

Géologie martienne et science de terrain

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Géologie martienne et science de terrain: comment « Chaîne de garde des échantillons » agit-il sur « Chronologie géologique de Mars », et quel repère issu de « Roches, minéraux et textures » permet de vérifier la décision?

Intuition. Un échantillon utile doit rester lié à son lieu, son orientation, son unité géologique, sa photo avant prélèvement et son historique de stockage. La contamination ou une étiquette perdue peut détruire une partie de sa valeur scientifique.

1

Chaîne de garde des échantillons

Un échantillon utile doit rester lié à son lieu, son orientation, son unité géologique, sa photo avant prélèvement et son historique de stockage.

2

Chronologie géologique de Mars

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

3

Roches, minéraux et textures

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Repère concret. Une traverse de terrain combine valeur scientifique, pente, portance du sol, énergie, communications, temps d'EVA, marge de retour et points de repli.

- Chaîne de garde des échantillons — Un échantillon utile doit rester lié à son lieu, son orientation, son unité géologique, sa photo avant prélèvement et son historique de stockage.
- Chronologie géologique de Mars — Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de...
- Roches, minéraux et textures — Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de...

CARTE DE MAÎTRISE · MODULE 24

Quatre repères à maîtriser — Géologie martienne et science de terrain

Chaîne de garde des échantillons

Définition

Un échantillon utile doit rester lié à son lieu, son orientation, son unité géologique, sa photo avant prélèvement et son historique de stockage. La contamination ou une étiquette perdue peut détruire une partie de sa valeur scientifique.

Intuition ou cas concret

Pour une base martienne, la chaîne de garde devra aussi distinguer les échantillons destinés à la science, à l'industrie et à l'évaluation biologique.

Repère quantitatif

Une traverse de terrain combine valeur scientifique, pente, portance du sol, énergie, communications, temps d'EVA, marge de retour et points de repli.

Limite ou critère de vigilance

Chaque arrêt doit avoir une raison: tester une hypothèse, observer un contact, prélever une unité différente ou vérifier une anomalie orbitale.

Exercice guidé — Chaîne de garde des échantillons

Cas « Chaîne de garde des échantillons » — Pour une base martienne, la chaîne de garde devra aussi distinguer les échantillons destinés à la science, à l'industrie et à l'évaluation biologique. Repère: Une traverse de terrain combine valeur scientifique, pente, portance du sol, énergie, communications, temps d'EVA, marge de retour et points de repli. Réserve: Chaque arrêt doit avoir une raison: tester une hypothèse, observer un contact, prélever une unité différente ou vérifier une anomalie orbitale.

Corrigé raisonné — Chaîne de garde des échantillons

Point de départ

Un échantillon utile doit rester lié à son lieu, son orientation, son unité géologique, sa photo avant prélèvement et son historique de stockage. La contamination ou une étiquette perdue peut détruire une partie de sa valeur scientifique.

Indice du cas

Une traverse de terrain combine valeur scientifique, pente, portance du sol, énergie, communications, temps d'EVA, marge de retour et points de repli.

Réserve à appliquer

Chaque arrêt doit avoir une raison: tester une hypothèse, observer un contact, prélever une unité différente ou vérifier une anomalie orbitale.

Conclusion

La chaîne de garde est donc un système scientifique complet: chaque prélèvement doit conserver provenance, orientation, contexte, identifiant, conditions de stockage et historique des manipulations jusqu'à l'analyse.

Chronologie géologique de Mars

Définition

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Intuition ou cas concret

Dans ce module, chronologie géologique de Mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Repère quantitatif

Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ».

Limite ou critère de vigilance

En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Exercice guidé — Chronologie géologique de Mars

Cas « Chronologie géologique de Mars » — Dans ce module, chronologie géologique de Mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Corrigé raisonné — Chronologie géologique de Mars

Point de départ

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Indice du cas

Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ».

Réserve à appliquer

En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Conclusion

Documenter critères, poids, incertitudes, ressources, risques de mobilité et intérêt scientifique, puis défendre un choix et expliquer quelle nouvelle donnée pourrait inverser la décision.

Roches, minéraux et textures

Définition

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Intuition ou cas concret

Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Repère quantitatif

Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ».

Limite ou critère de vigilance

En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Exercice guidé — Roches, minéraux et textures

Cas « Roches, minéraux et textures » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de...

Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Corrigé raisonné — Roches, minéraux et textures

Point de départ

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Indice du cas

Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ».

Réserve à appliquer

En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Conclusion

Documenter critères, poids, incertitudes, ressources, risques de mobilité et intérêt scientifique, puis défendre un choix et expliquer quelle nouvelle donnée pourrait inverser la décision.

Stratigraphie et relations d'âge

Définition

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Intuition ou cas concret

Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Repère quantitatif

Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ».

Limite ou critère de vigilance

En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge

Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de Mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de...

Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Corrigé raisonné — Stratigraphie et relations d'âge

Point de départ

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Indice du cas

Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ».

Réserve à appliquer

En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Conclusion

Documenter critères, poids, incertitudes, ressources, risques de mobilité et intérêt scientifique, puis défendre un choix et expliquer quelle nouvelle donnée pourrait inverser la décision.

Avant « Géologie martienne et science de terrain », utilisez modules 00 à 22 recommandés selon le sujet. Dans « Géologie martienne et science de terrain », une notation indispensable est redéfinie au moment où elle devient utile au raisonnement.

Avant ce module: 02 — Physique fondamentale: mouvement, énergie, pression et chaleur et 03 — Chimie utile: de la mole aux boucles H₂/O₂/CO₂.

Objectifs de maîtrise

- Expliquer comment « Lire un paysage comme une histoire » se manifeste dans géologie martienne et science de terrain.
- Refaire un calcul ou une estimation utile pour « Stratigraphie: l'ordre avant l'âge absolu » et contrôler ses unités.
- Identifier une hypothèse fragile ou un mode dégradé associé à « Volcanisme, impacts, eau et vent ».
- Transformer le résultat en décision vérifiable pour « Cartographie et traverses ».

1. Lire un paysage comme une histoire

La géologie de terrain cherche des relations: ce qui est au-dessus, en dessous, coupé, déplacé ou érodé. Une roche isolée donne une composition; une roche replacée dans sa couche et son relief donne une histoire. Sur Mars, les images orbitales préparent cette lecture, puis les rovers testent les hypothèses au sol.

Un équipage humain pourrait parcourir davantage de terrain qu'un rover, mais cette vitesse peut devenir un risque scientifique si les échantillons sont prélevés sans documenter leur contexte.

2. Stratigraphie: l'ordre avant l'âge absolu

Le principe de superposition indique généralement que, dans une série non renversée, les couches inférieures sont plus anciennes. Les discordances, failles, intrusions et cratères permettent ensuite d'établir un ordre relatif d'événements.

Cette chronologie relative est souvent plus robuste que la tentation de donner immédiatement un âge chiffré. Un âge absolu exige une méthode de datation et des hypothèses sur le système géochimique.

3. Volcanisme, impacts, eau et vent

Mars conserve des terrains volcaniques, des cratères, des vallées et des dépôts sédimentaires. Chaque processus laisse des textures et géométries différentes. Une bonne hypothèse doit expliquer plusieurs indices à la fois, pas seulement la forme la plus spectaculaire.

Les analogues terrestres aident à reconnaître des processus, mais Mars possède une gravité, une pression et une histoire climatique différentes. L'analogie est un outil de comparaison, jamais une identité.

4. Cartographie et traverses

Une traverse scientifique est une séquence de décisions: objectifs, points d'arrêt, temps disponible, sécurité, retour et échantillons prioritaires. Avant de sortir, l'équipage prépare une carte et des hypothèses. Sur le terrain, il met à jour le plan selon ce qu'il observe.

NASA entraîne les astronautes à la géologie de terrain précisément parce que l'observation humaine peut reformuler une question en quelques minutes. Cette capacité doit être disciplinée par des photos, coordonnées, descriptions et procédures d'échantillonnage.

5. Chaîne de garde des échantillons

Un échantillon utile doit rester lié à son lieu, son orientation, son unité géologique, sa photo avant prélèvement et son historique de stockage. La contamination ou une étiquette perdue peut détruire une partie de sa valeur scientifique.

Pour une base martienne, la chaîne de garde devra aussi distinguer les échantillons destinés à la science, à l'industrie et à l'évaluation biologique. Une carrière minière ne peut pas suivre les mêmes procédures qu'un site de recherche de biosignatures.

6. Observer avant de prélever: contexte, contacts et géométrie

Un échantillon sans contexte perd une grande partie de sa valeur. Avant de casser une roche, l'équipe décrit l'affleurement, photographie les contacts entre couches, note l'orientation des structures et relie le point au trajet de la traverse. Cette discipline permet de distinguer une roche en place d'un fragment transporté et de reconstruire l'ordre des événements géologiques. Une mission de terrain doit donc budgéter du temps pour regarder et documenter, pas seulement pour remplir des conteneurs.

7. Concevoir une traverse comme un problème de science et de retour sûr

La route optimale n'est pas nécessairement la plus courte. Une traverse de terrain combine valeur scientifique, pente, portance du sol, énergie, communications, temps d'EVA, marge de retour et points de repli. Chaque arrêt doit avoir une raison: tester une hypothèse, observer un contact, prélever une unité différente ou vérifier une anomalie orbitale. Une bonne planification définit aussi les arrêts qui seront abandonnés en premier si la batterie, la météo ou la santé de l'équipage se dégradent.

8. Chaîne de garde: protéger l'histoire de l'échantillon

Après le prélèvement, la science dépend de la traçabilité. Identifiant, heure, position, outil utilisé, opérateur, photographie, conteneur et transfert doivent rester associés à l'échantillon. Des blancs de contamination et des témoins permettent de repérer ce qui a été introduit par les gants, le sas ou le laboratoire. Sur Mars, cette chaîne protège à la fois l'interprétation géologique et les recherches de composés organiques ou de biosignatures, où une contamination minuscule peut provoquer une conclusion disproportionnée.

Cas de terrain: la meilleure roche n'est pas forcément le meilleur échantillon

Une roche spectaculaire trouvée hors contexte peut être moins utile qu'un échantillon ordinaire prélevé dans une couche dont la position est connue. La géologie cherche des relations: ce qui est au-dessus, au-dessous, recoupé, altéré ou transporté. Avant chaque prélèvement, l'équipe photographie le site, note l'unité

stratigraphique et attribue un identifiant stable. Si le prélèvement est subdivisé au laboratoire, les sous-échantillons héritent de cette filiation. C'est cette chaîne qui permet de relier une mesure chimique à l'histoire du terrain.

9. Exemple calculé pas à pas

Une traverse prévoit 6,4 km de déplacement à 2,0 km/h, soit 3,2 h de roulage. Sept arrêts scientifiques de 18 min ajoutent $7 \times 0,30 = 2,10$ h. Le temps total nominal est donc 5,30 h. Avec une marge opérationnelle de 25 %, il faut réserver $5,30 \times 1,25 = 6,63$ h. Si la fenêtre disponible n'est que de 6 h, le plan est irréaliste: il faut réduire la distance, le nombre d'arrêts ou la durée moyenne par arrêt avant de partir, pas compter sur une accélération improvisée au retour.

10. Exercice progressif

Planifier une traverse de 8 km comprenant quatre stations obligatoires et trois optionnelles. Définir une vitesse réaliste, un temps d'observation par station, une marge de retour de 30 % et une règle claire d'abandon des objectifs optionnels.

11. Solution raisonnée

À 2,5 km/h, parcourir 6,4 km demande 2,56 h. Quatre stations de 35 min ajoutent 2,33 h. Avec 45 min de marge de navigation et 30 min de réserve, le total atteint environ 6,14 h. Une fenêtre de 6 h est donc insuffisante sans réduire une station, raccourcir l'itinéraire ou justifier une vitesse supérieure.

12. Mini-projet de validation

Produire le carnet opérationnel d'une traverse géologique martienne: hypothèses orbitales, carte, stations, descriptions attendues, protocole photo, chaîne de garde, critères d'abandon et liste des données à transmettre au laboratoire.

Approfondissement du module 24: comprendre, calculer, vérifier et décider

Objectif du module — lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

contrôle dimensionnel · ordre de grandeur

1. Chronologie géologique de Mars

Dans ce module, chronologie géologique de Mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

Mini-leçons quantitatives canoniques — protocole V7.4

Toutes les formules quantitatives de ce module sont traitées comme de vraies mini-leçons : intuition, symboles, unités, cas numérique, contrôles, sensibilité, deux exercices corrigés et décision mission.

1. Chronologie géologique de Mars

$$D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$ » dans « 1. Chronologie géologique de Mars » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 1. Chronologie géologique de Mars », rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

D_cratères: nombre de cratères par unité de surface; N_cratères: nombre de cratères comptés dans la zone; A: aire de cette zone.

4 — Formule

$D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$

5 — Lecture

Prononciation complète: «D indice cratères égale N indice cratères divisé par A».

6 — Symboles et sens

D_cratères: nombre de cratères par unité de surface; N_cratères: nombre de cratères comptés dans la zone; A: aire de cette zone.

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Si A est en km², D_cratères est en cratères/km²; si A est en m², le résultat est en cratères/m². Ne pas annoncer cratères/km² avec une aire restée en m² sans conversion.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Diviser le nombre observé par l'aire étudiée transforme un compte brut en densité surfacique comparable entre zones de tailles différentes.

11 — Hypothèses

Condition de validité: aucune division par zéro pour A; les périmètres de N_cratères et A doivent aussi être comparables dans «1. Chronologie géologique de Mars».

12 — Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $D_{\text{cratères}} \times A$ doit redonner N_cratères.

13 — Cas numérique

$N_{\text{cratères}} = 42$ A = 210 km² $D_{\text{cratères}} = 42 / 210 = 0.20$ cratères/km²

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Diviser le nombre observé par l'aire étudiée transforme un compte brut en densité surfacique comparable entre zones de tailles différentes.

15 — Vérification

Contrôle inverse: $D_{\text{cratères}} \times A$ doit redonner N_cratères.

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois A «tient» dans N_cratères; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de D_cratères avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de « $D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$ » appartient au contexte «1. Chronologie géologique de Mars». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario « 1. Chronologie géologique de Mars »; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si seul $N_{\text{cratères}}$ varie, $D_{\text{cratères}}$ varie dans la même proportion. Si seul A augmente de 10 %, $D_{\text{cratères}}$ devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 30, 120 km². Appliquez « $D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 30, 120 km². Relation appliquée : $D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$. Calcul et résultat : $D = 30 / 120 = 0.25$ cratères/km². Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour « 1. Chronologie géologique de Mars ».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de « 1. Chronologie géologique de Mars », refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

$N_{\text{cratères}} = 42$ $A = 210$ km² $D_{\text{cratères}} = 42 / 210 = 0.20$ cratères/km² Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de « $D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$ » appartient au contexte « 1. Chronologie géologique de Mars ». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

2. Roches, minéraux et textures

$$\rho = m / V$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $\rho = m / V$ » dans « 2. Roches, minéraux et textures » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 2. Roches, minéraux et textures », rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

ρ : masse volumique; m : masse; V : volume occupé par cette masse.

4 — Formule

$$\rho = m / V$$

5 — Lecture

Prononciation complète: « rho égale m divisé par V ».

6 — Symboles et sens

ρ : masse volumique; m : masse; V : volume occupé par cette masse.

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

ρ en kg/m³; m en kg; V en m³.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Le rôle de m est celui du numérateur; V sert de référence au dénominateur. La division $m \div V$ produit ρ , alors que $V \div m$ répondrait à une autre question.

11 — Hypothèses

Condition de validité: aucune division par zéro pour V ; les périmètres de m et V doivent aussi être comparables dans «2. Roches, minéraux et textures».

12 — Contrôle indépendant

Contrôle indépendant — Vérification par remontée: $(\rho) \times (V)$ doit reconstituer m . Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

13 — Cas numérique

$$m = 7.80 \text{ kg} \quad V = 0.00250 \text{ m}^3 \quad \rho = 7.80 / 0.00250 = 3,120 \text{ kg/m}^3$$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Le rôle de m est celui du numérateur; V sert de référence au dénominateur. La division $m \div V$ produit ρ , alors que $V \div m$ répondrait à une autre question.

15 — Vérification

Contrôle indépendant — Vérification par remontée: $(\rho) \times (V)$ doit reconstituer m . Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois V «tient» dans m ; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de ρ avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de « $\rho = m / V$ » appartient au contexte «2. Roches, minéraux et textures». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario «2. Roches, minéraux et textures»; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si seul m varie, ρ varie dans la même proportion. Si seul V augmente de 10 %, ρ devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 5.40, 0.00200 m³. Appliquez « $\rho = m / V$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 5.40, 0.00200 m³. Relation appliquée : $\rho = m / V$. Calcul et résultat : $\rho = 5.40 / 0.00200 = 2,700 \text{ kg/m}^3$. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour «2. Roches, minéraux et textures».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de «2. Roches, minéraux et textures», refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

$m = 7.80 \text{ kg}$ $V = 0.00250 \text{ m}^3$ $\rho = 7.80 / 0.00250 = 3,120 \text{ kg/m}^3$ Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de « $\rho = m / V$ » appartient au contexte «2. Roches, minéraux et textures». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

3. Stratigraphie et relations d'âge

Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$

1 — Question concrète

Que permet de calculer «Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$ » dans «3. Stratigraphie et relations d'âge» ?

2 — Intuition sans symboles

Dans «3. Stratigraphie et relations d'âge», l'écart entre deux états comparables donne directement la marge, la perte ou la différence utile à la décision.

3 — Grandeurs

Épaisseur: épaisseur de matériau mesurée dans le cas considéré; z_{toit} : altitude ou cote verticale du toit; z_{base} : altitude ou cote verticale de la base

4 — Formule

Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$

5 — Lecture

Prononciation complète: «Épaisseur égale z indice toit - z indice base».

6 — Symboles et sens

Épaisseur: épaisseur de matériau mesurée dans le cas considéré; z_{toit} : altitude ou cote verticale du toit; z_{base} : altitude ou cote verticale de la base

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Épaisseur → m ou km; z_{toit} → longueur en m ou km; ne pas changer d'unité entre les termes; z_{base} → longueur en m ou km; ne pas changer d'unité entre les termes.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Une différence est orientée: on part de la première quantité et l'on enlève la seconde. Le signe obtenu porte donc une information physique ou opérationnelle.

11 — Hypothèses

Une soustraction n'a de sens que pour des quantités comparables. Si l'incertitude est du même ordre que Épaisseur, la conclusion sur son signe est fragile.

12 — Contrôle indépendant

Contrôle indépendant — Vérification de retour: Épaisseur plus le terme retiré doit redonner la quantité de départ à l'arrondi près.

13 — Cas numérique

$z_{\text{toit}} = 14.2 \text{ m}$ $z_{\text{base}} = 8.7 \text{ m}$ Épaisseur = $14.2 - 8.7 = 5.5 \text{ m}$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Une différence est orientée: on part de la première quantité et l'on enlève la seconde. Le signe obtenu porte donc une information physique ou opérationnelle.

15 — Vérification

Contrôle indépendant — Vérification de retour: Épaisseur plus le terme retiré doit redonner la quantité de départ à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Estimer d'abord lequel des deux termes est le plus grand: cette comparaison prédit le signe de Épaisseur et son échelle approximative.

17 — Interprétation

L'interprétation de «Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$ » appartient au contexte «3. Stratigraphie et relations d'âge». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario « 3. Stratigraphie et relations d'âge »; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Une variation du premier terme se transmet avec signe positif; la même variation appliquée au second agit avec signe négatif.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 31.4, 38.1. Appliquez « Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 31.4, 38.1. Relation appliquée : Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$. Calcul et résultat : Épaisseur = $38.1 - 31.4 = 6.7$ m. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour « 3. Stratigraphie et relations d'âge ».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de « 3. Stratigraphie et relations d'âge », refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

$z_{\text{toit}} = 14.2$ m $z_{\text{base}} = 8.7$ m Épaisseur = $14.2 - 8.7 = 5.5$ m Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de «Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$ » appartient au contexte «3. Stratigraphie et relations d'âge». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

4. Altération et indices d'eau

$$\text{Fraction_altérée} = m_{\text{altérée}} / m_{\text{totale}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « Fraction_altérée = $m_{\text{altérée}} / m_{\text{totale}}$ » dans « 4. Altération et indices d'eau » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 4. Altération et indices d'eau », rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

Fraction_altérée: fraction massique du matériau classé comme altéré; m_altérée: masse de la partie altérée; m_totale: masse totale de l'échantillon ou du lot étudié.

4 — Formule

$\text{Fraction_altérée} = m_{\text{altérée}} / m_{\text{totale}}$

5 — Lecture

Prononciation complète: «Fraction indice altérée égale m indice altérée divisé par m indice totale».

6 — Symboles et sens

Fraction_altérée: fraction massique du matériau classé comme altéré; m_altérée: masse de la partie altérée; m_totale: masse totale de l'échantillon ou du lot étudié.

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Exprimer m_altérée et m_totale avec une unité commune de masse; Fraction_altérée sans dimension, entre 0 et 1.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Le quotient rapporte la masse altérée à la masse totale.

11 — Hypothèses

Condition de validité: aucune division par zéro pour m_totale; les périmètres de m_altérée et m_totale doivent aussi être comparables dans «4. Altération et indices d'eau».

12 — Contrôle indépendant

$\text{Fraction_altérée} \times m_{\text{totale}}$ doit redonner m_altérée.

13 — Cas numérique

$m_{\text{altérée}} = 1.80 \text{ kg}$ $m_{\text{totale}} = 12.0 \text{ kg}$ $\text{Fraction_altérée} = 1.80 / 12.0 = 0.150 = 15.0\%$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Le quotient rapporte la masse altérée à la masse totale.

15 — Vérification

$\text{Fraction_altérée} \times m_{\text{totale}}$ doit redonner m_altérée.

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois m_totale «tient» dans m_altérée; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Fraction_altérée avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de « $\text{Fraction_altérée} = m_{\text{altérée}} / m_{\text{totale}}$ » appartient au contexte «4. Altération et indices d'eau». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario « 4. Altération et indices d'eau »; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si seul m_altérée varie, Fraction_altérée varie dans la même proportion. Si seul m_totale augmente de 10 %, Fraction_altérée devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 9.0, 0.90. Appliquez « Fraction_alterée = m_alterée / m_totale », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 9.0, 0.90. Relation appliquée : Fraction_alterée = m_alterée / m_totale. Calcul et résultat : Fraction_alterée = 0.90 / 9.0 = 0.10 = 10%. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour « 4. Altération et indices d'eau ».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de « 4. Altération et indices d'eau », refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

m_alterée = 1.80 kg m_totale = 12.0 kg Fraction_alterée = 1.80 / 12.0 = 0.150 = 15.0% Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de « Fraction_alterée = m_alterée / m_totale » appartient au contexte « 4. Altération et indices d'eau ». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

5. Cartographie et échelle

Échelle = distance_carte / distance_terrain

1 — Question concrète

Que permet de calculer « Échelle = distance_carte / distance_terrain » dans « 5. Cartographie et échelle » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 5. Cartographie et échelle », rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

Échelle: rapport d'échelle carte/terrain; distance_carte: distance «distance carte» utilisée dans la géométrie du scénario; distance_terrain: distance «distance terrain» utilisée dans la géométrie du scénario

4 — Formule

Échelle = distance_carte / distance_terrain

5 — Lecture

Prononciation complète: «Échelle égale distance indice carte divisé par distance indice terrain».

6 — Symboles et sens

Échelle: rapport d'échelle carte/terrain; distance_carte: distance «distance carte» utilisée dans la géométrie du scénario; distance_terrain: distance «distance terrain» utilisée dans la géométrie du scénario

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

rapport d'échelle carte/terrain → sans dimension; distance carte → m ou km; distance terrain → m ou km.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Le rôle de `distance_carte` est celui du numérateur; `distance_terrain` sert de référence au dénominateur. La division $\text{distance_carte} \div \text{distance_terrain}$ produit Échelle, alors que $\text{distance_terrain} \div \text{distance_carte}$ répondrait à une autre question.

11 — Hypothèses

Condition de validité: aucune division par zéro pour `distance_terrain`; les périmètres de `distance_carte` et `distance_terrain` doivent aussi être comparables dans «5. Cartographie et échelle».

12 — Contrôle indépendant

Contrôle indépendant — Vérification par remontée: $(\text{Échelle}) \times (\text{distance_terrain})$ doit reconstituer `distance_carte`. Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

13 — Cas numérique

$\text{distance_carte} = 2.5 \text{ cm} = 0.025 \text{ m}$ $\text{distance_terrain} = 1.0 \text{ km} = 1,000 \text{ m}$ $\text{Échelle} = 0.025 / 1,000 = 0.000025 = 1 / 40,000$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Le rôle de `distance_carte` est celui du numérateur; `distance_terrain` sert de référence au dénominateur. La division $\text{distance_carte} \div \text{distance_terrain}$ produit Échelle, alors que $\text{distance_terrain} \div \text{distance_carte}$ répondrait à une autre question.

15 — Vérification

Contrôle indépendant — Vérification par remontée: $(\text{Échelle}) \times (\text{distance_terrain})$ doit reconstituer `distance_carte`. Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois `distance_terrain` «tient» dans `distance_carte`; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Échelle avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de « $\text{Échelle} = \text{distance_carte} / \text{distance_terrain}$ » appartient au contexte «5. Cartographie et échelle». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario «5. Cartographie et échelle»; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si seul `distance_carte` varie, Échelle varie dans la même proportion. Si seul `distance_terrain` augmente de 10 %, Échelle devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 1, 25,000, 3 cm. Appliquez « $\text{Échelle} = \text{distance_carte} / \text{distance_terrain}$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 1, 25,000, 3 cm. Relation appliquée : $\text{Échelle} = \text{distance_carte} / \text{distance_terrain}$. Calcul et résultat : $3 \text{ cm} \times 25,000 = 75,000 \text{ cm} = 750 \text{ m}$. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour «5. Cartographie et échelle».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de «5. Cartographie et échelle», refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

distance_carte = 2.5 cm = 0.025 m distance_terrain = 1.0 km = 1,000 m Échelle = $0.025 / 1,000 = 0.000025 = 1 / 40,000$ Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de «Échelle = distance_carte / distance_terrain» appartient au contexte «5. Cartographie et échelle». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

6. Carnet de terrain et métadonnées

Complétude = $N_{\text{champs_renseignés}} / N_{\text{champs_requis}}$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « Complétude = $N_{\text{champs_renseignés}} / N_{\text{champs_requis}}$ » dans « 6. Carnet de terrain et métadonnées » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 6. Carnet de terrain et métadonnées », rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

Complétude: fraction des champs requis effectivement renseignés; $N_{\text{champs_renseignés}}$: nombre de champs remplis; $N_{\text{champs_requis}}$: nombre total de champs exigés.

4 — Formule

Complétude = $N_{\text{champs_renseignés}} / N_{\text{champs_requis}}$

5 — Lecture

Prononciation complète: «Complétude égale N indice champs indice renseignés divisé par N indice champs indice requis».

6 — Symboles et sens

Complétude: fraction des champs requis effectivement renseignés; $N_{\text{champs_renseignés}}$: nombre de champs remplis; $N_{\text{champs_requis}}$: nombre total de champs exigés.

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Les deux N sont des comptes; Complétude sans dimension entre 0 et 1.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Le quotient mesure la part du formulaire ou jeu de données qui est complète.

11 — Hypothèses

Condition de validité: aucune division par zéro pour $N_{\text{champs_requis}}$; les périmètres de $N_{\text{champs_renseignés}}$ et $N_{\text{champs_requis}}$ doivent aussi être comparables dans «6. Carnet de terrain et métadonnées».

12 — Contrôle indépendant

Complétude $\times N_{\text{champs_requis}}$ doit retrouver $N_{\text{champs_renseignés}}$, à l'arrondi près.

13 — Cas numérique

$N_{\text{champs_renseignés}} = 18$ $N_{\text{champs_requis}} = 20$ Complétude = $18 / 20 = 0.90 = 90\%$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Le quotient mesure la part du formulaire ou jeu de données qui est complète.

15 — Vérification

Complétude $\times$ N_champs_requis doit retrouver N_champs_reseignés, à l'arrondi près.

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois N_champs_requis «tient» dans N_champs_reseignés; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Complétude avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de «Complétude = N_champs_reseignés / N_champs_requis» appartient au contexte «6. Carnet de terrain et métadonnées». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario « 6. Carnet de terrain et métadonnées »; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si seul N_champs_reseignés varie, Complétude varie dans la même proportion. Si seul N_champs_requis augmente de 10 %, Complétude devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 23, 21. Appliquez « Complétude = N_champs_reseignés / N_champs_requis », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 23, 21. Relation appliquée : Complétude = N_champs_reseignés / N_champs_requis. Calcul et résultat : Complétude = 21 / 23 $\approx$ 0.913 = 91.3%. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour « 6. Carnet de terrain et métadonnées ».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de « 6. Carnet de terrain et métadonnées », refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

N_champs_reseignés = 18 N_champs_requis = 20 Complétude = 18 / 20 = 0.90 = 90% Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de «Complétude = N_champs_reseignés / N_champs_requis» appartient au contexte «6. Carnet de terrain et métadonnées». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

7. Échantillonnage et représentativité

Densité_échantillonnage = N / A

1 — Question concrète

Que permet de calculer « Densité_échantillonnage = N / A » dans « 7. Échantillonnage et représentativité » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 7. Échantillonnage et représentativité », rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

Densité_échantillonnage: densité d'échantillonnage; N: nombre d'échantillons; A: aire

4 — Formule

Densité_échantillonnage = N / A

5 — Lecture

Prononciation complète: «Densité indice échantillonnage égale N divisé par A».

6 — Symboles et sens

Densité_échantillonnage: densité d'échantillonnage; N: nombre d'échantillons; A: aire

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

densité d'échantillonnage → échantillons/m² ou échantillons/km²; nombre d'échantillons → compte; aire couverte → m² ou km².

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Le rôle de N est celui du numérateur; A sert de référence au dénominateur. La division $N \div A$ produit Densité_échantillonnage, alors que $A \div N$ répondrait à une autre question.

11 — Hypothèses

Condition de validité: aucune division par zéro pour A; les périmètres de N et A doivent aussi être comparables dans «7. Échantillonnage et représentativité».

12 — Contrôle indépendant

Contrôle indépendant — Vérification par remontée: (Densité_échantillonnage)×(A) doit reconstituer N. Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

13 — Cas numérique

$N = 15$ $A = 6.0 \text{ km}^2$ Densité_échantillonnage = $15 / 6.0 = 2.5$ échantillons/km²

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Le rôle de N est celui du numérateur; A sert de référence au dénominateur. La division $N \div A$ produit Densité_échantillonnage, alors que $A \div N$ répondrait à une autre question.

15 — Vérification

Contrôle indépendant — Vérification par remontée: (Densité_échantillonnage)×(A) doit reconstituer N. Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois A «tient» dans N; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Densité_échantillonnage avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de «Densité_échantillonnage = N / A » appartient au contexte «7. Échantillonnage et représentativité». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario «7. Échantillonnage et représentativité»; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si seul N varie, Densité_échantillonnage varie dans la même proportion. Si seul A augmente de 10 %, Densité_échantillonnage devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 3.0 km². Appliquez « Densité_échantillonnage = N / A », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 3.0 km². Relation appliquée : Densité_échantillonnage = N / A. Calcul et résultat : Densité_échantillonnage = 12 / 3.0 = 4.0 échantillons/km². Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour « 7. Échantillonnage et représentativité ».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de « 7. Échantillonnage et représentativité », refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

N = 15 A = 6.0 km² Densité_échantillonnage = 15 / 6.0 = 2.5 échantillons/km² Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de « Densité_échantillonnage = N / A » appartient au contexte « 7. Échantillonnage et représentativité ». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

8. Géologie appliquée aux ressources

$$\text{Teneur} = m_{\text{utile}} / m_{\text{échantillon}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « Teneur = m_{utile} / m_{échantillon} » dans « 8. Géologie appliquée aux ressources » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 8. Géologie appliquée aux ressources », rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

Teneur: fraction massique du constituant utile; m_{utile}: masse de ce constituant dans l'échantillon; m_{échantillon}: masse totale de l'échantillon.

4 — Formule

$$\text{Teneur} = m_{\text{utile}} / m_{\text{échantillon}}$$

5 — Lecture

Prononciation complète: «Teneur égale m indice utile divisé par m indice échantillon».

6 — Symboles et sens

Teneur: fraction massique du constituant utile; m_{utile}: masse de ce constituant dans l'échantillon; m_{échantillon}: masse totale de l'échantillon.

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Pour m_{utile} et m_{échantillon}, choisir une unité de masse identique; Teneur sans dimension, souvent exprimée en %.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La masse utile est rapportée à la masse totale de l'échantillon.

11 — Hypothèses

Condition de validité: aucune division par zéro pour $m_{\text{échantillon}}$; les périmètres de m_{utile} et $m_{\text{échantillon}}$ doivent aussi être comparables dans «8. Géologie appliquée aux ressources».

12 — Contrôle indépendant

$\text{Teneur} \times m_{\text{échantillon}}$ doit redonner m_{utile} .

13 — Cas numérique

$m_{\text{utile}} = 0.42 \text{ kg}$ $m_{\text{échantillon}} = 7.00 \text{ kg}$ $\text{Teneur} = 0.42 / 7.00 = 0.060 = 6.0\%$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La masse utile est rapportée à la masse totale de l'échantillon.

15 — Vérification

$\text{Teneur} \times m_{\text{échantillon}}$ doit redonner m_{utile} .

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois $m_{\text{échantillon}}$ «tient» dans m_{utile} ; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Teneur avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de « $\text{Teneur} = m_{\text{utile}} / m_{\text{échantillon}}$ » appartient au contexte «8. Géologie appliquée aux ressources». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario «8. Géologie appliquée aux ressources»; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si seul m_{utile} varie, Teneur varie dans la même proportion. Si seul $m_{\text{échantillon}}$ augmente de 10 %, Teneur devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 5.0, 0.35. Appliquez « $\text{Teneur} = m_{\text{utile}} / m_{\text{échantillon}}$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 5.0, 0.35. Relation appliquée : $\text{Teneur} = m_{\text{utile}} / m_{\text{échantillon}}$. Calcul et résultat : $\text{Teneur} = 0.35 / 5.0 = 0.070 = 7.0\%$. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour «8. Géologie appliquée aux ressources».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de «8. Géologie appliquée aux ressources», refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

$m_{\text{utile}} = 0.42 \text{ kg}$ $m_{\text{échantillon}} = 7.00 \text{ kg}$ $\text{Teneur} = 0.42 / 7.00 = 0.060 = 6.0\%$ Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de «Teneur = $m_{\text{utile}} / m_{\text{échantillon}}$ » appartient au contexte «8. Géologie appliquée aux ressources». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

9. Géologie appliquée à l'implantation

$$\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$ » dans « 9. Géologie appliquée à l'implantation » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 9. Géologie appliquée à l'implantation », plusieurs contributions comparables sont réunies pour obtenir un total traçable plutôt qu'une estimation à l'intuition.

3 — Grandeurs

Score_site: score total du site; Σ : somme sur tous les critères i ; w_i : poids du critère i ; s_i : score du site pour le critère i .

4 — Formule

$$\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$$

5 — Lecture

Prononciation complète: «score du site égale la somme, pour chaque critère i , du poids w indice i multiplié par la note s indice i ».

6 — Symboles et sens

Score_site: score total du site; Σ : somme sur tous les critères i ; w_i : poids du critère i ; s_i : score du site pour le critère i .

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Si les scores s_i et les poids w_i sont sans dimension, Score_site est sans dimension. Les poids doivent suivre la convention annoncée, par exemple somme des poids égale à 1 si le score est normalisé.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La sommation répète une opération élémentaire sur une série d'indices. Une fois chaque valeur calculée, leur addition donne la quantité Score_site.

11 — Hypothèses

Ne sommer que des termes appartenant au même inventaire ou à la même période; une corrélation peut en outre empêcher certaines simplifications statistiques.

12 — Contrôle indépendant

Contrôle indépendant — calculer chaque contribution $w_i \times s_i$ séparément puis les additionner une seconde fois; la recombinaison doit retrouver exactement Score_site.

13 — Cas numérique

$$w = 0.40, 0.35, 0.25 \quad s = 0.80, 0.60, 0.90 \quad \text{Score_site} = 0.40 \times 0.80 + 0.35 \times 0.60 + 0.25 \times 0.90 = 0.755$$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La sommation répète une opération élémentaire sur une série d'indices. Une fois chaque valeur calculée, leur addition donne la quantité Score_site.

15 — Vérification

Contrôle indépendant — calculer chaque contribution $w_i \times s_i$ séparément puis les additionner une seconde fois; la recombinaison doit retrouver exactement Score_site .

16 — Estimation mentale

Une estimation consiste à comparer la moyenne approximative des contributions à leur nombre; leur produit donne l'ordre de grandeur probable de Score_site .

17 — Interprétation

L'interprétation de « $\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$ » appartient au contexte «9. Géologie appliquée à l'implantation». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario «9. Géologie appliquée à l'implantation»; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Si une contribution change de Δ tandis que les autres restent fixes, le total change de la même quantité; avec un coefficient, Δ est pondéré par ce coefficient.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 0.5, 0.3, 0.2, 0.7, 0.9, 0.6. Appliquez « $\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 0.5, 0.3, 0.2, 0.7, 0.9, 0.6. Relation appliquée : $\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$. Calcul et résultat : $S = 0.5 \times 0.7 + 0.3 \times 0.9 + 0.2 \times 0.6 = 0.74$. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour «9. Géologie appliquée à l'implantation».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de «9. Géologie appliquée à l'implantation», refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

$w = 0.40, 0.35, 0.25$ $s = 0.80, 0.60, 0.90$ $\text{Score_site} = 0.40 \times 0.80 + 0.35 \times 0.60 + 0.25 \times 0.90 = 0.755$
Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de « $\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$ » appartient au contexte «9. Géologie appliquée à l'implantation». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

10. Incertitude et hypothèses concurrentes

$$\text{Erreur_rel} = |x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $\text{Erreur_rel} = |x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$ » dans «10. Incertitude et hypothèses concurrentes» ?

2 — Intuition sans symboles

Dans «10. Incertitude et hypothèses concurrentes», rapporter une quantité à sa référence permet de comparer des situations de taille, durée ou capacité différentes.

3 — Grandeurs

Erreur_rel: rapport sans dimension entre l'écart absolu et la valeur de référence; x_mesuré: valeur mesurée; x_ref: valeur de référence.

4 — Formule

$$\text{Erreur_rel} = |x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$$

5 — Lecture

Prononciation complète: «Erreur indice rel égale |x indice mesuré - x indice ref| divisé par |x indice ref|».

6 — Symboles et sens

Erreur_rel: rapport sans dimension entre l'écart absolu et la valeur de référence; x_mesuré: valeur mesurée; x_ref: valeur de référence.

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

x_mesuré et x_ref doivent avoir la même unité; leur différence garde cette unité, puis la division par |x_ref| l'annule. Erreur_rel est donc sans dimension, souvent exprimée en %.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

On mesure d'abord l'écart absolu entre mesure et référence, puis on le rapporte à la taille de la référence afin d'obtenir un écart comparable entre différentes échelles.

11 — Hypothèses

x_ref doit être non nul. Près de zéro, une erreur relative peut devenir instable et une erreur absolue ou une autre normalisation est préférable.

12 — Contrôle indépendant

Contrôle inverse: Erreur_rel × |x_ref| doit redonner |x_mesuré - x_ref|. Le signe de l'écart est volontairement perdu par la valeur absolue.

13 — Cas numérique

$x_{\text{mesuré}} = 9.8$ $x_{\text{ref}} = 10.0$ $\text{Erreur_rel} = |9.8 - 10.0| / 10.0 = 0.020 = 2.0\%$

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

On mesure d'abord l'écart absolu entre mesure et référence, puis on le rapporte à la taille de la référence afin d'obtenir un écart comparable entre différentes échelles.

15 — Vérification

Contrôle inverse: Erreur_rel × |x_ref| doit redonner |x_mesuré - x_ref|. Le signe de l'écart est volontairement perdu par la valeur absolue.

16 — Estimation mentale

Estimer combien de fois |x_ref| «tient» dans |x_mesuré - x_ref|; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Erreur_rel avant le calcul précis.

17 — Interprétation

L'interprétation de «Erreur_rel = |x_mesuré - x_ref| / |x_ref|» appartient au contexte «10. Incertitude et hypothèses concurrentes». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario « 10. Incertitude et hypothèses concurrentes »; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

À écart absolu fixé, doubler |x_ref| divise l'erreur relative par deux. À référence fixe, l'erreur relative varie linéairement avec l'écart absolu.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : 48.5, 50.0. Appliquez « Erreur_rel = $|x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : 48.5, 50.0. Relation appliquée : Erreur_rel = $|x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$. Calcul et résultat : Erreur_rel = $|48.5 - 50.0| / 50.0 = 1.5 / 50.0 = 0.030 = 3.0\%$. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour « 10. Incertitude et hypothèses concurrentes ».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de « 10. Incertitude et hypothèses concurrentes », refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

$x_{\text{mesuré}} = 9.8 x_{\text{ref}} = 10.0$ Erreur_rel = $|9.8 - 10.0| / 10.0 = 0.020 = 2.0\%$ Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

L'interprétation de « Erreur_rel = $|x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$ » appartient au contexte « 10. Incertitude et hypothèses concurrentes ». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

11. Temps scientifique protégé pendant une EVA

$$T_{\text{science}} = T_{\text{EVA}} - T_{\text{aller}} - T_{\text{retour}} - T_{\text{contingence}} - T_{\text{rentrée}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $T_{\text{science}} = T_{\text{EVA}} - T_{\text{aller}} - T_{\text{retour}} - T_{\text{contingence}} - T_{\text{rentrée}}$ » dans « 11. Temps scientifique protégé pendant une EVA » ?

2 — Intuition sans symboles

Dans « 11. Temps scientifique protégé pendant une EVA », l'écart entre deux états comparables donne directement la marge, la perte ou la différence utile à la décision.

3 — Grandeurs

T_{science} : temps réellement disponible pour la science de terrain; T_{EVA} : durée maximale planifiée de la sortie; T_{aller} : temps de transit aller; T_{retour} : temps de retour protégé; $T_{\text{contingence}}$: réserve non consommable pour aléas; $T_{\text{rentrée}}$: temps nécessaire au sas, au déshabillage et à la sécurisation.

4 — Formule

$$T_{\text{science}} = T_{\text{EVA}} - T_{\text{aller}} - T_{\text{retour}} - T_{\text{contingence}} - T_{\text{rentrée}}$$

5 — Lecture

Lire « $T_{\text{science}} = T_{\text{EVA}} - T_{\text{aller}} - T_{\text{retour}} - T_{\text{contingence}} - T_{\text{rentrée}}$ » en nommant chaque opération, indice, fonction et symbole.

6 — Symboles et sens

T_{science} : temps réellement disponible pour la science de terrain; T_{EVA} : durée maximale planifiée de la sortie; T_{aller} : temps de transit aller; T_{retour} : temps de retour protégé; $T_{\text{contingence}}$: réserve non consommable pour aléas; $T_{\text{rentrée}}$: temps nécessaire au sas, au déshabillage et à la sécurisation.

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses, fonctions et lettres grecques afin de pouvoir reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

Toutes les durées sont exprimées dans la même unité, par exemple en heures; T_{science} est alors obtenu dans cette unité.

9 — Convention

Conserver la même frontière de système, la même base temporelle, les mêmes unités et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

Soustraire les durées incompressibles et les réserves du budget EVA empêche de transformer une sortie scientifique en mission sans marge de retour.

11 — Hypothèses

Le budget est valide seulement si les temps de transit, de rentrée et de contingence sont définis sur le même scénario et ne se recouvrent pas.

12 — Contrôle indépendant

La somme $T_{\text{science}} + T_{\text{aller}} + T_{\text{retour}} + T_{\text{contingence}} + T_{\text{rentrée}}$ doit reconstruire T_{EVA} .

13 — Cas numérique

Avec $T_{\text{EVA}} = 8,0$ h, $T_{\text{aller}} = 1,2$ h, $T_{\text{retour}} = 1,2$ h, $T_{\text{contingence}} = 1,0$ h et $T_{\text{rentrée}} = 0,8$ h :
 $T_{\text{science}} = 8,0 - 1,2 - 1,2 - 1,0 - 0,8 = 3,8$ h.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

Soustraire les durées incompressibles et les réserves du budget EVA empêche de transformer une sortie scientifique en mission sans marge de retour.

15 — Vérification

La somme $T_{\text{science}} + T_{\text{aller}} + T_{\text{retour}} + T_{\text{contingence}} + T_{\text{rentrée}}$ doit reconstruire T_{EVA} .

16 — Estimation mentale

Avant calcul, la science ne peut jamais disposer de plus que la durée EVA diminuée des transits et de la réserve.

17 — Interprétation

Si T_{science} devient faible ou nul, supprimer des objectifs optionnels plutôt que consommer la réserve de retour ou de contingence.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne démontre ni que les données d'entrée sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario « 11. Temps scientifique protégé pendant une EVA »; les mesures, hypothèses et limites doivent rester traçables.

19 — Sensibilité

Toute augmentation du temps de retour ou de contingence réduit minute pour minute le temps scientifique disponible.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Données de l'exercice : $T_{\text{EVA}} = 7,5$ h; $T_{\text{aller}} = 1,0$ h; $T_{\text{retour}} = 1,4$ h; $T_{\text{contingence}} = 0,9$ h; $T_{\text{rentrée}} = 0,7$ h. Appliquez « $T_{\text{science}} = T_{\text{EVA}} - T_{\text{aller}} - T_{\text{retour}} - T_{\text{contingence}} - T_{\text{rentrée}}$ », montrez la substitution, les conversions et l'unité finale.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Données utilisées : $T_{\text{EVA}} = 7,5$ h; $T_{\text{aller}} = 1,0$ h; $T_{\text{retour}} = 1,4$ h; $T_{\text{contingence}} = 0,9$ h; $T_{\text{rentrée}} = 0,7$ h. Relation appliquée : $T_{\text{science}} = T_{\text{EVA}} - T_{\text{aller}} - T_{\text{retour}} - T_{\text{contingence}} - T_{\text{rentrée}}$. Calcul et résultat : Avec $T_{\text{EVA}} = 7,5$ h, $T_{\text{aller}} = 1,0$ h, $T_{\text{retour}} = 1,4$ h, $T_{\text{contingence}} = 0,9$ h et $T_{\text{rentrée}} = 0,7$ h : $T_{\text{science}} = 7,5 - 1,0 - 1,4 - 0,9 - 0,7 = 3,5$ h. Contrôler l'unité avec l'étape 8, puis relier le résultat à la décision décrite pour « 11. Temps scientifique protégé pendant une EVA ».

Exercice autonome. Sans relire l'étape 13, reprenez le cas numérique de référence de « 11. Temps scientifique protégé pendant une EVA », refaites les conversions et vérifiez le résultat par une méthode indépendante.

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $T_{EVA} = 8,0$ h, $T_{aller} = 1,2$ h, $T_{retour} = 1,2$ h, $T_{contingence} = 1,0$ h et $T_{rentrée} = 0,8$ h :
 $T_{science} = 8,0 - 1,2 - 1,2 - 1,0 - 0,8 = 3,8$ h. Le contrôle indépendant doit retrouver le même ordre de grandeur et la même unité.

21 — Décision mission

Si $T_{science}$ devient faible ou nul, supprimer des objectifs optionnels plutôt que consommer la réserve de retour ou de contingence.

On injecte maintenant l'événement suivant: un échantillon perd son contexte exact.

2. Roches, minéraux et textures

Dans ce module, roches, minéraux et textures sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

On injecte maintenant l'événement suivant: une photo n'a pas d'échelle fiable.

3. Stratigraphie et relations d'âge

Dans ce module, stratigraphie et relations d'âge sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

— « Stratigraphie et relations d'âge ».

On injecte maintenant l'événement suivant: la carte masque une pente locale dangereuse.

4. Altération et indices d'eau

Dans ce module, altération et indices d'eau sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

On injecte maintenant l'événement suivant: un résultat atypique est pris trop vite pour une découverte.

5. Cartographie et échelle

Dans ce module, cartographie et échelle sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

On injecte maintenant l'événement suivant: un prélèvement contamine le suivant.

6. Carnet de terrain et métadonnées

Dans ce module, carnet de terrain et métadonnées sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

On injecte maintenant l'événement suivant: la météo réduit le temps de terrain de moitié.

7. Échantillonnage et représentativité

Dans ce module, échantillonnage et représentativité sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

On injecte maintenant l'événement suivant: un échantillon perd son contexte exact.

8. Géologie appliquée aux ressources

Dans ce module, géologie appliquée aux ressources sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

— « Géologie appliquée aux ressources ».

On injecte maintenant l'événement suivant: une photo n'a pas d'échelle fiable.

9. Géologie appliquée à l'implantation

Dans ce module, géologie appliquée à l'implantation sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

On injecte maintenant l'événement suivant: la carte masque une pente locale dangereuse.

10. Incertitude et hypothèses concurrentes

Dans ce module, incertitude et hypothèses concurrentes sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de science, de ressources, de construction et de sécurité.

On injecte maintenant l'événement suivant: un résultat atypique est pris trop vite pour une découverte.

Exercices progressifs avec corrigés 1:1

Exercice 1: Chronologie géologique de Mars

Analysez chronologie géologique de mars. Relation à tester: « $p = m / V$ ». Cas dégradé: une photo n'a pas d'échelle fiable. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 1: Chronologie géologique de Mars

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 1: Chronologie géologique de Mars

Résultat

Corrigé — Exercice 1: Chronologie géologique de Mars

Exercice 2: Roches, minéraux et textures

Analysez roches, minéraux et textures. Relation à tester: « Échelle = distance_carte / distance_terrain ». Cas dégradé: la carte masque une pente locale dangereuse. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 2: Roches, minéraux et textures

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant

0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 2: Roches, minéraux et textures

Résultat

Corrigé — Exercice 2: Roches, minéraux et textures

Exercice 3: Stratigraphie et relations d'âge

Analysez stratigraphie et relations d'âge. Relation à tester: « $\text{Score_site} = \sum(w_i \times s_i)$ ». Cas dégradé: un résultat atypique est pris trop vite pour une découverte. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 3: Stratigraphie et relations d'âge

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 3: Stratigraphie et relations d'âge

Résultat

Corrigé — Exercice 3: Stratigraphie et relations d'âge

Exercice 4: Altération et indices d'eau

Analysez altération et indices d'eau. Relation à tester: « $\text{Erreur_rel} = |x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$ ». Cas dégradé: un prélèvement contamine le suivant. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 4: Altération et indices d'eau

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 4: Altération et indices d'eau

Résultat

Corrigé — Exercice 4: Altération et indices d'eau

Exercice 5: Cartographie et échelle

Relation à tester: « $p = m / V$ ». Cas dégradé: la météo réduit le temps de terrain de moitié. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 5: Cartographie et échelle

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Exercice 6: Carnet de terrain et métadonnées

Analysez carnet de terrain et métadonnées. Relation à tester: « Échelle = distance_carte / distance_terrain ». Cas dégradé: un échantillon perd son contexte exact. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 6: Carnet de terrain et métadonnées

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 6: Carnet de terrain et métadonnées

Résultat

Corrigé — Exercice 6: Carnet de terrain et métadonnées

Exercice 7: Échantillonnage et représentativité

Relation à tester: « Score_site = $\sum(w_i \times s_i)$ ». Cas dégradé: une photo n'a pas d'échelle fiable. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 7: Échantillonnage et représentativité

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 7: Échantillonnage et représentativité

Résultat

Corrigé — Exercice 7: Échantillonnage et représentativité

Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources

Analysez géologie appliquée aux ressources. Relation à tester: « Erreur_rel = $|x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$ ». Cas dégradé: la carte masque une pente locale dangereuse. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources

Données du cas

Exercice guidé — Stratigraphie et relations d'âge — Cas « Stratigraphie et relations d'âge » — Dans ce module, chronologie géologique de mars sert directement à lire un terrain martien, conserver le contexte des observations et transformer la géologie en décisions de... Repère: Un échantillon de 1,35 kg occupant 0,50 L correspond à 2,7 kg/L, soit 2700 kg/m³ — « Chronologie géologique de Mars ». Réserve: En terrain martien, la référence elle-même peut être incertaine: il faut donc séparer erreur instrumentale et incertitude géologique.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources

Résultat

Corrigé — Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources

Mini-projet intégrateur et dossier de référence

Comparer trois sites fictifs à partir d'une carte simplifiée. Documenter critères, poids, incertitudes, ressources, risques de mobilité et intérêt scientifique, puis défendre un choix et expliquer quelle nouvelle donnée pourrait inverser la décision.

« Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources » — hypothèses, budget, marges.

« Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources » — interfaces et causes communes.

« Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources » — calculs, limites, critères.

Repères du passage: inventaire

Repères du passage: sous-système · redondance

Vérification de maîtrise du module 24

- « Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources » — unités et ordre de grandeur.
- « Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources » — cas dégradé.
- « Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources » — marge décisionnelle.
- « Exercice 8: Géologie appliquée aux ressources » — mesure de contrôle.
- Termes de contrôle: Vérification

contrôle dimensionnel · ordre de grandeur

Repères du passage: état · contrôle

Repères du passage: masse · substitution

Repères du passage: validation

Repères du passage: Mode dégradé

Repères du passage: robustesse

Repères du passage: mobilité

Repères du passage: poids

Repères du passage: site

Repères du passage: incertitude

Termes. contrôle dimensionnel · ordre de grandeur

Sources primaires et passerelles

- NASA Artemis geology training
- NASA NTRS — Geology and Field Training
- NASA NTRS — astronaut geoscience field training
- NASA — Planetary analogs

Matrice de parité FR ↔ EN

Chaque mini-leçon quantitative française ci-dessous correspond à une mini-leçon canonique anglaise du même module; la parité porte sur le niveau intellectuel, les calculs, les exercices et la décision mission.

#	Mini-leçon FR	Correspondance EN	Formule canonique
1	1. Chronologie géologique de Mars	Crater density — compare surfaces of different size	$D_{\text{cratères}} = N_{\text{cratères}} / A$

#	Mini-leçon FR	Correspondance EN	Formule canonique
2	2. Roches, minéraux et textures	Rock bulk density — connect sample mass to volume	$\rho = m / V$
3	3. Stratigraphie et relations d'âge	Stratigraphic thickness from two elevations	Épaisseur = $z_{\text{toit}} - z_{\text{base}}$
4	4. Altération et indices d'eau	Altered-mass fraction — quantify how much of a sample changed	Fraction_altérée = $m_{\text{altérée}} / m_{\text{totale}}$
5	5. Cartographie et échelle	Map scale as a dimensionless ratio	Échelle = $\text{distance_carte} / \text{distance_terrain}$
6	6. Carnet de terrain et métadonnées	Metadata completeness — audit whether a sample record can be reconstructed	Complétude = $N_{\text{champs_renseignés}} / N_{\text{champs_requis}}$
7	7. Échantillonnage et représentativité	Sampling density — relate sample count to surveyed area	Densité_échantillonnage = N / A
8	8. Géologie appliquée aux ressources	Useful-material mass fraction — turn assay mass into grade	Teneur = $m_{\text{utile}} / m_{\text{échantillon}}$
9	9. Géologie appliquée à l'implantation	Weighted site score — combine criteria without hiding the weights	Score_site = $\sum(w_i \times s_i)$
10	10. Incertitude et hypothèses concurrentes	Relative error — compare a measurement with a reference magnitude	Erreur_rel = $ x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}} / x_{\text{ref}} $
11	11. Temps scientifique protégé pendant une EVA	Protected science time inside an EVA traverse	$T_{\text{science}} = T_{\text{EVA}} - T_{\text{aller}} - T_{\text{retour}} - T_{\text{contingence}} - T_{\text{rentrée}}$