

Science de terrain, échantillonnage et protection planétaire

Apprendre à transformer une roche ou un prélèvement martien en donnée scientifique traçable: contexte, protocole, contamination, chaîne de garde, stockage et décisions de protection planétaire.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Science de terrain, échantillonnage et protection planétaire: comment « Comprendre avant de calculer » agit-il sur « stérilité », et quel repère issu de « protection planétaire » permet de vérifier la décision?

Intuition. Un échantillon rocheux potentiellement intéressant doit être prélevé sans contaminer la zone, documenté précisément puis conservé pour une analyse future.

1

Comprendre avant de calculer

Un échantillon rocheux potentiellement intéressant doit être prélevé sans contaminer la zone, documenté précisément puis conservé pour une analyse future.

2

stérilité

Définition sans prérequis.

3

protection planétaire

Définition sans prérequis.

Repère concret. Validation 37 — échantillon, stérilité, chaîne de garde, protection planétaire.

- Comprendre avant de calculer — Un échantillon rocheux potentiellement intéressant doit être prélevé sans contaminer la zone, documenté précisément puis conservé pour une analyse future.
- stérilité — Définition sans prérequis.
- protection planétaire — Définition sans prérequis.

Préparation du module 37: modules 00 à 34 recommandés selon le sujet. Le module 37 revient sur les grandeurs qui conditionnent directement « Science de terrain, échantillonnage et protection planétaire ».

RAMPE ZÉRO PRÉREQUIS · MODULE 37

Comprendre avant de calculer

Un échantillon rocheux potentiellement intéressant doit être prélevé sans contaminer la zone, documenté précisément puis conservé pour une analyse future.

Progression du module — échantillon; stérilité; chaîne de garde; protection planétaire.

échantillon

Définition sans prérequis. Un **échantillon** est une portion de matière prélevée pour représenter ou caractériser un objet, un site ou un processus, avec un contexte documenté.

Scène concrète. Une roche sans position, orientation ou stratigraphie perd une partie importante de sa valeur scientifique.

Contrôle mental. Un [échantillon](#) n'a de valeur scientifique que si son contexte est connu: emplacement, profondeur, orientation, date et méthode de prélèvement doivent rester associés au contenant.

Piège à éviter. Accumuler des échantillons sans question scientifique ni chaîne de documentation peut consommer des ressources pour peu d'information.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [échantillon](#) » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Exercice guidé — échantillon

Situation à reconnaître. Une roche sans position, orientation ou stratigraphie perd une partie importante de sa valeur scientifique.

Vérification demandée. Un échantillon n'a de valeur scientifique que si son contexte est connu: emplacement, profondeur, orientation, date et méthode de prélèvement doivent rester associés au contenant.

Erreur à écarter. Accumuler des échantillons sans question scientifique ni chaîne de documentation peut consommer des ressources pour peu d'information.

Corrigé raisonné

Sens précis

Un échantillon est une portion de matière prélevée pour représenter ou caractériser un objet, un site ou un processus, avec un contexte documenté.

Test du cas

Un échantillon n'a de valeur scientifique que si son contexte est connu: emplacement, profondeur, orientation, date et méthode de prélèvement doivent rester associés au contenant.

Piège exclu

Accumuler des échantillons sans question scientifique ni chaîne de documentation peut consommer des ressources pour peu d'information.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « échantillon » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Quantification

échantillon: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

échantillon: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

stérilité

Définition sans prérequis. La [stérilité](#) désigne l'absence de micro-organismes viables selon une méthode et un niveau de preuve définis. En exploration planétaire, on cherche souvent plutôt des niveaux de propreté et de réduction biologique spécifiés.

Scène concrète. Un outil destiné à un prélèvement sensible peut recevoir un traitement et un emballage contrôlés.

Contrôle mental. Un contrôle de [stérilité](#) doit inclure témoins et chaîne de manipulation; l'absence de croissance observée ne prouve rien si la méthode de détection elle-même a échoué.

Piège à éviter. Dire qu'un objet est « propre » n'est pas équivalent à stérile; la méthode de preuve doit être précisée.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [stérilité](#) » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Exercice guidé — stérilité

Situation à reconnaître. Un outil destiné à un prélèvement sensible peut recevoir un traitement et un emballage contrôlés.

Vérification demandée. Un contrôle de stérilité doit inclure témoins et chaîne de manipulation; l'absence de croissance observée ne prouve rien si la méthode de détection elle-même a échoué.

Erreur à écarter. Dire qu'un objet est « propre » n'est pas équivalent à stérile; la méthode de preuve doit être précisée.

Corrigé raisonné

Sens précis

La stérilité désigne l'absence de micro-organismes viables selon une méthode et un niveau de preuve définis. En exploration planétaire, on cherche souvent plutôt des niveaux de propreté et de réduction biologique spécifiés.

Test du cas

Un contrôle de stérilité doit inclure témoins et chaîne de manipulation; l'absence de croissance observée ne prouve rien si la méthode de détection elle-même a échoué.

Piège exclu

Dire qu'un objet est « propre » n'est pas équivalent à stérile; la méthode de preuve doit être précisée.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « stérilité » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Termes du corrigé. [vérification](#) · [observation](#)

Quantification

stérilité: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

stérilité: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

chaîne de garde

Définition sans prérequis. La [chaîne de garde](#) enregistre qui a eu la responsabilité d'un échantillon, quand, où et dans quelles conditions, afin de préserver [traçabilité](#) et [crédibilité](#) scientifique.

Scène concrète. Chaque transfert entre terrain, sas, laboratoire et stockage doit pouvoir être retrouvé.

Contrôle mental. À chaque transfert, l'identité, l'[intégrité](#) et le responsable doivent rester traçables; un trou documentaire suffit à affaiblir l'interprétation scientifique ou juridique.

Piège à éviter. Une étiquette seule ne suffit pas si le lien entre contenant, métadonnées et historique peut être rompu.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [chaîne de garde](#) » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Exercice guidé — chaîne de garde

Situation à reconnaître. Chaque transfert entre terrain, sas, laboratoire et stockage doit pouvoir être retrouvé.

Vérification demandée. À chaque transfert, l'identité, l'intégrité et le responsable doivent rester traçables; un trou documentaire suffit à affaiblir l'interprétation scientifique ou juridique.

Erreur à écarter. Une étiquette seule ne suffit pas si le lien entre contenant, métadonnées et historique peut être rompu.

Corrigé raisonné

Sens précis

La chaîne de garde enregistre qui a eu la responsabilité d'un échantillon, quand, où et dans quelles conditions, afin de préserver [traçabilité](#) et [crédibilité](#) scientifique.

Test du cas

À chaque transfert, l'identité, l'intégrité et le responsable doivent rester traçables; un trou documentaire suffit à affaiblir l'interprétation scientifique ou juridique.

Piège exclu

Une étiquette seule ne suffit pas si le lien entre contenant, métadonnées et historique peut être rompu.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « chaîne de garde » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Quantification

chaîne de garde: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

chaîne de garde: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

protection planétaire

Définition sans prérequis. La [protection planétaire](#) regroupe des politiques et pratiques visant à limiter la contamination biologique entre la Terre et d'autres corps, ainsi qu'à préserver la validité scientifique des recherches de vie.

Scène concrète. Une mission vers une zone spéciale potentielle peut imposer des contraintes de propreté plus fortes.

Contrôle mental. Séparez contamination aller et retour: les mesures, niveaux de propreté et décisions ne sont pas identiques selon le sens du risque biologique.

Piège à éviter. La protection planétaire n'est pas seulement une question d'hygiène; elle concerne science, politique de mission et responsabilité internationale.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [protection planétaire](#) » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Exercice guidé — protection planétaire

Situation à reconnaître. Une mission vers une zone spéciale potentielle peut imposer des contraintes de propreté plus fortes.

Vérification demandée. Séparez contamination aller et retour: les mesures, niveaux de propreté et décisions ne sont pas identiques selon le sens du risque biologique.

Erreur à écarter. La protection planétaire n'est pas seulement une question d'hygiène; elle concerne science, politique de mission et responsabilité internationale.

Corrigé raisonné

Sens précis

La protection planétaire regroupe des politiques et pratiques visant à limiter la contamination biologique entre la Terre et d'autres corps, ainsi qu'à préserver la validité scientifique des recherches de vie.

Test du cas

Séparez contamination aller et retour: les mesures, niveaux de propreté et décisions ne sont pas identiques selon le sens du risque biologique.

Piège exclu

La protection planétaire n'est pas seulement une question d'hygiène; elle concerne science, politique de mission et responsabilité internationale.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « protection planétaire » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien.

Quantification

protection planétaire: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

protection planétaire: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

Étude intégrée — Science de terrain, échantillonnage et protection planétaire

Situation à analyser. Un échantillon rocheux potentiellement intéressant doit être prélevé sans contaminer la zone, documenté précisément puis conservé pour une analyse future.

- **échantillon:** Une roche sans position, orientation ou stratigraphie perd une partie importante de sa valeur scientifique. Contrôle attendu: Un échantillon n'a de valeur scientifique que si son contexte est connu: emplacement, profondeur, orientation, date et méthode de prélèvement doivent rester associés au contenant.
- **stérilité:** Un outil destiné à un prélèvement sensible peut recevoir un traitement et un emballage contrôlés. Contrôle attendu: Un contrôle de stérilité doit inclure témoins et chaîne de manipulation; l'absence de croissance observée ne prouve rien si la méthode de détection elle-même a échoué.

- **chaîne de garde:** Chaque transfert entre terrain, sas, laboratoire et stockage doit pouvoir être retrouvé. Contrôle attendu: À chaque transfert, l'identité, l'intégrité et le responsable doivent rester traçables; un trou documentaire suffit à affaiblir l'interprétation scientifique ou juridique.
- **protection planétaire:** Une mission vers une zone spéciale potentielle peut imposer des contraintes de propreté plus fortes. Contrôle attendu: Séparez contamination aller et retour: les mesures, niveaux de propreté et décisions ne sont pas identiques selon le sens du risque biologique.

Le diagnostic ne doit pas confondre « échantillon » et « stérilité ». Le premier se reconnaît ici par le cas suivant: Une roche sans position, orientation ou stratigraphie perd une partie importante de sa valeur scientifique. Le second doit être contrôlé autrement: Un contrôle de stérilité doit inclure témoins et chaîne de manipulation; l'absence de croissance observée ne prouve rien si la méthode de détection elle-même a échoué.

Une seconde vérification croise « chaîne de garde » et « protection planétaire ». Gardez comme alerte « Une étiquette seule ne suffit pas si le lien entre contenant, métadonnées et historique peut être rompu. »; pour « protection planétaire », utilisez plutôt ce test: Séparez contamination aller et retour: les mesures, niveaux de propreté et décisions ne sont pas identiques selon le sens du risque biologique.

Exercice de synthèse

Dans la situation de « Science de terrain, échantillonnage et protection planétaire », classez les indices selon « échantillon » (Un échantillon n'a de valeur scientifique que si son contexte est connu: emplacement, profondeur, orientation, date et méthode de prélèvement doivent rester associés au contenant.), « stérilité » (Un contrôle de stérilité doit inclure témoins et chaîne de manipulation; l'absence de croissance observée ne prouve rien si la méthode de détection elle-même a échoué.), « chaîne de garde » (À chaque transfert, l'identité, l'intégrité et le responsable doivent rester traçables; un trou documentaire suffit à affaiblir l'interprétation scientifique ou juridique.), « protection planétaire » (Séparez contamination aller et retour: les mesures, niveaux de propreté et décisions ne sont pas identiques selon le sens du risque biologique.) Décision suspendue si un contrôle échoue.

Corrigé de synthèse

Pour échantillon, Dans ce module, une erreur sur « échantillon » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien. Le garde-fou principal est: Accumuler des échantillons sans question scientifique ni chaîne de documentation peut consommer des ressources pour peu d'information. Pour stérilité, Dans ce module, une erreur sur « stérilité » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien. Le garde-fou principal est: Dire qu'un objet est « propre » n'est pas équivalent à stérile; la méthode de preuve doit être précisée. Pour chaîne de garde, Dans ce module, une erreur sur « chaîne de garde » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien. Le garde-fou principal est: Une étiquette seule ne suffit pas si le lien entre contenant, métadonnées et historique peut être rompu. Pour protection planétaire, Dans ce module, une erreur sur « protection planétaire » peut rendre un échantillon scientifiquement inutilisable ou introduire une contamination impossible à distinguer d'un signal martien. Le garde-fou principal est: La protection planétaire n'est pas seulement une question d'hygiène; elle concerne science, politique de mission et responsabilité internationale.

Mini-leçons quantitatives canoniques

Ce bloc constitue la référence quantitative du module; les valeurs d'exercice sont pédagogiques et doivent être remplacées par les données de mission avant toute décision réelle.

Allocation d'échantillons par zone

$$n_{\text{zone}} = n_{\text{total}} \times w_{\text{zone}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $n_{\text{zone}} = n_{\text{total}} \times w_{\text{zone}}$ » dans « Allocation d'échantillons par zone » ?

2 — Intuition sans symboles

Une allocation pondérée répartit un nombre limité d'échantillons selon l'importance scientifique décidée à l'avance.

3 — Grandeurs

n_{zone} : échantillons affectés [sample]; n_{total} : échantillons totaux [sample]; w_{zone} : poids de la zone [sans dimension]

4 — Formule

$$n_{\text{zone}} = n_{\text{total}} \times w_{\text{zone}}$$

5 — Lecture

Lire « $n_{\text{zone}} = n_{\text{total}} \times w_{\text{zone}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

n_{zone} : échantillons affectés [sample]; n_{total} : échantillons totaux [sample]; w_{zone} : poids de la zone [sans dimension]

7 — Prononciation

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

8 — Unités

n_{zone} [sample]; n_{total} [sample]; w_{zone} [sans dimension]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

11 — Hypothèses

Les facteurs doivent appartenir au même scénario et leurs unités doivent se combiner correctement.

12 — Contrôle indépendant

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

13 — Cas numérique

Avec $n_{\text{total}} = 40$ sample, $w_{\text{zone}} = 0.25$ sans dimension: $n_{\text{zone}} = 40 \times 0.25 = 10$ sample.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

15 — Vérification

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

16 — Estimation mentale

Estimer séparément chaque facteur donne rapidement l'ordre de grandeur du produit.

17 — Interprétation

Documenter les poids avant la collecte pour éviter de les ajuster après avoir vu les résultats.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Une variation relative d'un facteur se transmet directement au produit si les autres restent constants.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $n_{\text{total}} = 60$ sample, $w_{\text{zone}} = 0.3$ sans dimension: $n_{\text{zone}} = 60 \times 0.3$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $n_{\text{total}} = 60$ sample, $w_{\text{zone}} = 0.3$ sans dimension: $n_{\text{zone}} = 60 \times 0.3 = 18$ sample. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $n_{\text{total}} = 100$ sample, $w_{\text{zone}} = 0.15$ sans dimension: $n_{\text{zone}} = 100 \times 0.15$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $n_{\text{total}} = 100$ sample, $w_{\text{zone}} = 0.15$ sans dimension: $n_{\text{zone}} = 100 \times 0.15 = 15$ sample. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Documenter les poids avant la collecte pour éviter de les ajuster après avoir vu les résultats.

Fraction contaminée

$$f_cont = n_cont / n_total$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $f_cont = n_cont / n_total$ » dans « Fraction contaminée » ?

2 — Intuition sans symboles

La fraction contaminée quantifie la fréquence observée d'un problème de propreté dans le lot évalué.

3 — Grandeurs

f_cont : fraction contaminée [sans dimension]; n_cont : échantillons contaminés [sample]; n_total : échantillons examinés [sample]

4 — Formule

$$f_cont = n_cont / n_total$$

5 — Lecture

Lire « $f_cont = n_cont / n_total$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

f_cont : fraction contaminée [sans dimension]; n_cont : échantillons contaminés [sample]; n_total : échantillons examinés [sample]

7 — Prononciation

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

8 — Unités

f_cont [sans dimension]; n_cont [sample]; n_total [sample]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

11 — Hypothèses

Numérateur et dénominateur doivent décrire le même scénario et le dénominateur doit rester positif.

12 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

13 — Cas numérique

Avec $n_cont = 2$ sample, $n_total = 50$ sample: $f_cont = 2 / 50 = 0.04$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

15 — Vérification

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

16 — Estimation mentale

Comparer les ordres de grandeur du numérateur et du dénominateur permet d'anticiper le résultat.

17 — Interprétation

Suspendre l'interprétation sensible à la contamination si cette fraction dépasse le seuil du protocole.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente avec le numérateur et diminue quand le dénominateur augmente.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $n_cont = 1$ sample, $n_total = 20$ sample: $f_cont = 1 / 20$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $n_cont = 1$ sample, $n_total = 20$ sample: $f_cont = 1 / 20 = 0.05$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $n_{\text{cont}} = 5$ sample, $n_{\text{total}} = 100$ sample: $f_{\text{cont}} = 5 / 100$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $n_{\text{cont}} = 5$ sample, $n_{\text{total}} = 100$ sample: $f_{\text{cont}} = 5 / 100 = 0.05$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Suspendre l'interprétation sensible à la contamination si cette fraction dépasse le seuil du protocole.

Complétude de chaîne de garde

$C_{\text{custody}} = n_{\text{logged}} / n_{\text{transfers}}$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $C_{\text{custody}} = n_{\text{logged}} / n_{\text{transfers}}$ » dans « Complétude de chaîne de garde » ?

2 — Intuition sans symboles

Chaque transfert doit laisser une trace; la complétude mesure la part effectivement documentée.

3 — Grandeurs

C_{custody} : complétude de traçabilité [sans dimension]; n_{logged} : transferts enregistrés [transfer]; $n_{\text{transfers}}$: transferts totaux [transfer]

4 — Formule

$C_{\text{custody}} = n_{\text{logged}} / n_{\text{transfers}}$

5 — Lecture

Lire « $C_{\text{custody}} = n_{\text{logged}} / n_{\text{transfers}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

C_{custody} : complétude de traçabilité [sans dimension]; n_{logged} : transferts enregistrés [transfer]; $n_{\text{transfers}}$: transferts totaux [transfer]

7 — Prononciation

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

8 — Unités

C_{custody} [sans dimension]; n_{logged} [transfer]; $n_{\text{transfers}}$ [transfer]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

11 — Hypothèses

Numérateur et dénominateur doivent décrire le même scénario et le dénominateur doit rester positif.

12 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

13 — Cas numérique

Avec $n_{\text{logged}} = 18$ transfer, $n_{\text{transfers}} = 18$ transfer: $C_{\text{custody}} = 18 / 18 = 1$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

15 — Vérification

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

16 — Estimation mentale

Comparer les ordres de grandeur du numérateur et du dénominateur permet d'anticiper le résultat.

17 — Interprétation

Un échantillon avec une rupture non expliquée de chaîne de garde doit être déclassé ou isolé.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente avec le numérateur et diminue quand le dénominateur augmente.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $n_{\text{logged}} = 23$ transfer, $n_{\text{transfers}} = 25$ transfer: $C_{\text{custody}} = 23 / 25$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $n_{\text{logged}} = 23$ transfer, $n_{\text{transfers}} = 25$ transfer: $C_{\text{custody}} = 23 / 25 = 0.92$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $n_{\text{logged}} = 9$ transfer, $n_{\text{transfers}} = 10$ transfer: $C_{\text{custody}} = 9 / 10$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $n_{\text{logged}} = 9$ transfer, $n_{\text{transfers}} = 10$ transfer: $C_{\text{custody}} = 9 / 10 = 0.9$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Un échantillon avec une rupture non expliquée de chaîne de garde doit être déclassé ou isolé.

Cadence de prélèvement

$$r_{\text{sample}} = n_{\text{samples}} / t_{\text{field}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $r_{\text{sample}} = n_{\text{samples}} / t_{\text{field}}$ » dans « Cadence de prélèvement » ?

2 — Intuition sans symboles

La cadence relie le nombre de prélèvements au temps terrain réellement consommé.

3 — Grandeurs

r_{sample} : cadence de prélèvement [sample/h]; n_{samples} : échantillons collectés [sample]; t_{field} : temps de terrain [h]

4 — Formule

$$r_{\text{sample}} = n_{\text{samples}} / t_{\text{field}}$$

5 — Lecture

Lire « $r_{\text{sample}} = n_{\text{samples}} / t_{\text{field}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

r_{sample} : cadence de prélèvement [sample/h]; n_{samples} : échantillons collectés [sample]; t_{field} : temps de terrain [h]

7 — Prononciation

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

8 — Unités

r_{sample} [sample/h]; n_{samples} [sample]; t_{field} [h]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

11 — Hypothèses

Numérateur et dénominateur doivent décrire le même scénario et le dénominateur doit rester positif.

12 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

13 — Cas numérique

Avec $n_{\text{samples}} = 12$ sample, $t_{\text{field}} = 4$ h: $r_{\text{sample}} = 12 / 4 = 3$ sample/h.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

15 — Vérification

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

16 — Estimation mentale

Comparer les ordres de grandeur du numérateur et du dénominateur permet d'anticiper le résultat.

17 — Interprétation

Ne pas augmenter la cadence au point de sacrifier contexte, photographie, stérilité ou documentation.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente avec le numérateur et diminue quand le dénominateur augmente.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $n_{\text{samples}} = 20$ sample, $t_{\text{field}} = 5$ h: $r_{\text{sample}} = 20 / 5$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $n_{\text{samples}} = 20$ sample, $t_{\text{field}} = 5$ h: $r_{\text{sample}} = 20 / 5 = 4$ sample/h. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $n_{\text{samples}} = 9$ sample, $t_{\text{field}} = 3$ h: $r_{\text{sample}} = 9 / 3$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $n_{\text{samples}} = 9$ sample, $t_{\text{field}} = 3$ h: $r_{\text{sample}} = 9 / 3 = 3$ sample/h. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Ne pas augmenter la cadence au point de sacrifier contexte, photographie, stérilité ou documentation.

Taux de blancs positifs

$f_{\text{blank}} = n_{\text{positive_blanks}} / n_{\text{blanks}}$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $f_{\text{blank}} = n_{\text{positive_blanks}} / n_{\text{blanks}}$ » dans « Taux de blancs positifs » ?

2 — Intuition sans symboles

Les blancs servent à révéler une contamination de procédure qui pourrait être confondue avec un signal martien.

3 — Grandeurs

f_{blank} : fraction de blancs positifs [sans dimension]; $n_{\text{positive_blanks}}$: blancs positifs [blank]; n_{blanks} : blancs analysés [blank]

4 — Formule

$f_{\text{blank}} = n_{\text{positive_blanks}} / n_{\text{blanks}}$

5 — Lecture

Lire « $f_{\text{blank}} = n_{\text{positive_blanks}} / n_{\text{blanks}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

f_{blank} : fraction de blancs positifs [sans dimension]; $n_{\text{positive_blanks}}$: blancs positifs [blank]; n_{blanks} : blancs analysés [blank]

7 — Prononciation

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

8 — Unités

f_blank [sans dimension]; n_positive_blanks [blank]; n_blanks [blank]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

11 — Hypothèses

Numérateur et dénominateur doivent décrire le même scénario et le dénominateur doit rester positif.

12 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

13 — Cas numérique

Avec n_positive_blanks = 1 blank, n_blanks = 20 blank: $f_blank = 1 / 20 = 0.05$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

15 — Vérification

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

16 — Estimation mentale

Comparer les ordres de grandeur du numérateur et du dénominateur permet d'anticiper le résultat.

17 — Interprétation

Un taux non nul impose d'identifier la source avant toute revendication sensible.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente avec le numérateur et diminue quand le dénominateur augmente.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec n_positive_blanks = 0 blank, n_blanks = 10 blank: $f_blank = 0 / 10$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec n_positive_blanks = 0 blank, n_blanks = 10 blank: $f_blank = 0 / 10 = 0$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec n_positive_blanks = 2 blank, n_blanks = 25 blank: $f_blank = 2 / 25$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec n_positive_blanks = 2 blank, n_blanks = 25 blank: $f_blank = 2 / 25 = 0.08$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Un taux non nul impose d'identifier la source avant toute revendication sensible.

Masse préservée

$M_preserved = M_collected \times \eta_{pres}$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $M_preserved = M_collected \times \eta_{pres}$ » dans « Masse préservée » ?

2 — Intuition sans symboles

La masse réellement disponible pour analyses futures dépend de ce qui survit au conditionnement et aux allocations immédiates.

3 — Grandeurs

M_preserved: masse préservée [g]; M_collected: masse collectée [g]; eta_pres: fraction préservée [sans dimension]

4 — Formule

$M_{\text{preserved}} = M_{\text{collected}} \times \eta_{\text{pres}}$

5 — Lecture

Lire « $M_{\text{preserved}} = M_{\text{collected}} \times \eta_{\text{pres}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

M_preserved: masse préservée [g]; M_collected: masse collectée [g]; eta_pres: fraction préservée [sans dimension]

7 — Prononciation

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

8 — Unités

M_preserved [g]; M_collected [g]; eta_pres [sans dimension]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

11 — Hypothèses

Les facteurs doivent appartenir au même scénario et leurs unités doivent se combiner correctement.

12 — Contrôle indépendant

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

13 — Cas numérique

Avec $M_{\text{collected}} = 500 \text{ g}$, $\eta_{\text{pres}} = 0.8$ sans dimension: $M_{\text{preserved}} = 500 \times 0.8 = 400 \text{ g}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

15 — Vérification

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

16 — Estimation mentale

Estimer séparément chaque facteur donne rapidement l'ordre de grandeur du produit.

17 — Interprétation

Réserver explicitement une fraction pour les instruments et questions scientifiques futurs.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Une variation relative d'un facteur se transmet directement au produit si les autres restent constants.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $M_{\text{collected}} = 300 \text{ g}$, $\eta_{\text{pres}} = 0.9$ sans dimension: $M_{\text{preserved}} = 300 \times 0.9$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $M_{\text{collected}} = 300 \text{ g}$, $\eta_{\text{pres}} = 0.9$ sans dimension: $M_{\text{preserved}} = 300 \times 0.9 = 270 \text{ g}$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $M_{\text{collected}} = 1000 \text{ g}$, $\eta_{\text{pres}} = 0.75$ sans dimension: $M_{\text{preserved}} = 1000 \times 0.75$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $M_{\text{collected}} = 1000 \text{ g}$, $\eta_{\text{pres}} = 0.75$ sans dimension: $M_{\text{preserved}} = 1000 \times 0.75 = 750 \text{ g}$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Progression de maîtrise

1. échantillon: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
2. stérilité: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
3. chaîne de garde: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
4. protection planétaire: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
5. Synthèse de « Science de terrain, échantillonnage et protection planétaire »: confrontez « échantillon » à « stérilité »; choisissez le contrôle prioritaire.

Vérification de maîtrise

Validation 37 — échantillon, stérilité, chaîne de garde, protection planétaire. Pour chaque notion: un indice et un contrôle.

Objectifs de maîtrise

- Distinguer les observations, les hypothèses et les inconnues lorsqu'on étudie « Comprendre avant de calculer ».
- Quantifier au moins une grandeur nécessaire à « échantillon » sans masquer les conversions.
- Expliquer ce qui invaliderait le raisonnement retenu pour « stérilité ».
- Relier « chaîne de garde » aux contraintes concrètes du module 37.

1. Un échantillon sans contexte perd une grande partie de sa valeur

Une roche détachée de son emplacement ne raconte pas toute son histoire. Le scientifique doit enregistrer position, orientation, unité géologique, voisinage, photographies et relation avec les couches observées. La documentation de terrain est donc aussi importante que le prélèvement lui-même.

2. Formuler une hypothèse avant de prélever

Prélever partout **produit** rapidement plus de matière que l'on ne peut analyser. Une bonne campagne part d'une question: âge relatif d'une couche, présence d'un minéral hydraté, origine d'un dépôt, traces d'altération. Le choix de l'échantillon doit pouvoir être expliqué par rapport à cette question.

3. Contamination: distinguer ce qui vient de Mars de ce que nous avons apporté

Outils, gants, lubrifiants, habitat et équipage peuvent transporter molécules et organismes terrestres. Pour une recherche de **biosignatures**, une contamination infime peut devenir scientifiquement majeure. Les procédures de nettoyage, témoins blancs et enregistrements de contact doivent permettre de reconstruire l'histoire du prélèvement.

4. Chaîne de garde et identifiant unique

Chaque échantillon doit posséder un identifiant unique relié aux métadonnées, aux personnes qui l'ont manipulé, aux conteneurs utilisés et aux changements de stockage. Une chaîne de garde incomplète ne signifie pas seulement un problème administratif: elle peut empêcher de savoir si une signature chimique provient réellement du terrain.

5. Sous-échantillonnage et conservation

Un échantillon précieux ne doit pas être entièrement détruit par la première analyse. On peut séparer fractions destinées à la minéralogie, chimie, organique, microbiologie ou archivage à long terme. Les conditions de [température](#), [pression](#) et atmosphère du conteneur peuvent elles-mêmes modifier certains matériaux.

6. Protection planétaire dans les deux directions

La protection planétaire vise à limiter la contamination d'un monde par des organismes terrestres et, pour certains retours d'échantillons, à éviter qu'un matériau extraterrestre non caractérisé soit libéré sans contrôle. Sur une base humaine, la présence même de l'équipage rend la séparation scientifique plus difficile et exige des zones et procédures dédiées.

7. La géologie de terrain est une décision sous contrainte de temps

Sur Mars, une sortie scientifique ne peut pas ressembler à une promenade libre. L'équipe dispose d'un budget de temps, d'énergie, de communications, de consommables [EVA](#) et de capacité de transport d'échantillons. Le plan de traverse doit donc hiérarchiser les objectifs avant le départ: observations indispensables, prélèvements souhaitables, mesures opportunistes et critères d'abandon. Un affleurement spectaculaire peut être scientifiquement moins utile qu'une série de points plus ordinaires mais replacés dans une séquence stratigraphique cohérente. Le scientifique de terrain doit donc continuellement arbitrer entre détail local et contexte régional. La valeur d'un prélèvement dépend autant de la [qualité](#) de sa documentation que de sa composition.

8. Blancs, témoins et provenance: détecter la contamination au lieu de la supposer absente

Une chaîne de garde scientifique robuste inclut des témoins permettant de reconnaître ce que la mission elle-même ajoute à l'échantillon. Un blanc de contamination peut exposer un support propre aux mêmes opérations sans prélever la cible, afin d'identifier poussières, molécules ou micro-organismes provenant des gants, du conteneur ou de l'environnement de travail. Des témoins de matériaux et des journaux de manipulation rendent ensuite possible une analyse rétrospective. Cette discipline est essentielle lorsqu'une mesure biologique ou organique pourrait être interprétée comme preuve d'une histoire martienne. Le bon protocole ne promet jamais « zéro contamination »; il cherche à mesurer, limiter et attribuer la contamination qui survient réellement.

9. Préserver la valeur future d'un échantillon

Un échantillon peut être analysé avec des instruments qui n'existent pas encore au moment de son prélèvement. La stratégie de conservation doit donc éviter de consommer ou d'altérer toute la matière disponible. Température, pression, atmosphère du conteneur, vibrations, rayonnement et durée de stockage peuvent modifier minéraux, glaces ou composés organiques. L'équipe doit enregistrer l'historique de chaque tube, conserver des aliquotes lorsque c'est pertinent et documenter toute ouverture. Cette logique transforme une roche en objet scientifique traçable. Elle permet aussi à une équipe différente, des années plus tard, de reconstruire ce qui a été fait et de distinguer signal martien, changement de stockage et contamination terrestre.

10. Exemple calculé: plan d'échantillonnage

Un affleurement de 120 m de long comporte quatre unités visibles. Une équipe dispose de 18 tubes. Si elle réserve 2 tubes comme blancs/contrôles et 4 pour des opportunités imprévues, il reste 12 tubes planifiés, soit en moyenne 3 par unité. Cette moyenne ne doit pas être appliquée mécaniquement: une unité plus variable peut justifier davantage de prélèvements.

Approfondissement: construire un plan d'échantillonnage qui conserve une preuve

Prélever davantage n'améliore pas automatiquement la science. Un bon plan répartit une [masse](#) ou un nombre limité d'échantillons entre hypothèses, témoins, doublons et réserves pour des instruments futurs. La protection planétaire ajoute une autre [exigence](#): documenter les chemins par lesquels une contamination terrestre pourrait atteindre l'échantillon. La provenance, la chaîne de garde et les blancs de contrôle deviennent donc une partie de la mesure elle-même. [JPL — Planetary Protection](#)

Exemple calculé. Une équipe dispose de 24 tubes et décide d'en réserver 20 % pour des doublons ou des analyses futures. $24 \times 0,20 = 4,8$; on arrondit à 5 tubes réservés. Il reste 19 tubes. Si trois unités géologiques doivent recevoir au moins 4 tubes chacune, le minimum consomme $3 \times 4 = 12$ tubes, laissant 7 tubes pour les cibles les plus discriminantes. Le calcul ne choisit pas les roches à la place du géologue; il rend visible le coût d'une stratégie et évite de découvrir trop tard que toutes les catégories ne peuvent plus être représentées.

La logique doit ensuite être reliée aux métadonnées. Un tube sans position, orientation, images, contexte stratigraphique et historique de manipulation peut perdre une grande part de sa valeur. C'est pourquoi [Perseverance](#) documente étroitement les échantillons mis en cache. Pour une future équipe humaine, la tentation de collecter beaucoup sera encore plus forte, mais la qualité du dossier associé restera déterminante. [NASA — Mars Rock Samples](#)

11. Exercice progressif

Construisez la fiche terrain d'un échantillon fictif: coordonnées, photographie, horizon, texture, outil, opérateur, conteneur, heure, hypothèse testée et risque de contamination. Identifiez les données dont l'absence rendrait l'échantillon difficile à interpréter.

Correction raisonnée

Exemple de fiche complète: échantillon M37-01, coordonnées et [altitude](#) enregistrées par le rover; trois photographies avant prélèvement avec échelle; horizon « couche claire sous dalle sombre »; texture fine avec inclusions millimétriques; outil stérilisé n°2; opérateur identifié; conteneur scellé C-014; heure locale et UTC; hypothèse « dépôt aqueux tardif »; risque de contamination « contact gant extérieur: non, outil témoin: négatif ». Sans coordonnées précises, image du contexte, heure, identité de l'outil/conteneur ou historique de contamination, l'échantillon perd une partie de sa valeur: on ne peut plus reconstruire son contexte géologique ni distinguer un signal naturel d'une contamination introduite.

Données du cas

Exercice de synthèse — Dans la situation de « Science de terrain, échantillonnage et protection planétaire », classez les indices selon « échantillon » (Un échantillon n'a de valeur scientifique que si son contexte est connu: emplacement, profondeur, orientation, date et méthode de prélèvement doivent rester associés au contenant.), « stérilité » (Un contrôle de stérilité doit inclure témoins et chaîne de manipulation; l'absence de croissance observée ne prouve rien si la méthode de détection elle-même a échoué.), « chaîne de garde » (À

Relation

Sans coordonnées précises, image du contexte, heure, identité de l'outil/conteneur ou historique de contamination, l'échantillon perd une partie de sa valeur: on ne peut plus reconstruire son contexte géologique ni distinguer un signal naturel d'une contamination introduite.

Raisonnement

Correction raisonnée Exemple de fiche complète: échantillon M37-01, coordonnées et altitude enregistrées par le rover; trois photographies avant prélèvement avec échelle; horizon « couche claire sous dalle sombre »; texture fine avec inclusions millimétriques; outil stérilisé n°2; opérateur identifié; conteneur scellé C-014; heure locale et UTC; hypothèse « dépôt aqueux tardif »; risque de contamination « contact gant extérieur: non, outil témoin: négatif ». Sans coordonnées précises, image du contexte, heure, identité de l'outil/conteneur ou historique de contamination, l'échantillon perd une partie de sa valeur: on ne peut plus reconstruire son contexte géologique ni distinguer un signal naturel d'une contamination introduite.

Résultat

Correction raisonnée Exemple de fiche complète: échantillon M37-01, coordonnées et altitude enregistrées par le rover

Interprétation

risque de contamination « contact gant extérieur: non, outil témoin: négatif ».

Mini-projet

Planifier une EVA scientifique de six heures destinée à prélever huit échantillons dans trois unités géologiques tout en conservant [marge de sécurité](#), contrôles de contamination, documentation photographique et chaîne de garde.

Sources primaires et passerelles

- [JPL — Planetary Protection Mission Implementation](#)
- [NASA Science — Mars Rock Samples](#)
- [NASA Science — Mars](#)

Matrice de parité FR ↔ EN

Allocation d'échantillons par zone	Sample allocation by zone
Fraction contaminée	Contamination fraction
Complétude de chaîne de garde	Chain-of-custody completeness
Cadence de prélèvement	Sampling rate
Taux de blancs positifs	Positive-blank fraction
Masse préservée	Preserved sample mass

Repères lexicaux du module. [état dégradé](#)