

Opérations scientifiques de terrain et laboratoire martien



Échantillons martiens étudiés dans un laboratoire d'implantation.

Transformer des observations, prélèvements et analyses locales en données scientifiques traçables malgré le temps limité, la **contamination** et le délai Terre-Mars. Repères INFO: contexte de **l'échantillon**, analyse destructive, **autonomie** scientifique. Le contexte de l'échantillon, l'analyse destructive et l'autonomie scientifique sont donc traités comme trois contraintes distinctes de la chaîne scientifique.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Opérations scientifiques de terrain et laboratoire martien: comment « Mini-projet de validation » agit-il sur « Plan d'échantillonnage », et quel repère issu de « Calibration, blanc et témoin » permet de vérifier la décision?

Intuition. Produire un plan science complet: objectifs, carte de traverse, fiche d'observation, nomenclature échantillon, chaîne de garde, ordre d'analyse, règles de modification autonome et paquet de données envoyé à la Terre.



Mini-projet de validation

Produire un plan science complet: objectifs, carte de traverse, fiche d'observation, nomenclature échantillon, chaîne de garde, ordre d'analyse, règles de modification autonome et paquet de données envoyé à la...



Plan d'échantillonnage

Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.



Calibration, blanc et témoin

Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Repère concret. Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».

- Mini-projet de validation — Produire un plan science complet: objectifs, carte de traverse, fiche d'observation, nomenclature échantillon, chaîne de garde, ordre d'analyse, règles de modification autonome et...
- Plan d'échantillonnage — Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.
- Calibration, blanc et témoin — Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

CARTE DE MAÎTRISE · MODULE 45

Quatre repères à maîtriser — Opérations scientifiques de terrain et laboratoire martien

Mini-projet de validation

Définition

Produire un plan science complet: objectifs, carte de traverse, fiche d'observation, nomenclature échantillon, chaîne de garde, ordre d'analyse, règles de modification autonome et paquet de données envoyé à la Terre.

Intuition ou cas concret

Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Repère quantitatif

Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Limite ou critère de vigilance

Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Exercice guidé — Mini-projet de validation

Cas « Mini-projet de validation » — Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données. Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au...

Corrigé raisonné — Mini-projet de validation**Point de départ**

Produire un plan science complet: objectifs, carte de traverse, fiche d'observation, nomenclature échantillon, chaîne de garde, ordre d'analyse, règles de modification autonome et paquet de données envoyé à la Terre.

Indice du cas

Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Réserve à appliquer

Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Conclusion

Produire planning, priorités, contrôles qualité, décision de répétition et journal des données non acquises.

Plan d'échantillonnage

Définition	Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.
Intuition ou cas concret	Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.
Repère quantitatif	Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».
Limite ou critère de vigilance	Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Exercice guidé — Plan d'échantillonnage

Cas « Plan d'échantillonnage » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et... »

Corrigé raisonné — Plan d'échantillonnage

Point de départ	Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.
Indice du cas	Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».
Réserve à appliquer	Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Conclusion

Produire planning, priorités, contrôles qualité, décision de répétition et journal des données non acquises.

Calibration, blanc et témoin

Définition

Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Intuition ou cas concret

Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Repère quantitatif

Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Limite ou critère de vigilance

Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Exercice guidé — Calibration, blanc et témoin

Cas « Calibration, blanc et témoin » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Corrigé raisonné — Calibration, blanc et témoin

Point de départ

Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Indice du cas	Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».
Réserve à appliquer	Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et hypothèse testable ».
Conclusion	Produire planning, priorités, contrôles qualité, décision de répétition et journal des données non acquises.

Métadonnées et traçabilité

Définition	Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.
Intuition ou cas concret	Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.
Repère quantitatif	Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».
Limite ou critère de vigilance	Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité

Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Point de départ

Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Indice du cas

Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Réserve à appliquer

Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et hypothèse testable ».

Conclusion

Produire planning, priorités, contrôles qualité, décision de répétition et journal des données non acquises.

Ce module s'appuie sur modules 00 à 40 recommandés selon le sujet, mais il reste lisible isolément: les symboles déterminants pour opérations scientifiques de terrain et laboratoire martien sont explicités au premier calcul.

Objectifs de maîtrise

- Savoir reconnaître un cas réel de « La science de terrain commence par une hypothèse » à partir d'indices observables.
- Présenter les données et unités nécessaires à l'analyse de « [Observation](#) structurée avant prélèvement ».
- Tester la sensibilité du résultat à une hypothèse de « Sélection des échantillons: diversité, représentativité et rareté ».
- Formuler le critère qui autorise, retarde ou interdit la décision liée à « Laboratoire local: trier les analyses irréversibles ».

1. La science de terrain commence par une hypothèse

Une sortie ne doit pas être une collection d'objets intéressants. Avant le départ, l'équipe formule les questions: quelle couche est plus ancienne, quel environnement a déposé ce matériau, quelle [anomalie](#) orbitale doit être vérifiée? Les stations et prélèvements sont ensuite choisis pour discriminer entre hypothèses.

2. Observation structurée avant prélèvement

Photographies d'ensemble, panorama, échelle, orientation, description de texture et relations entre unités doivent précéder le prélèvement. Cette séquence protège la valeur contextuelle de l'échantillon et permet à une équipe distante de comprendre ce qui a été vu.

3. Sélection des échantillons: diversité, représentativité et rareté

Une mission doit équilibrer échantillons typiques et matériaux inhabituels. Prélever dix fragments identiques peut être moins utile qu'un petit ensemble couvrant plusieurs unités géologiques. Le plan de collection doit donc afficher la question associée à chaque prélèvement.

4. Laboratoire local: trier les analyses irréversibles

Certaines analyses consomment ou modifient l'échantillon. Mesures non destructives, imagerie, [masse](#) et [spectroscopie](#) peuvent précéder broyage, chauffage ou chimie humide. L'ordre d'analyse protège la capacité à revenir sur une question avec un autre instrument.

5. Chaîne de garde et contamination

Chaque transfert doit conserver identifiant, conteneur, opérateur, heure et environnement. Des blancs et témoins distinguent matériau martien et contamination introduite par outils, habitat ou réactifs. Pour une éventuelle [biosignature](#), cette discipline est aussi importante que la sensibilité de l'instrument.

6. Délai Terre-Mars: autonomie scientifique locale

Les experts terrestres peuvent proposer de nouvelles priorités, mais ils ne dirigent pas chaque geste en temps réel. L'équipage doit être formé à reconnaître une observation inattendue, documenter pourquoi il modifie le plan et conserver les données nécessaires à une revue ultérieure.

7. Plan de campagne: transformer une question scientifique en opérations

Une sortie scientifique utile commence avant le départ. La question de recherche doit être traduite en observations nécessaires, types d'échantillons, précision de localisation, instruments, ordre des stations et critères permettant de modifier le plan. Sans cette traduction, une traverse peut accumuler beaucoup de roches sans répondre à la question initiale. Le plan doit aussi intégrer énergie, heure locale, météo, réserve de [mobilité](#), [fatigue](#), capacité du sas et masse d'échantillons. Les priorités sont hiérarchisées pour qu'une sortie interrompue conserve malgré tout un résultat minimal utile.

8. Laboratoire: séparer préparation, mesure et conservation

Le laboratoire martien doit empêcher qu'une analyse détruise involontairement la valeur des échantillons restants. Préparation mécanique, chimie, microscopie et biologie n'ont pas les mêmes contaminants. Le flux de travail précise quels outils touchent quels échantillons, comment ils sont nettoyés, quels blancs accompagnent la série et quelle fraction reste non traitée. La [métrologie](#) est aussi importante que l'instrument: sans étalon, contrôle de dérive et historique de maintenance, une valeur peut sembler précise tout en étant fausse. Les données doivent conserver [configuration](#), version logicielle, conditions de mesure et [incertitude](#).

9. Autonomie scientifique: décider localement sans couper la Terre

Le délai Terre-Mars interdit de demander une autorisation détaillée pour chaque prélèvement. L'équipage a donc besoin de règles lui permettant de modifier une traverse lorsqu'un affleurement inattendu apparaît, tout en conservant les objectifs du programme. Cette

autonomie ne signifie pas improvisation totale: elle repose sur des hypothèses préparées, des critères de valeur et une documentation des écarts. Les données de contexte, analyses préliminaires et inventaires sont ensuite transmis à Terre, où des spécialistes peuvent proposer des priorités pour les sols suivants. La science devient une boucle entre planification distante et décision locale.

10. Exemple calculé: budget d'une EVA scientifique

Une EVA de 6 h réserve 1,2 h au trajet aller-retour, 0,8 h aux opérations de sas et sécurité et 0,6 h de marge. Temps scientifique = $6 - 1,2 - 0,8 - 0,6 = 3,4$ h. Si cinq stations sont prévues, la moyenne maximale est 40,8 min/station, déplacements locaux compris. Ajouter deux stations sans changer la durée réduit la moyenne à 29,1 min: la qualité d'observation risque de chuter.

Étude de cas calculée: combien de stations de terrain tiennent réellement dans une EVA?

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une EVA dure 6 h, soit 360 min. Le trajet aller-retour consomme 60 min, la marge de sécurité 45 min et chaque station scientifique complète 25 min, dont 15 min de contexte et 10 min de prélèvement.

On note T la durée totale, en minutes; T_traj le trajet aller-retour, en minutes; T_marge la marge de sécurité, en minutes; t_s la durée d'une station, en minutes; N le nombre entier de stations réalisables, sans unité.

$T_{\text{science}} = T - T_{\text{traj}} - T_{\text{marge}} = 360 - 60 - 45 = 255$ min. $N = \text{partie entière de } 255 \div 25 = 10$ stations, avec $255 - 10 \times 25 = 5$ min restantes.

Le calcul montre que six heures de sortie ne signifient pas six heures de science. Les déplacements et la marge doivent être retirés avant de promettre un nombre de prélèvements; les valeurs sont des hypothèses pédagogiques, pas une norme opérationnelle.

11. Exercice

Construire une sortie avec quatre hypothèses scientifiques, six stations possibles et seulement quatre réalisables. Justifier les stations choisies et le prélèvement associé à chacune.

12. Solution raisonnée

Une campagne robuste sélectionne quelques stations directement liées à l'hypothèse, réserve du temps et de l'énergie pour un imprévu et définit quels échantillons restent prioritaires si la sortie est écourtée. Chaque prélèvement conserve son contexte, son identifiant, sa position et sa chaîne de manipulation; une roche sans contexte peut perdre l'essentiel de sa valeur scientifique.

13. Mini-projet de validation

Produire un plan science complet: objectifs, carte de traverse, fiche d'observation, nomenclature échantillon, chaîne de garde, ordre d'analyse, règles de modification autonome et paquet de données envoyé à la Terre.

Approfondissement du module 45: comprendre, calculer, vérifier et décider

Objectif du module — organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

1. Question scientifique et hypothèse testable

Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

$$\Delta = x_{\text{test}} - x_{\text{témoin}}$$

Question de départ

Que vaut Δ après le retrait défini par « $\Delta = x_{\text{test}} - x_{\text{témoin}}$ » au passage «1. Question scientifique et hypothèse testable»?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «delta égale x indice test - x indice témoin».

Symboles, prononciation et sens

Δ («delta»): différence entre le résultat testé et le témoin;
 x_{test} : valeur mesurée dans le cas test; $x_{\text{témoin}}$: valeur de référence témoin de la même grandeur.

Unités

Δ , x_{test} et $x_{\text{témoin}}$ dans la même unité physique.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles.

Pourquoi cette opération

La soustraction isole l'effet ou l'écart entre test et témoin.

Substitution et calcul

Écrire les valeurs avec leurs unités, effectuer les conversions nécessaires, puis soustraire le second terme du premier comme le prescrit la relation.

Saisie sur calculatrice

La saisie suit la phrase mathématique: valeur de gauche, moins, valeur retranchée; une parenthèse éventuelle est résolue avant la différence finale.

Estimation mentale

Avant le calcul fin, arrondir les deux entrées et estimer leur séparation; le résultat exact doit rester cohérent avec cette différence grossière.

Contrôle indépendant

$\Delta x_{\text{témoin}}$ doit redonner x_{test} .

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «1. Question scientifique et hypothèse testable», « $\Delta = x_{\text{test}} - x_{\text{témoin}}$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

Sans notation, Δ mesure ici la marge ou l'écart restant lorsque la seconde quantité est retirée de la première.

Variation / sensibilité

Faire varier séparément les deux entrées de $\pm 10\%$ montre que leur influence sur Δ est opposée.

Limite / hypothèse

Les entrées doivent partager unité, date ou fenêtre temporelle et frontière de système. Un mélange de périmètres rendrait l'écart trompeur.

On injecte maintenant l'événement suivant: un blanc de contrôle est contaminé.

2. Plan d'échantillonnage

Dans ce module, plan d'échantillonnage sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

$\text{Densité_échantillonnage} = N / A$

Question de départ

Quelle comparaison multiplicative entre N et A produit la valeur $\text{Densité_échantillonnage}$?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «Densité indice échantillonnage égale N divisé par A ».

Symboles, prononciation et sens

$\text{Densité_échantillonnage}$ («Densité échantillonnage»): densité d'échantillonnage; N («enne»): nombre d'échantillons; A («a»): aire

Unités

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

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles. La donnée de contexte cite comme origine: le nombre de prélèvements et la surface cartographiée dans les métadonnées de terrain.

Pourquoi cette opération

La question de «2. Plan d'échantillonnage» exige un ratio. N fournit la quantité à normaliser, A fournit la base de normalisation, et leur division détermine
Densité_échantillonnage.

Substitution et calcul

Inscrire les valeurs connues de N et A, montrer toute conversion requise, et terminer par la division. Si A n'est pas fourni, le calcul reste symbolique.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit la structure de la fraction: parenthèse du numérateur, division, parenthèse du dénominateur; comparer ensuite l'ordre de grandeur.

Estimation mentale

La fraction suggère son propre contrôle d'échelle: numérateur beaucoup plus grand que dénominateur implique
Densité_échantillonnage>1; numérateur plus petit implique
Densité_échantillonnage<1.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Pour vérifier Densité_échantillonnage, reformer N à partir de A. Le produit du dénominateur par le quotient doit restaurer le numérateur.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «2. Plan d'échantillonnage», «Densité_échantillonnage = N / A» exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

Dit simplement, Densité_échantillonnage est la réponse à la comparaison «N divisé par A» utilisée dans «2. Plan d'échantillonnage».

Variation / sensibilité

Le ratio est proportionnel à N et inversement proportionnel à A. Cette propriété permet de prévoir la direction d'un scénario perturbé.

Limite / hypothèse

Ne pas extrapoler Densité_échantillonnage entre périodes ou systèmes distincts sans redéfinir N et A. La division est aussi interdite lorsque A=0.

On injecte maintenant l'événement suivant: une calibration dérive en cours de série.

3. Calibration, blanc et témoin

Dans ce module, calibration, blanc et témoin sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

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

Question de départ

Quelle comparaison multiplicative entre $|x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}|$ et $|x_{\text{ref}}|$ produit la valeur Erreur_rel?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «Erreur indice rel égale $|x_{\text{indice mesuré}} - x_{\text{indice ref}}|$ divisé par $|x_{\text{indice ref}}|$ ».

Symboles, prononciation et sens

Erreur_rel («erreur relative»): rapport sans dimension entre l'écart absolu et la valeur de référence; $x_{\text{mesuré}}$ («x mesuré»): valeur mesurée; x_{ref} («x référence»): valeur de référence.

Unités

$x_{\text{mesuré}}$ et x_{ref} doivent avoir la même unité; leur différence garde cette unité, puis la division par $|x_{\text{ref}}|$ l'annule. Erreur_rel est donc sans dimension, souvent exprimée en %.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles.

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.

Substitution et calcul

Inscrire les valeurs connues de $|x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}|$ et $|x_{\text{ref}}|$, montrer toute conversion requise, et terminer par la division. Si $|x_{\text{ref}}|$ n'est pas fourni, le calcul reste symbolique.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit la structure de la fraction: parenthèse du numérateur, division, parenthèse du dénominateur; comparer ensuite l'ordre de grandeur.

Estimation mentale

La fraction suggère son propre contrôle d'échelle: numérateur beaucoup plus grand que dénominateur implique $\text{Erreur}_{\text{rel}} \gg 1$; numérateur plus petit implique $\text{Erreur}_{\text{rel}} < 1$.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Erreur}_{\text{rel}} \times |x_{\text{ref}}|$ doit redonner $|x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}|$. Le signe de l'écart est volontairement perdu par la valeur absolue.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «3. Calibration, blanc et témoin», « $\text{Erreur}_{\text{rel}} = |x_{\text{mesuré}} - x_{\text{ref}}| / |x_{\text{ref}}|$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

Le sens opérationnel est le suivant: 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.

Variation / sensibilité

À écart absolu fixé, doubler $|x_{\text{ref}}|$ divise l'erreur relative par deux. À référence fixe, l'erreur relative varie linéairement avec l'écart absolu.

Limite / hypothèse

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.

— « Calibration, blanc et témoin ».

On injecte maintenant l'événement suivant: un échantillon arrive sans métadonnée complète.

4. Métadonnées et traçabilité

Dans ce module, métadonnées et traçabilité sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

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

Question de départ

Quelle comparaison multiplicative entre $N_{\text{champs_renseignés}}$ et $N_{\text{champs_requis}}$ produit la valeur Complétude?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «Complétude égale N indice champs indice renseignés divisé par N indice champs indice requis».

Symboles, prononciation 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.

Unités

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

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles. La donnée de contexte cite comme origine: les mesures du test et du témoin, métadonnées et contrôles laboratoire.

Pourquoi cette opération

Le rapport mesure la part des données requises qui est présente.

Substitution et calcul

Inscrire les valeurs connues de $N_{\text{champs_renseignés}}$ et $N_{\text{champs_requis}}$, montrer toute conversion requise, et terminer par la division. Si $N_{\text{champs_requis}}$ n'est pas fourni, le calcul reste symbolique.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit la structure de la fraction: parenthèse du numérateur, division, parenthèse du dénominateur; comparer ensuite l'ordre de grandeur.

Estimation mentale

La fraction suggère son propre contrôle d'échelle: numérateur beaucoup plus grand que dénominateur implique $\text{Complétude} \gg 1$; numérateur plus petit implique $\text{Complétude} < 1$.

Contrôle indépendant

$\text{Complétude} \times N_{\text{champs_requis}}$ doit redonner $N_{\text{champs_renseignés}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «4. Métadonnées et traçabilité», « $\text{Complétude} = N_{\text{champs_renseignés}} / N_{\text{champs_requis}}$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

Dit simplement, Complétude est la réponse à la comparaison « $N_{\text{champs_renseignés}}$ divisé par $N_{\text{champs_requis}}$ » utilisée dans «4. Métadonnées et traçabilité».

Variation / sensibilité

Le ratio est proportionnel à $N_{\text{champs_renseignés}}$ et inversement proportionnel à $N_{\text{champs_requis}}$. Cette propriété permet de prévoir la direction d'un scénario perturbé.

Limite / hypothèse

Ne pas extrapoler Complétude entre périodes ou systèmes distincts sans redéfinir $N_{\text{champs_renseignés}}$ et $N_{\text{champs_requis}}$. La division est aussi interdite lorsque $N_{\text{champs_requis}} = 0$.

On injecte maintenant l'événement suivant: la météo annule la moitié du terrain.

5. Chaîne échantillon-laboratoire

Dans ce module, chaîne échantillon-laboratoire sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

$$\text{Temps_chaîne} = \sum t_i$$

Question de départ

Dans «5. Chaîne échantillon-laboratoire», comment additionner les contributions indexées de «Temps_chaîne = $\sum t_i$ » pour reconstruire Temps_chaîne?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «Temps indice chaîne égale somme de t indice i».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; Temps_chaîne (« temps chaîne »): durée totale d'une chaîne séquentielle de tâches; t_i (« té indice i »): durée de l'étape i.

Unités

Temps_chaîne et tous les t_i dans la même unité de durée, par exemple min ou h.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles.

Pourquoi cette opération

Pour des étapes exécutées séquentiellement sans recouvrement, la durée totale est la somme de leurs durées.

Substitution et calcul

Lister les termes indexés fournis par le cas, calculer chacun avec son indice propre, puis additionner ces valeurs; aucun terme absent n'est inventé.

Saisie sur calculatrice

Calculatrice: conserver une liste des contributions, faire la somme une première fois dans l'ordre des indices puis une seconde dans l'ordre inverse.

Estimation mentale

Estimer le plus gros terme et le nombre de contributions; pour des valeurs positives, Temps_chaîne doit au moins égaler le maximum individuel sans dépasser grossièrement leur nombre multiplié par ce maximum.

Contrôle indépendant

Séparer les étapes en deux groupes, sommer chaque groupe puis vérifier que les deux sous-totaux redonnent Temps_chaîne.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «5. Chaîne échantillon-laboratoire», «Temps_chaîne = $\sum t_i$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

En mots, Temps_chaîne rassemble toutes les contributions auxquelles l'indice de Σ demande d'appliquer la même règle.

Variation / sensibilité

Faire varier une seule contribution de Δ modifie Temps_chaîne du même Δ , éventuellement multiplié par son coefficient.

Limite / hypothèse

Vérifier que l'ensemble des indices est complet, non doublonné et défini sur une même frontière avant toute sommation.

On injecte maintenant l'événement suivant: la maintenance réclame le même créneau que le laboratoire.

6. Contrôle qualité et répétition

Dans ce module, contrôle qualité et répétition sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

$$\text{Taux_validité} = N_valides / N_total$$

Question de départ

Quelle comparaison multiplicative entre $N_valides$ et N_total produit la valeur Taux_validité?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «Taux indice validité égale N indice valides divisé par N indice total».

Symboles, prononciation et sens

Taux_validité («taux de validité»): fraction des résultats qui satisfont les critères de validité; N_valides: nombre de résultats valides; N_total: nombre total de résultats examinés.

Unités

N_valides et N_total sont des comptes; Taux_validité est sans dimension, compris entre 0 et 1 et souvent exprimé en %.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles.

Pourquoi cette opération

Diviser le nombre de résultats valides par le nombre total donne la proportion de résultats valides.

Substitution et calcul

Inscrire les valeurs connues de N_valides et N_total, montrer toute conversion requise, et terminer par la division. Si N_total n'est pas fourni, le calcul reste symbolique.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit la structure de la fraction: parenthèse du numérateur, division, parenthèse du dénominateur; comparer ensuite l'ordre de grandeur.

Estimation mentale

La fraction suggère son propre contrôle d'échelle: numérateur beaucoup plus grand que dénominateur implique $\text{Taux_validité} \gg 1$; numérateur plus petit implique $\text{Taux_validité} < 1$.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Taux_validité} \times \text{N_total}$ doit redonner N_valides à l'arrondi de comptage près.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «6. Contrôle qualité et répétition», « $\text{Taux_validité} = \text{N_valides} / \text{N_total}$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

Dit simplement, Taux_validité est la réponse à la comparaison «N_valides divisé par N_total» utilisée dans «6. Contrôle qualité et répétition».

Variation / sensibilité

Le ratio est proportionnel à N_valides et inversement proportionnel à N_total. Cette propriété permet de prévoir la direction d'un scénario perturbé.

Limite / hypothèse

Ne pas extrapoler Taux_validité entre périodes ou systèmes distincts sans redéfinir N_valides et N_total. La division est aussi interdite lorsque N_total=0.

On injecte maintenant l'événement suivant: la bande passante disponible chute.

7. Interprétation sans sur-promesse

Dans ce module, interprétation sans sur-promesse sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

$$u_rel = u / |x|$$

Question de départ

Quelle comparaison multiplicative entre u et |x| produit la valeur u_rel?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «u indice rel égale u divisé par |x|».

Symboles, prononciation et sens

u_rel: incertitude relative; u: incertitude absolue; x: valeur de la grandeur mesurée servant d'échelle.

Unités

u et x dans la même unité; u_rel sans dimension.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles. La donnée de contexte cite comme origine: les mesures du test et du témoin, métadonnées et contrôles laboratoire.

Pourquoi cette opération

Diviser l'incertitude absolue par la magnitude de la valeur la rend relative à l'échelle du résultat.

Substitution et calcul

Inscrire les valeurs connues de u et $|x|$, montrer toute conversion requise, et terminer par la division. Si $|x|$ n'est pas fourni, le calcul reste symbolique.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit la structure de la fraction: parenthèse du numérateur, division, parenthèse du dénominateur; comparer ensuite l'ordre de grandeur.

Estimation mentale

La fraction suggère son propre contrôle d'échelle: numérateur beaucoup plus grand que dénominateur implique $u_{rel} \gg 1$; numérateur plus petit implique $u_{rel} < 1$.

Contrôle indépendant

$u_{rel} \times |x|$ doit redonner u .

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «7. Interprétation sans sur-promesse», « $u_{rel} = u / |x|$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

Dit simplement, u_{rel} est la réponse à la comparaison « u divisé par $|x|$ » utilisée dans «7. Interprétation sans sur-promesse».

Variation / sensibilité

Le ratio est proportionnel à u et inversement proportionnel à $|x|$. Cette propriété permet de prévoir la direction d'un scénario perturbé.

Limite / hypothèse

Ne pas extrapoler u_{rel} entre périodes ou systèmes distincts sans redéfinir u et $|x|$. La division est aussi interdite lorsque $|x|=0$.

On injecte maintenant l'événement suivant: un blanc de contrôle est contaminé.

8. Priorités science contre maintenance

Dans ce module, priorités science contre maintenance sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

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

Question de départ

Dans «8. Priorités science contre maintenance», comment additionner les contributions indexées de «Score_priorité = $\sum (w_i \times s_i)$ » pour reconstruire Score_priorité?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «score de priorité égale la somme des poids w indice i multipliés par les évaluations s indice i de chaque critère».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; Score_priorité est l'indicateur utilisé pour ordonner une activité. w_i est le poids du critère i ; s_i est son évaluation. Ici, les critères peuvent représenter valeur scientifique, temps de terrain, consommation de ressources et risque.

Unités

Le score, les poids et les notes sont sans dimension. Avant le calcul, une grandeur physique comme une durée en heures ou une masse d'échantillon en kilogrammes doit donc être transformée selon une règle de notation explicitement définie.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles.

Pourquoi cette opération

Le symbole Σ signifie qu'on applique la règle à chaque indice puis qu'on additionne les contributions. Le total ainsi recomposé est Score_priorité.

Substitution et calcul

Lister les termes indexés fournis par le cas, calculer chacun avec son indice propre, puis additionner ces valeurs; aucun terme absent n'est inventé.

Saisie sur calculatrice

Calculatrice: conserver une liste des contributions, faire la somme une première fois dans l'ordre des indices puis une seconde dans l'ordre inverse.

Estimation mentale

Estimer le plus gros terme et le nombre de contributions; pour des valeurs positives, Score_priorité doit au moins égaler le maximum individuel sans dépasser grossièrement leur nombre multiplié par ce maximum.

Contrôle indépendant

Contrôle par retrait: enlever une contribution de Score_priorité; la différence doit être exactement la somme des autres termes calculés.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «8. Priorités science contre maintenance», «Score_priorité = $\Sigma(w_i \times s_i)$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

En mots, Score_priorité rassemble toutes les contributions auxquelles l'indice de Σ demande d'appliquer la même règle.

Variation / sensibilité

Faire varier une seule contribution de Δ modifie Score_priorité du même Δ , éventuellement multiplié par son coefficient.

Limite / hypothèse

Vérifier que l'ensemble des indices est complet, non doublonné et défini sur une même frontière avant toute sommation.

On injecte maintenant l'événement suivant: une calibration dérive en cours de série.

9. Stockage et transmission des données

Dans ce module, stockage et transmission des données sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

Débit_données = Taille / Durée

Question de départ

Quelle comparaison multiplicative entre Taille et Durée produit la valeur Débit_données?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «Débit indice données égale Taille divisé par Durée».

Symboles, prononciation et sens

Débit_données («débit données»): quantité de données transmise ou produite par unité de temps; Taille («taille»): quantité totale de données; Durée («durée»): temps correspondant à cette transmission ou production.

Unités

Taille en bits ou octets; Durée en s, min ou h; Débit_données dans l'unité correspondante par unité de temps, par exemple bit/s ou Mo/s.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles.

Pourquoi cette opération

Un débit est une quantité divisée par la durée nécessaire à la transférer ou à la produire.

Substitution et calcul

Inscrire les valeurs connues de Taille et Durée, montrer toute conversion requise, et terminer par la division. Si Durée n'est pas fourni, le calcul reste symbolique.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit la structure de la fraction: parenthèse du numérateur, division, parenthèse du dénominateur; comparer ensuite l'ordre de grandeur.

Estimation mentale

La fraction suggère son propre contrôle d'échelle: numérateur beaucoup plus grand que dénominateur implique $\text{Débit_données} \gg 1$; numérateur plus petit implique $\text{Débit_données} < 1$.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Débit_données} \times \text{Durée}$ doit reconstituer Taille, après conversion cohérente entre bits et octets si nécessaire.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «9. Stockage et transmission des données», « $\text{Débit_données} = \text{Taille} / \text{Durée}$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

Dit simplement, Débit_données est la réponse à la comparaison «Taille divisé par Durée» utilisée dans «9. Stockage et transmission des données».

Variation / sensibilité

Le ratio est proportionnel à Taille et inversement proportionnel à Durée. Cette propriété permet de prévoir la direction d'un scénario perturbé.

Limite / hypothèse

Ne pas extrapoler Débit_données entre périodes ou systèmes distincts sans redéfinir Taille et Durée. La division est aussi interdite lorsque $\text{Durée} = 0$.

On injecte maintenant l'événement suivant: un échantillon arrive sans métadonnée complète.

10. Planning hebdomadaire de campagne

Dans ce module, planning hebdomadaire de campagne sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle qualité, à l'interprétation et à la transmission des données.

$\text{Temps_total} = \sum t_i + \text{marge}$

Question de départ

Quelle somme Temps_total faut-il obtenir en appliquant « $\text{Temps_total} = \sum t_i + \text{marge}$ » au contexte «10. Planning hebdomadaire de campagne»?

Lecture à voix haute

À l'oral, dire: «Temps indice total égale somme de t indice i plus marge».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; Temps_total («temps total»): durée totale planifiée; t_i («té indice i»): durée de la tâche i; marge («marge»): réserve de temps ajoutée au planning.

Unités

Temps_total, chaque t_i et marge dans la même unité de durée. Une somme n'est valide que si toutes les contributions sont des temps.

Origine et statut des valeurs

Toute entrée chiffrée exige une origine lisible. Les valeurs pédagogiques peuvent illustrer une méthode, mais elles ne deviennent pas pour autant des données réelles.

Pourquoi cette opération

$\sum t_i$ additionne toutes les durées de tâches; la marge ajoute ensuite une réserve temporelle distincte pour les aléas ou l'incertitude.

Substitution et calcul

Inscrire les valeurs documentées de chaque contribution, effectuer les changements d'unités avant la somme et ne jamais inventer un terme absent.

Saisie sur calculatrice

Calculer les composantes, garder leurs valeurs intermédiaires puis les additionner. Un calcul par blocs fournit une vérification de la saisie.

Estimation mentale

Estimer la somme à partir du terme dominant et de quelques ordres de grandeur; un Temps_total inférieur à un terme positif inclus serait incohérent.

Contrôle indépendant

Contrôle de fermeture: $\text{Temps_total} - \text{marge}$ doit être égal à $\sum t_i$. En retirant ensuite une tâche t_k , on doit retrouver la somme des autres durées.

Interprétation physique ou opérationnelle

À l'étape «10. Planning hebdomadaire de campagne», « $\text{Temps_total} = \sum t_i + \text{marge}$ » exprime une relation de modèle et non une vérité hors contexte. Sa valeur doit être lue avec l'unité correspondante et le périmètre réellement couvert.

Traduction en français courant

En langage courant, $\sum t_i$ additionne toutes les durées de tâches; la marge ajoute ensuite une réserve temporelle distincte pour les aléas ou l'incertitude.

Variation / sensibilité

Ajouter Δt à une tâche ou à la marge augmente Temps_total du même Δt ; l'effet est linéaire tant que les tâches restent modélisées comme séquentielles.

Limite / hypothèse

Le modèle suppose que les durées additionnées ne se chevauchent pas. Des tâches parallèles exigent un calcul de chemin critique plutôt qu'une somme brute.

On injecte maintenant l'événement suivant: la météo annule la moitié du terrain.

Exercices progressifs avec corrigés 1:1

Exercice 1: Question scientifique et hypothèse testable

Analysez question scientifique et hypothèse testable. Relation à tester: « $\text{Temps_total} = \sum t_i + \text{marge}$ ». Cas dégradé: une calibration dérive en cours de série. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Données du cas

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 1: Question scientifique et hypothèse testable

Résultat

Corrigé — Exercice 1: Question scientifique et hypothèse testable

Repères numériques conservés. 35min · 210min.

Exercice 2: Plan d'échantillonnage

Relation à tester: « $\text{Taux_validité} = N_valides / N_total$ ». Cas dégradé: un échantillon arrive sans métadonnée complète. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 2: Plan d'échantillonnage

Données du cas

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 2: Plan d'échantillonnage

Résultat

Corrigé — Exercice 2: Plan d'échantillonnage

Exercice 3: Calibration, blanc et témoin

Analysez calibration, blanc et témoin. Relation à tester: « $\text{Débit_données} = \text{Taille} / \text{Durée}$ ». Cas dégradé: la météo annule la moitié du terrain. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 3: Calibration, blanc et témoin**Données du cas**

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 3: Calibration, blanc et témoin

Résultat

Corrigé — Exercice 3: Calibration, blanc et témoin

Exercice 4: Métadonnées et traçabilité

Relation à tester: « $\text{Score_priorité} = \sum (w_i \times s_i)$ ». Cas dégradé: la maintenance réclame le même créneau que le laboratoire. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 4: Métadonnées et traçabilité

Données du cas

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 4: Métadonnées et traçabilité

Résultat

Corrigé — Exercice 4: Métadonnées et traçabilité

Exercice 5: Chaîne échantillon-laboratoire

Relation à tester: « $\text{Temps_total} = \sum t_i + \text{marge}$ ». Cas dégradé: la bande passante disponible chute. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 5: Chaîne échantillon-laboratoire

Données du cas

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre

mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 5: Chaîne échantillon-laboratoire

Résultat

Corrigé — Exercice 5: Chaîne échantillon-laboratoire

Repères numériques conservés. 35min · 210min.

Exercice 6: Contrôle qualité et répétition

Analysez contrôle qualité et répétition. Relation à tester: « $\text{Taux_validité} = \text{N_valides} / \text{N_total}$ ». Cas dégradé: un blanc de contrôle est contaminé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 6: Contrôle qualité et répétition

Données du cas

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 6: Contrôle qualité et répétition

Résultat

Corrigé — Exercice 6: Contrôle qualité et répétition

Contrôle

Corrigé — Exercice 6: Contrôle qualité et répétition

Exercice 7: Interprétation sans sur-promesse

Relation à tester: « Débit_données = Taille / Durée ». Cas dégradé: une calibration dérive en cours de série. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 7: Interprétation sans sur-promesse

Données du cas

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 7: Interprétation sans sur-promesse

Résultat

Corrigé — Exercice 7: Interprétation sans sur-promesse

Exercice 8: Priorités science contre maintenance

Analysez priorités science contre maintenance. Relation à tester: « Score_priorité = $\Sigma(w_i \times s_i)$ ». Cas dégradé: un échantillon arrive sans métadonnée complète. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 8: Priorités science contre maintenance

Données du cas

Exercice guidé — Métadonnées et traçabilité — Cas « Métadonnées et traçabilité » — Dans ce module, question scientifique et hypothèse testable sert directement à organiser une chaîne scientifique traçable depuis la question et le prélèvement jusqu'au contrôle... Repère: Six tâches de 35 min représentent 210 min — « Question scientifique et hypothèse

testable ». Réserve: Ajouter 20 % de marge porte la planification à 252 min; cette marge n'est pas du temps libre mais une protection contre les écarts réels — « Question scientifique et...

Raisonnement

Corrigé — Exercice 8: Priorités science contre maintenance

Résultat

Corrigé — Exercice 8: Priorités science contre maintenance

Mini-projet intégrateur et dossier de référence

Planifier une semaine de science martienne avec deux EVA, un laboratoire, une maintenance obligatoire et une fenêtre de transmission limitée. Produire planning, priorités, contrôles qualité, décision de répétition et journal des données non acquises.

« Exercice 8: Priorités science contre maintenance » — hypothèses, budget, marges.

« Exercice 8: Priorités science contre maintenance » — interfaces et causes communes.

« Exercice 8: Priorités science contre maintenance » — calculs, limites, critères.

Repères du passage: inventaire

Repères du passage: sous-système · redondance

Vérification de maîtrise du module 45

- « Exercice 8: Priorités science contre maintenance » — unités et ordre de grandeur.
- « Exercice 8: Priorités science contre maintenance » — cas dégradé.
- « Exercice 8: Priorités science contre maintenance » — marge décisionnelle.
- « Exercice 8: Priorités science contre maintenance » — mesure de contrôle.
- Termes de contrôle: **Vérification**

Repères du passage: état

Repères du passage: substitution

Repères du passage: ordre de grandeur · validation

Repères du passage: Mode dégradé

Repères du passage: robustesse

Repères du passage: débit

Repères du passage: traçabilité

Repères du passage: poids

Science de terrain : un échantillon ne devient une preuve que si son histoire survit

La valeur scientifique d'un prélèvement vient autant de son contexte que de sa matière. Position, orientation, géologie locale, outil, contenant, heure, images de contexte, conditions environnementales et transferts successifs doivent rester reliés à un identifiant stable jusqu'au laboratoire.

Les hypothèses pilotent le terrain

Avant l'EVA, l'équipe doit écrire ce qui renforcerait ou affaiblirait chaque hypothèse. Cela détermine les stations utiles, les observations à réaliser avant perturbation et les échantillons réellement discriminants. Une découverte imprévue peut modifier le plan, mais sans sacrifier les contraintes de retour.

Blancs, témoins et étalons protègent l'interprétation

Un signal spectaculaire peut provenir du récipient, de l'outil, de l'habitat ou de la dérive instrumentale. Des blancs de procédure, des références d'étalonnage et des duplicatas transforment une mesure isolée en résultat défendable.

L'incertitude accompagne le résultat

Une valeur unique ne doit pas masquer résolution, étalonnage, variabilité d'échantillonnage et hétérogénéité spatiale. Si deux résultats se chevauchent dans leurs incertitudes, la bonne conclusion peut être que la différence n'est pas résolue, pas qu'elle n'existe jamais.

► Exercice — protéger la valeur scientifique quand le temps d'EVA se réduit

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA Artemis Science](#) et [NASA NTRS — Geology and Field Training](#).

Sources primaires et passerelles

- [NASA Artemis Science](#)
- [NASA NTRS — Geology and Field Training](#)