des énergies de même unité et peuvent être additionnées: 96 kWh + 4,8 kWh = 100,8 kWh. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Cas du cours : 4,8 kW pendant 20 h puis 1,2 kW pendant 4 h donnent 100,8 kWh.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Un calcul inverse doit reconstruire l'une des données de départ à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Estimer le total avec des valeurs rondes et identifier le terme dominant; E doit être cohérent avec ce cumul approximatif.

17 — Interprétation

La relation « $E = 4,8 \times 20 + 1,2 \times 4$ » sert ici le raisonnement de «10. Cinq questions de contrôle»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Une hausse Δ d'un terme ajouté augmente E du même Δ , sauf coefficient interne explicitement présent.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Calculez l'énergie quotidienne de 3,5 kW pendant 18 h puis 1,0 kW pendant 6 h.

$$E = \sum P_i \Delta t_i = 3,5 \times 18 + 1 \times 6 = 63 + 6 = 69 \text{ kWh.}$$

Exercice autonome. Calculez 2,4 kW pendant 10 h puis 0,8 kW pendant 14 h.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$$E = 2,4 \times 10 + 0,8 \times 14 = 24 + 11,2 = 35,2 \text{ kWh.}$$

21 — Décision mission

Le résultat sert à dimensionner production, stockage et autonomie en cas de perte de génération.

Cas intégrateur — la feuille de contrôle d'un quart martien

Vous prenez un quart d'exploitation et recevez quatre informations: le stock d'eau utile est affiché à 8,4 t, la perte nette moyenne de la boucle est estimée à 27 kg/j, une charge non critique de 3,2 kW peut être coupée, et le capteur de poussière indique 0,07 mg/m³ sur une période de contrôle. La première tâche n'est pas de calculer vite, mais de convertir chaque donnée dans une forme qui répond à une question. Le stock d'eau de 8,4 t vaut 8 400 kg. À 27 kg/j et sans autre apport, le **quotient** 8 400/27 vaut environ 311 jours. C'est une autonomie théorique du stock vis-à-vis de cette seule perte, pas une autonomie totale de la base. [Référence canonique.](#)

Supposons ensuite que la perte nette puisse varier de $\pm 20\%$. Le cas haut est 32,4 kg/j; l'autonomie tombe alors à environ 259 jours. Le cas bas, 21,6 kg/j, donne environ 389 jours. Écrire seulement « 311 jours » aurait masqué l'hypothèse la plus sensible. Une marge d'exploitation peut ensuite être ajoutée: si l'on exige 60 jours de réserve intouchable, le stock mobilisable n'est plus 8 400 kg mais $8\,400 - 60 \times 32,4 = 6\,456$ kg dans le cas conservateur choisi. Le calcul change parce que le critère opérationnel change. [Référence canonique.](#)

La charge de 3,2 kW illustre un autre piège. La couper pendant 10 h économise 32 kWh, pas 32 kW. Si une batterie possède 180 kWh réellement utilisables, cette économie représente environ 17,8 % de son énergie. Mais elle ne dit pas si la puissance de pointe est acceptable. Un système peut disposer de beaucoup d'énergie et être incapable de délivrer le courant instantané demandé; la puissance et l'énergie doivent donc rester deux colonnes séparées du bilan.

Enfin, 0,07 mg/m³ ne signifie pas « 70 % de sécurité ». La limite martienne préliminaire citée plus tôt est une moyenne pondérée sur 24 h pour une classe de particules et certains scénarios d'exposition. Il faut connaître la fenêtre temporelle du capteur, sa méthode, l'incertitude et les pics après EVA. Le bon contrôle consiste à vérifier que grandeur, unité, durée d'intégration et critère réglementaire décrivent la même chose. Une unité correcte associée à la mauvaise définition donne toujours une mauvaise décision. [Référence canonique.](#)

Votre fiche de quart doit donc se terminer par quatre lignes de statut: donnée mesurée ou hypothèse, conversion effectuée, résultat avec unité, limite de validité. Cette discipline devient la passerelle vers tous les modules suivants. Les mathématiques et la physique seront plus sophistiquées, mais la méthode restera la même: ne jamais laisser un chiffre voyager sans son sens.

Question	Calcul minimal	Ce que le résultat ne prouve pas
Eau	$8\,400/27 \approx 311$ j Référence canonique.	autonomie totale de la base
Sensibilité	$8\,400/32,4 \approx 259$ j Référence canonique.	probabilité de la perte haute
Énergie	$3,2 \times 10 = 32$ kWh Référence canonique.	puissance de pointe disponible
Poussière	0,07 mg/m ³ Référence canonique.	conformité sans même fenêtre temporelle

Mini-bilan intégré masse, consommation et énergie

$$8,4 \text{ t} = 8\,400 \text{ kg}; 27 \times 1,20 = 32,4 \text{ kg/j}; 3,2 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 32 \text{ kWh}$$

1 — Question concrète

Comment enchaîner correctement les relations réunies dans «8,4 t = 8 400 kg; 27×1,20 = 32,4 kg/j; 3,2 kW×10 h = 32 kWh» pour «10. Cinq questions de contrôle»?

2 — Intuition sans symboles

Un scénario simple oblige à enchaîner plusieurs conversions sans mélanger masse, débit journalier et énergie

3 — Grandeurs

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

4 — Formule

$8,4 \text{ t} = 8\,400 \text{ kg}$; $27 \times 1,20 = 32,4 \text{ kg/j}$; $3,2 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 32 \text{ kWh}$

5 — Lecture

Lecture des symboles: «8,4 t égale 8 400 kg; 27 multiplié par 1,20 égale 32,4 kg divisé par j; 3,2 kW multiplié par 10 h égale 32 kWh».

6 — Symboles et sens

Cette expression utilise directement des valeurs chiffrées et leurs unités, sans nouvelle lettre symbolique

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Suivre les unités écrites dans «8,4 t = 8 400 kg; $27 \times 1,20 = 32,4 \text{ kg/j}$; $3,2 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 32 \text{ kWh}$ » et vérifier leur simplification jusqu'au résultat.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Chaque sous-relation produit une information qui alimente la suivante. Les hypothèses et les unités doivent être vérifiées à chaque transition.

11 — Hypothèses

Chaque sous-calcul conserve ses propres unités et le résultat final doit être interprété séparément pour chaque ressource.

12 — Contrôle d'unités

Suivre les unités écrites dans «8,4 t = 8 400 kg; $27 \times 1,20 = 32,4 \text{ kg/j}$; $3,2 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 32 \text{ kWh}$ » et vérifier leur simplification jusqu'au résultat. Le résultat doit retrouver la dimension annoncée par la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Exemple numérique déjà présent dans ce cours: Supposons ensuite que la perte nette puisse varier de $\pm 20\%$. Le cas haut est $32,4 \text{ kg/j}$; l'autonomie tombe alors à environ 259 jours. Le cas bas, $21,6 \text{ kg/j}$, donne environ 389 jours. Écrire seulement « 311 jours » aurait masqué l'hypothèse la plus sensible. Une marge d'exploitation peut ensuite être ajoutée: si l'on exige 60 jours de réserve intouchable, le stock mobilisable n'est plus 8 400 kg mais $8\,400 - 60 \times 32,4 = 6\,456 \text{ kg}$ dans le cas conservateur choisi. Le calcul change parce que le critère opérationnel change.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Le contrôle indépendant consiste à réinjecter le résultat dans la relation de départ.

16 — Estimation mentale

Estimer l'échelle après chaque sous-calcul afin de repérer immédiatement l'étape qui produit une valeur incohérente.

17 — Interprétation

La relation «8,4 t = 8 400 kg; $27 \times 1,20 = 32,4 \text{ kg/j}$; $3,2 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 32 \text{ kWh}$ » sert ici le raisonnement de «10. Cinq questions de contrôle»: une valeur numérique n'est exploitable qu'en précisant unité, domaine d'application et hypothèses physiques ou opérationnelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée et propager son effet étape par étape montre où la chaîne amplifie ou amortit la perturbation.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Un stock vaut 6,5 t ; une consommation de 22 kg/j reçoit 15 % de marge ; une charge de 2,8 kW fonctionne 12 h. Calculez stock en kg, consommation majorée, autonomie et énergie.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

6 500 kg ; $q = 22 \times 1,15 = 25,3 \text{ kg/j}$; $t = 6\,500/25,3 \approx 257 \text{ j}$; $E = 2,8 \times 12 = 33,6 \text{ kWh}$.

Exercice autonome. Refaites avec 5,4 t, 18 kg/j majorés de 20 %, et 2,5 kW pendant 10 h.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

5 400 kg ; $q = 18 \times 1,20 = 21,6 \text{ kg/j}$; autonomie = $5\,400/21,6 = 250 \text{ j}$; $E = 25 \text{ kWh}$.

21 — Décision mission

Ce type de bilan révèle rapidement quelle ressource devient limitante avant une mission ou une campagne.

Marge de décision avec incertitude

$$M_{\text{décision}} = L - (x + U)$$

1 — Question concrète

Quelle grandeur faut-il déterminer dans « ce passage du cours » et comment la relation choisie permet-elle de la calculer sans perdre le sens physique ?

2 — Intuition sans symboles

Une limite n'est pas réellement respectée si l'incertitude de mesure peut encore pousser la valeur plausible au-delà du seuil

3 — Grandeurs

$M_{\text{décision}}$: marge restante avant d'atteindre la limite ; L : limite maximale autorisée ou disponible ; x : valeur nominale mesurée ou prévue ; U : allocation d'incertitude retenue pour couvrir la valeur plausible défavorable.

4 — Formule

$$M_{\text{décision}} = L - (x + U)$$

5 — Lecture

Lire la relation de gauche à droite en nommant chaque grandeur et chaque opération : $M_{\text{décision}} = L - (x + U)$.

6 — Symboles et sens

$M_{\text{décision}}$ mesure la réserve réellement disponible après prise en compte de l'incertitude ; L est le seuil à ne pas dépasser ; x est la valeur centrale ; U élargit cette valeur vers le cas prudent. Une marge positive indique qu'il reste de la réserve ; une marge nulle ou négative déclenche une action.

7 — Prononciation

Dire explicitement les opérations et les indices ou exposants afin qu'une autre personne puisse reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

$M_{\text{décision}}$, L , x et U doivent être exprimés dans la **même unité** avant la soustraction : par exemple kg, kPa, mm, °C ou toute autre unité correspondant à la limite étudiée. On ne soustrait jamais une incertitude exprimée dans une unité différente sans conversion préalable.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, de période et de périmètre définie dans la section ; ne pas changer de référence au milieu du calcul.

10 — Pourquoi cette opération

Ici, l'opération traduit le mécanisme suivant : la relation représente directement la dépendance étudiée dans « ce passage du cours ».

11 — Hypothèses

La limite, la mesure et l'incertitude doivent être exprimées sur la même base et selon une convention d'incertitude déclarée.

12 — Contrôle d'unités

Le membre $x + U$ conserve l'unité de x parce que U est exprimée dans la même unité. La soustraction $L - (x + U)$ produit donc une marge dans cette même unité. Si les unités ne coïncident pas avant l'opération, le

calcul est invalide.

13 — Cas numérique

Si la limite $L = 50$, la mesure $x = 42$ et l'incertitude conservatrice $U = 3$, alors $M_{\text{décision}} = 50 - (42 + 3) = 5$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une étape du raisonnement : elle combine, compare ou met à l'échelle les grandeurs exactement comme l'exige le modèle.

15 — Contrôle algébrique

Un calcul inverse doit reconstruire l'une des données de départ à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Arrondir les données à un chiffre utile et vérifier que le résultat reste dans le même ordre de grandeur que le calcul détaillé.

17 — Interprétation

Cette marge sépare un simple résultat mesuré d'une décision suffisamment robuste pour l'exploitation.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Ce calcul ne prouve ni la validité universelle du modèle ni la qualité des données d'entrée ; il répond seulement au scénario et aux hypothèses déclarés.

19 — Sensibilité

Faire varier séparément une donnée d'entrée montre quelle hypothèse pilote le plus le résultat.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Une limite vaut 50 unités, la valeur mesurée 42 et l'incertitude conservatrice 3. Calculez la marge de décision.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

$M_{\text{décision}} = L - (x + U) = 50 - (42 + 3) = 5$ unités. La marge reste positive.

Exercice autonome. Avec $L = 80$, $x = 74$ et $U = 4$, calculez la marge.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$80 - (74 + 4) = 2$ unités : décision encore admissible mais avec une marge faible.

21 — Décision mission

Cette marge sépare un simple résultat mesuré d'une décision suffisamment robuste pour l'exploitation.

Notation scientifique normalisée

$x = a \times 10^n$, avec $1 \leq |a| < 10$

1 — Question concrète

Comment utiliser « notation scientifique normalisée » sans perdre l'ordre de grandeur ni le sens de la grandeur calculée ?

2 — Intuition sans symboles

On sépare les chiffres utiles de l'échelle décimale afin de voir immédiatement si une valeur se situe près de l'unité, du millier ou du million.

3 — Grandeurs

x est la grandeur écrite, a la mantisse normalisée et n l'exposant entier.

4 — Formule

$x = a \times 10^n$, avec $1 \leq |a| < 10$

5 — Lecture

Lire la relation en nommant chaque opération : $x = a \times 10^n$, avec $1 \leq |a| < 10$.

6 — Symboles et sens

x est la grandeur écrite, a la mantisse normalisée et n l'exposant entier.

7 — Prononciation

Nommer explicitement les indices, exposants, angles et fonctions avant de saisir les nombres.

8 — Unités

x et a portent la même unité ; la puissance de dix est sans dimension.

9 — Convention

Conserver la convention de signe, d'angle et de chiffres significatifs annoncée dans le cours.

10 — Pourquoi cette opération

La relation isole la structure mathématique utile afin que l'échelle ou la direction soit manipulée sans ambiguïté.

11 — Hypothèses

La mantisse reste comprise en valeur absolue entre un inclus et dix exclu ; le nombre de chiffres significatifs ne doit pas dépasser la précision des données.

12 — Contrôle d'unités

x et a portent la même unité ; la puissance de dix est sans dimension. Le membre de gauche et le membre de droite doivent décrire la même dimension physique.

13 — Cas numérique

$6\,771\,000\text{ m} = 6,771 \times 10^6\text{ m}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Chaque opération correspond à une propriété mathématique explicite ; elle ne doit pas être remplacée par un déplacement de virgule ou une touche de calculatrice non justifiée.

15 — Contrôle algébrique

Revenir de la forme calculée vers la forme initiale permet de vérifier l'algèbre indépendamment de la saisie numérique.

16 — Estimation mentale

Avant de calculer, encadrer le résultat par un ordre de grandeur ou une géométrie simple afin de détecter une erreur grossière.

17 — Interprétation

Utiliser cette écriture pour contrôler l'ordre de grandeur de toute donnée très grande ou très petite avant de l'engager dans un calcul de mission.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne valide ni les données d'entrée ni le modèle physique qui a conduit à choisir cette relation.

19 — Sensibilité

Modifier une donnée à la fois permet de voir si le résultat réagit linéairement, quadratiquement ou par changement de direction.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Écrivez 4 520 000 en notation scientifique normalisée.

Correction guidée — ouvrir après avoir essayé

On déplace la virgule de six rangs : $4\,520\,000 = 4,52 \times 10^6$, avec $1 \leq 4,52 < 10$.

Exercice autonome. Écrivez 0,00073 en notation scientifique.

Correction autonome — ouvrir après avoir essayé

$0,00073 = 7,3 \times 10^{-4}$; l'exposant est négatif car la valeur est inférieure à 1.

21 — Décision mission

Utiliser cette écriture pour contrôler l'ordre de grandeur de toute donnée très grande ou très petite avant de l'engager dans un calcul de mission.

11. Vérification de fin de module

- Je distingue masse, force, énergie, puissance et pression.
- Je convertis les préfixes sans perdre un facteur 1 000.
- Je lis une **puissance de dix**.
- Je transforme un pourcentage en facteur décimal.

- Je contrôle dimensions et ordre de grandeur.

Exercice final

Un habitat traite 1 200 kg d'eau par jour et récupère 98 %. Donnez l'appoint journalier, annuel et son ordre de grandeur.

Correction: $1\,200 \times 0,02 = 24 \text{ kg/j}$; $24 \times 365 = 8\,760 \text{ kg} = 8,76 \text{ t/an}$, soit un ordre de grandeur de 10 t/an. [Référence canonique.](#)

Données du cas

Exercice final — Un habitat traite 1 200 kg d'eau par jour et récupère 98 %. Donnez l'appoint journalier, annuel et son ordre de grandeur.

Relation

Correction: $1\,200 \times 0,02 = 24 \text{ kg/j}$ [Référence canonique.](#)

Raisonnement

Correction: $1\,200 \times 0,02 = 24 \text{ kg/j}$; $24 \times 365 = 8\,760 \text{ kg} = 8,76 \text{ t/an}$, soit un ordre de grandeur de 10 t/an. [Référence canonique.](#)

Résultat

$1\,200 \times 0,02 = 24 \text{ kg/j}$ [Référence canonique.](#)

Contrôle

$24 \times 365 = 8\,760 \text{ kg} = 8,76 \text{ t/an}$, soit un ordre de grandeur de 10 t/an. [Référence canonique.](#)

Série d'exercices corrigés — contrôle autonome

1. Convertissez 0,35 t en kg puis en grammes.

$0,35 \text{ t} \times 1\,000 = 350 \text{ kg}$; $350 \text{ kg} \times 1\,000 = 350\,000 \text{ g}$. Le contrôle d'échelle est simple: passer de tonne à kilogramme puis à gramme multiplie deux fois par mille. [Référence canonique.](#)

2. Une boucle perd 1,5 % de 800 kg par jour. Quel appoint?

$1,5 \% = 0,015$; $800 \times 0,015 = 12 \text{ kg/j}$. Si le système fonctionne 30 jours sans autre changement, l'appoint associé à cette seule perte vaut 360 kg. [Référence canonique.](#)

3. Un appareil de 750 W fonctionne 16 h. Exprimez l'énergie en kWh.

$750 \text{ W} = 0,75 \text{ kW}$. L'énergie vaut $0,75 \times 16 = 12 \text{ kWh}$. Multiplier directement 750 par 16 donne 12 000 Wh, valeur équivalente; l'unité permet de voir la conversion. [Référence canonique.](#)

4. Une mesure est $4,0 \pm 0,3$. Peut-on annoncer 4,0000?

La calculatrice peut afficher autant de décimales, mais la mesure ne les justifie pas. L'incertitude de 0,3 domine très largement le dix-millième. Une écriture raisonnable conserve une précision cohérente avec l'incertitude et explique ce qu'elle représente.

5. Pourquoi $5 \text{ kg} + 3 \text{ kW}$ est-il impossible?

Parce que kg et kW décrivent des dimensions physiques différentes: masse et puissance. On ne peut additionner que des grandeurs compatibles. L'analyse dimensionnelle bloque l'opération avant tout calcul numérique.

Atelier d'entraînement approfondi

Avant chaque calcul, annoncez d'abord la grandeur recherchée puis convertissez toutes les données dans un système d'unités cohérent. Dans ce module, la [qualité](#) du résultat dépend moins de la vitesse de frappe que de la capacité à repérer un [préfixe](#) oublié, une puissance de dix impossible ou une précision illusoire. Comparez toujours le résultat à un ordre de grandeur mental avant de lire le corrigé.

1. Conversion croisée

Une pompe annonce 2,5 L/min. Convertissez en m³/s puis estimez la masse d'eau déplacée en 8 h avec $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$. [Référence canonique.](#)

Correction: $2,5 \text{ L/min} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} = 4,167 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. En 8 h, le volume est $2,5 \times 60 \times 8 = 1\,200 \text{ L} = 1,2 \text{ m}^3$, donc environ 1 200 kg. Le contrôle d'ordre de grandeur est simple: quelques litres par minute pendant plusieurs centaines de minutes doivent donner environ un millier de litres. [Référence canonique.](#)

La double conversion constitue le contrôle: le débit volumique et la masse intégrée doivent raconter la même histoire. Si la densité différait fortement de $1\,000\text{ kg/m}^3$, la dernière étape devrait être recalculée plutôt que copiée. [Référence canonique.](#)

2. Erreur de préfixe

Un capteur affiche $250\text{ }\mu\text{g/m}^3$. Exprimez la valeur en mg/m^3 et comparez-la à $0,1\text{ mg/m}^3$. [Référence canonique.](#)

Correction: $250\text{ }\mu\text{g/m}^3 = 0,250\text{ mg/m}^3$. C'est 2,5 fois $0,1\text{ mg/m}^3$. Le calcul ne décide pas si l'exposition est acceptable, car la norme NASA 2026 citée dans le cours porte sur une moyenne temporelle de 24 h et des particules $<10\text{ }\mu\text{m}$; il faut donc aussi la durée et la distribution des tailles. [Référence canonique.](#)

La comparaison à une limite n'a de sens qu'après homogénéisation des unités. Ici le facteur 2,5 est arithmétique; la décision d'exposition exige encore durée, taille des particules, localisation du capteur et incertitude de mesure.

3. Puissance contre énergie

Une charge consomme 3 kW pendant 20 min. Quelle énergie en kWh et en MJ?

Correction: $20\text{ min} = 1/3\text{ h}$. $E = 3 \times 1/3 = 1\text{ kWh} = 3,6\text{ MJ}$. La puissance de 3 kW décrit le rythme; l'énergie décrit ce qui a été réellement transféré pendant la durée. [Référence canonique.](#)

Le passage par les heures est indispensable: multiplier directement des kilowatts par des minutes produirait une unité incohérente. Le contrôle en mégajoules fournit une seconde voie de calcul et permet de repérer un facteur 3,6 oublié.

4. Pourcentage de perte

Une boucle traite $5\,000\text{ kg/j}$ et récupère 97,5 %. Quel appoint minimal idéal?

Correction: La perte vaut 2,5 %, donc $5\,000 \times 0,025 = 125\text{ kg/j}$. Sur 30 j, 3 750 kg. Un résultat en pourcentage doit toujours être traduit en masse absolue pour juger la logistique. [Référence canonique.](#)

Le pourcentage devient une masse réelle dès qu'on le rapporte au débit traité. Cette traduction est essentielle pour dimensionner stockage et appoint: une petite perte relative peut représenter plusieurs tonnes sur une campagne longue.

Données du cas

4. Pourcentage de perte — Une boucle traite $5\,000\text{ kg/j}$ et récupère 97,5 %. Quel appoint minimal idéal?

Relation

Correction: La perte vaut 2,5 %, donc $5\,000 \times 0,025 = 125\text{ kg/j}$. [Référence canonique.](#)

Raisonnement

Correction: La perte vaut 2,5 %, donc $5\,000 \times 0,025 = 125\text{ kg/j}$. Sur 30 j, 3 750 kg. Un résultat en pourcentage doit toujours être traduit en masse absolue pour juger la logistique. Le pourcentage devient une masse réelle dès qu'on le rapporte au débit traité. Cette traduction est essentielle pour dimensionner stockage et appoint: une petite perte relative peut représenter plusieurs tonnes sur une campagne longue. [Référence canonique.](#)

Résultat

La perte vaut 2,5 %, donc $5\,000 \times 0,025 = 125\text{ kg/j}$. [Référence canonique.](#)

Interprétation

Cette traduction est essentielle pour dimensionner stockage et appoint: une petite perte relative peut représenter plusieurs tonnes sur une campagne longue.

5. Incertitude relative

Une balance donne $42,0 \pm 0,6\text{ kg}$. Quelle incertitude relative?

Correction: $0,6/42,0 \approx 0,0143$, soit 1,43 %. Écrire $\pm 0,6\text{ kg}$ seul ne permet pas de comparer directement cette mesure à une autre de 2 kg ou 2 tonnes. [Référence canonique.](#)

L'incertitude relative permet de comparer la qualité de mesures d'échelles très différentes. Le 1,43 % décrit la dispersion rapportée à la valeur, mais ne prouve ni absence de biais ni validité de l'étalonnage.

Données du cas

5. Incertitude relative — Une balance donne $42,0 \pm 0,6\text{ kg}$. Quelle incertitude relative?

Relation

Correction: $0,6/42,0 \approx 0,0143$, soit 1,43 %. [Référence canonique.](#)

Raisonnement

Correction: $0,6/42,0 \approx 0,0143$, soit 1,43 %. Écrire $\pm 0,6\text{ kg}$ seul ne permet pas de comparer directement cette mesure à une autre de 2 kg ou 2 tonnes. L'incertitude relative permet de comparer la qualité de mesures d'échelles très

différentes. Le 1,43 % décrit la dispersion rapportée à la valeur, mais ne prouve ni absence de biais ni validité de l'étalonnage. [Référence canonique](#).

Résultat

$0,6/42,0 \approx 0,0143$, soit 1,43 %. [Référence canonique](#).

Interprétation

L'incertitude relative permet de comparer la qualité de mesures d'échelles très différentes.

6. Contrôle dimensionnel

Pourquoi l'expression $P \times t/m$ a-t-elle l'unité J/kg?

Correction: P est en $W=J/s$. Multiplier par t en s donne J; diviser par m en kg donne J/kg. Ce raisonnement ne dit pas encore ce que représente physiquement la grandeur, mais il confirme sa dimension d'énergie massique. [Leçon canonique](#).

Données du cas

6. Contrôle dimensionnel — Pourquoi l'expression $P \times t/m$ a-t-elle l'unité J/kg?

Relation

Correction: P est en $W=J/s$. [Leçon canonique](#).

Raisonnement

Correction: P est en $W=J/s$. Multiplier par t en s donne J; diviser par m en kg donne J/kg. Ce raisonnement ne dit pas encore ce que représente physiquement la grandeur, mais il confirme sa dimension d'énergie massique. [Leçon canonique](#).

Résultat

P est en $W=J/s$. [Leçon canonique](#).

Interprétation

Ce raisonnement ne dit pas encore ce que représente physiquement la grandeur, mais il confirme sa dimension d'énergie massique.

7. Ordre de grandeur

Une architecture annonce 4×10^6 kg de matériau local traité en 200 jours. Quel débit moyen en t/j? [Référence canonique](#).

Correction: 4×10^6 kg = 4 000 t. Sur 200 j: 20 t/j. Si une machine ne traite que 0,25 t/h pendant 16 h/j, elle n'offre que 4 t/j; il faudrait augmenter cadence, temps de fonctionnement ou nombre de machines. [Référence canonique](#).

Le débit moyen de 20 t/j ne dit rien sur la [disponibilité](#) des machines. La comparaison avec 4 t/j par machine montre immédiatement qu'il faut soit plusieurs unités, soit davantage d'heures, soit une campagne plus longue.

8. Capstone

Construisez une feuille de contrôle pour un sas: volume 30 m^3 , poussière $0,06 \text{ mg/m}^3$, filtre 95 %, débit $180 \text{ m}^3/\text{h}$, 15 min de fonctionnement. Calculez la masse initialement en suspension puis une borne idéale retirée si l'air était parfaitement mélangé. [Référence canonique](#).

Correction: $M_0 = 0,06 \times 30 = 1,8 \text{ mg}$. En 15 min, le filtre voit idéalement $180 \times 0,25 = 45 \text{ m}^3$, mais ce volume dépasse le volume du sas parce que l'air recircule. On ne peut donc pas simplement faire $C \times 45 \times 0,95$ sans modèle dynamique: une partie du même air repasse plusieurs fois. Le bon capstone consiste justement à reconnaître que le bilan statique ne suffit plus et qu'il faut une décroissance [exponentielle](#) ou un modèle de mélange. [Référence canonique](#).

Le capstone oblige à distinguer volume du sas et volume d'air recirculé: un filtre peut traiter plusieurs fois le même air. La masse capturée dépend donc du mélange, de l'efficacité réelle et du nombre de passages, pas seulement du produit débit×temps.

Problèmes avancés supplémentaires

1. Chaîne d'unités

Une pompe de 1,8 kW fonctionne 45 min. Énergie en kWh et MJ?

Correction raisonnée: $45 \text{ min} = 0,75 \text{ h}$. $E = 1,8 \times 0,75 = 1,35 \text{ kWh} = 4,86 \text{ MJ}$. Le même résultat peut être obtenu avec $1\,800 \text{ J/s} \times 2\,700 \text{ s} = 4,86 \text{ MJ}$. [Référence canonique](#).

Données du cas

1. Chaîne d'unités — Une pompe de 1,8 kW fonctionne 45 min. Énergie en kWh et MJ?

Relation

$E=1,8 \times 0,75=1,35 \text{ kWh}=4,86 \text{ MJ}$. [Référence canonique](#).

Raisonnement

Correction raisonnée: $45 \text{ min}=0,75 \text{ h}$. $E=1,8 \times 0,75=1,35 \text{ kWh}=4,86 \text{ MJ}$. Le même résultat peut être obtenu avec $1800 \text{ J/s} \times 2700 \text{ s}=4,86 \text{ MJ}$. [Référence canonique](#).

Résultat

$45 \text{ min}=0,75 \text{ h}$. [Référence canonique](#).

Interprétation

Le même résultat peut être obtenu avec $1800 \text{ J/s} \times 2700 \text{ s}=4,86 \text{ MJ}$. [Référence canonique](#).

Repères numériques conservés. 1,8kw.

2. Marge sur concentration

Une limite vaut $0,1 \text{ mg/m}^3$ et la mesure $0,072 \pm 0,010 \text{ mg/m}^3$. La limite est-elle franchie avec une marge simple au pire cas? [Référence canonique](#).

Correction raisonnée: Mesure haute= $0,082 \text{ mg/m}^3$, toujours sous 0,1. Cela ne remplace pas l'analyse de durée, taille de particules ou biais du capteur, mais la marge numérique immédiate est $0,018 \text{ mg/m}^3$. [Référence canonique](#).

Données du cas

2. Marge sur concentration — Une limite vaut $0,1 \text{ mg/m}^3$ et la mesure $0,072 \pm 0,010 \text{ mg/m}^3$. La limite est-elle franchie avec une marge simple au pire cas? [Référence canonique](#).

Relation

Cela ne remplace pas l'analyse de durée, taille de particules ou biais du capteur, mais la marge numérique immédiate est $0,018 \text{ mg/m}^3$. [Référence canonique](#).

Raisonnement

Correction raisonnée: Mesure haute= $0,082 \text{ mg/m}^3$, toujours sous 0,1. Cela ne remplace pas l'analyse de durée, taille de particules ou biais du capteur, mais la marge numérique immédiate est $0,018 \text{ mg/m}^3$. [Référence canonique](#).

Résultat

Mesure haute= $0,082 \text{ mg/m}^3$, toujours sous 0,1. [Référence canonique](#).

Repères numériques conservés. $0,1 \text{ mg/m}^3$. [Référence canonique](#).

3. Facteur mille

Pourquoi 3 MW pendant 2 h ne font-ils pas 6 MWh « de puissance »?

Correction raisonnée: MW est une puissance, MWh une énergie. L'intégration sur deux heures donne 6 MWh. Dire « 6 MWh de puissance » mélange les dimensions.

Données du cas

3. Facteur mille — Pourquoi 3 MW pendant 2 h ne font-ils pas 6 MWh « de puissance »?

Relation

L'intégration sur deux heures donne 6 MWh.

Raisonnement

Correction raisonnée: MW est une puissance, MWh une énergie. L'intégration sur deux heures donne 6 MWh. Dire « 6 MWh de puissance » mélange les dimensions.

Résultat

MW est une puissance, MWh une énergie.

Interprétation

Dire « 6 MWh de puissance » mélange les dimensions.

Repères numériques conservés. $3 \text{ mw} \cdot 2 \text{ h}$.

4. Mini-projet

Établissez une fiche d'unités pour eau, air, énergie et poussière d'un habitat.

Correction raisonnée: Une bonne fiche impose pour chaque variable: nom, symbole, unité SI, unité opérationnelle éventuelle, plage attendue, précision et fréquence de mesure. Elle empêche notamment de mélanger kg/j , L/min , kW , kWh et mg/m^3 . [Référence canonique](#).

Données du cas

4. Mini-projet — Établissez une fiche d'unités pour eau, air, énergie et poussière d'un habitat.

Relation

Elle empêche notamment de mélanger kg/j, L/min, kW, kWh et mg/m³. [Référence canonique](#).

Raisonnement

Correction raisonnée: Une bonne fiche impose pour chaque variable: nom, symbole, unité SI, unité opérationnelle éventuelle, plage attendue, précision et fréquence de mesure. Elle empêche notamment de mélanger kg/j, L/min, kW, kWh et mg/m³. [Référence canonique](#).

Résultat

Une bonne fiche impose pour chaque variable: nom, symbole, unité SI, unité opérationnelle éventuelle, plage attendue, précision et fréquence de mesure.

Interprétation

Correction raisonnée: Une bonne fiche impose pour chaque variable: nom, symbole, unité SI, unité opérationnelle éventuelle, plage attendue, précision et fréquence de mesure.

Sources et références

Ces références ancrent les unités, l'incertitude et les deux exemples martiens employés dans les exercices. Les [flux](#) choisis pour les exercices restent des hypothèses pédagogiques lorsqu'ils ne proviennent pas explicitement de la source.

- [NIST — Definitions of SI Base Units](#) — SI base units and exact defining constants.
- [NIST Technical Note 1297 — Measurement Uncertainty](#) — Framework for expressing measurement uncertainty.
- [NASA — ISS 98% water recovery milestone](#) — Demonstrated total water recovery milestone and prior 93–94% level.
- [NASA — Martian dust exposure limits](#) — 2026 preliminary exposure requirement for Martian particles under 10 μm.