

Facteurs humains, EVA & médecine spatiale

Une mission habitée n'ajoute pas simplement des passagers à un véhicule robotique. Le corps humain impose atmosphère, température, sommeil, nourriture, exercice, protection radiologique et soins. L'équipage ajoute aussi une capacité extraordinaire de diagnostic et d'improvisation, mais cette capacité diminue avec **fatigue**, stress, maladie ou mauvaise **interface**. L'ingénierie humaine cherche donc à rendre la performance robuste, pas à supposer un équipage héroïque et infallible.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Facteurs humains, EVA & médecine spatiale: comment « Comprendre avant de calculer » agit-il sur « Étude intégrée — Facteurs humains, EVA & médecine spatiale », et quel repère issu de « Performance humaine et limites physiologiques » permet de vérifier la décision?

Intuition. Un membre d'équipage doit effectuer une EVA après plusieurs jours de sommeil imparfait, tout en portant un scaphandre qui limite mouvement, vision et refroidissement.

1

Comprendre avant de calculer

Un membre d'équipage doit effectuer une EVA après plusieurs jours de sommeil imparfait, tout en portant un scaphandre qui limite mouvement, vision et refroidissement.

2

Étude intégrée — Facteurs humains, EVA & médecine spatiale

Situation à analyser.

3

Performance humaine et limites physiologiques

La performance varie avec sommeil, rythme circadien, charge de travail, stress, nutrition et santé.

Repère concret. Un membre d'équipage doit effectuer une EVA après plusieurs jours de sommeil imparfait, tout en portant un scaphandre qui limite mouvement, vision et refroidissement.

- Comprendre avant de calculer — Un membre d'équipage doit effectuer une EVA après plusieurs jours de sommeil imparfait, tout en portant un scaphandre qui limite mouvement, vision et refroidissement.
- Étude intégrée — Facteurs humains, EVA & médecine spatiale — Situation à analyser.
- Performance humaine et limites physiologiques — La performance varie avec sommeil, rythme circadien, charge de travail, stress, nutrition et santé.

Repères avant de commencer: modules 01 à 09 recommandés. Si une notion antérieure devient bloquante pour « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale », son rôle est rappelé dans le raisonnement plutôt que supposé connu.

RAMPE ZÉRO PRÉREQUIS · MODULE 22

Comprendre avant de calculer

Un membre d'équipage doit effectuer une EVA après plusieurs jours de sommeil imparfait, tout en portant un scaphandre qui limite mouvement, vision et refroidissement.

Progression du module — facteur humain; EVA; charge de travail; déconditionnement.

facteur humain

Définition sans prérequis. Un **facteur humain** est une caractéristique physiologique, cognitive ou organisationnelle qui influence la performance réelle d'une personne dans un système.

Scène concrète. Fatigue, charge mentale, ergonomie des commandes, stress et communication peuvent transformer une procédure techniquement correcte en opération risquée.

Contrôle mental. Cherchez comment l'interface, la fatigue ou l'organisation modifie la probabilité d'erreur; le contrôle porte sur l'interaction personne-système, pas sur une grandeur qui « augmente » abstraitement.

Piège à éviter. Attribuer une erreur uniquement à « l'opérateur » masque souvent une conception, une procédure ou une organisation qui a rendu l'erreur probable.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **facteur humain** » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

Exercice guidé — facteur humain

Situation à reconnaître. Fatigue, charge mentale, ergonomie des commandes, stress et communication peuvent transformer une procédure techniquement correcte en opération risquée.

Vérification demandée. Cherchez comment l'interface, la fatigue ou l'organisation modifie la probabilité d'erreur; le contrôle porte sur l'interaction personne-système, pas sur une grandeur qui « augmente » abstraitement.

Erreur à écarter. Attribuer une erreur uniquement à « l'opérateur » masque souvent une conception, une procédure ou une organisation qui a rendu l'erreur probable.

Corrigé raisonné

Sens précis

Un facteur humain est une caractéristique physiologique, cognitive ou organisationnelle qui influence la performance réelle d'une personne dans un système.

Test du cas

Cherchez comment l'interface, la fatigue ou l'organisation modifie la probabilité d'erreur; le contrôle porte sur l'interaction personne-système, pas sur une grandeur qui « augmente » abstraitement.

Piège exclu

Attribuer une erreur uniquement à « l'opérateur » masque souvent une conception, une procédure ou une organisation qui a rendu l'erreur probable.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « **facteur humain** » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

Quantification

facteur humain: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

facteur humain: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

EVA

Définition sans prérequis. Une **EVA** est une activité extravéhiculaire réalisée hors du volume pressurisé principal, avec une combinaison ou un système mobile assurant pression, oxygène, élimination du CO₂, thermique et communication.

Scène concrète. Une inspection de panneau solaire sur Mars ajoute poussière, **gravité partielle**, outils, retour au sas et réserves de secours au problème de survie du scaphandre.

Contrôle mental. Avant la sortie, vérifiez temps, oxygène, énergie, thermique, communications et **réserve de retour**; l'EVA n'est acceptable que si le chemin de retour reste protégé après une panne simple prévue.

Piège à éviter. Une EVA n'est pas une simple sortie en combinaison: c'est une opération de système avec préparation, limites, règles d'abandon et récupération.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **eva** » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

Exercice guidé — EVA

Situation à reconnaître. Une inspection de panneau solaire sur Mars ajoute poussière, gravité partielle, outils, retour au sas et réserves de secours au problème de survie du scaphandre.

Vérification demandée. Avant la sortie, vérifiez temps, oxygène, énergie, thermique, communications et réserve de retour; l'EVA n'est acceptable que si le chemin de retour reste protégé après une panne simple prévue.

Erreur à écarter. Une EVA n'est pas une simple sortie en combinaison: c'est une opération de système avec préparation, limites, règles d'abandon et récupération.

Corrigé raisonné

Sens précis

Une EVA est une activité extravéhiculaire réalisée hors du volume pressurisé principal, avec une combinaison ou un système mobile assurant pression, oxygène, élimination du CO₂, thermique et communication.

Test du cas

Avant la sortie, vérifiez temps, oxygène, énergie, thermique, communications et réserve de retour; l'EVA n'est acceptable que si le chemin de retour reste protégé après une panne simple prévue.

Piège exclu

Une EVA n'est pas une simple sortie en combinaison: c'est une opération de système avec préparation, limites, règles d'abandon et récupération.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « eva » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

Quantification

EVA: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

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

charge de travail

Définition sans prérequis. La [charge de travail](#) combine quantité de tâches, difficulté, temps disponible, attention nécessaire et ressources mentales ou physiques mobilisées.

Scène concrète. Deux alarmes simultanées pendant une EVA peuvent saturer l'attention même si chacune est simple prise isolément.

Contrôle mental. Une charge soutenable doit laisser du temps aux vérifications, pauses et imprévus; si le planning utilise 100 % du temps disponible, il n'a aucune marge opérationnelle.

Piège à éviter. Allonger une checklist ne réduit pas toujours le risque: une procédure trop dense peut augmenter la charge au mauvais moment.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [charge de travail](#) » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

Exercice guidé — charge de travail

Situation à reconnaître. Deux alarmes simultanées pendant une EVA peuvent saturer l'attention même si chacune est simple prise isolément.

Vérification demandée. Une charge soutenable doit laisser du temps aux vérifications, pauses et imprévus; si le planning utilise 100 % du temps disponible, il n'a aucune marge opérationnelle.

Erreur à écarter. Allonger une checklist ne réduit pas toujours le risque: une procédure trop dense peut augmenter la charge au mauvais moment.

Corrigé raisonné

Sens précis

La charge de travail combine quantité de tâches, difficulté, temps disponible, attention nécessaire et ressources mentales ou physiques mobilisées.

Test du cas

Une charge soutenable doit laisser du temps aux vérifications, pauses et imprévus; si le planning utilise 100 % du temps disponible, il n'a aucune marge opérationnelle.

Piège exclu

Allonger une checklist ne réduit pas toujours le risque: une procédure trop dense peut augmenter la charge au mauvais moment.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « charge de travail » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

déconditionnement

Définition sans prérequis. Le **déconditionnement** regroupe les adaptations physiologiques qui réduisent certaines capacités après exposition prolongée à la microgravité ou à une activité réduite.

Scène concrète. Perte de capacité cardiovasculaire et musculaire peut compliquer une EVA ou une urgence après l'atterrissage.

Contrôle mental. Comparez performance à une référence mesurée dans le temps: une baisse progressive de force, capacité aérobie ou tolérance orthostatique doit apparaître dans la tendance, pas dans un jugement isolé.

Piège à éviter. Une bonne performance en transit ne garantit pas la même performance après une transition gravitationnelle; la préparation doit anticiper ce changement.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **déconditionnement** » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

Exercice guidé — déconditionnement

Situation à reconnaître. Perte de capacité cardiovasculaire et musculaire peut compliquer une EVA ou une urgence après l'atterrissage.

Vérification demandée. Comparez performance à une référence mesurée dans le temps: une baisse progressive de force, capacité aérobie ou tolérance orthostatique doit apparaître dans la tendance, pas dans un jugement isolé.

Erreur à écarter. Une bonne performance en transit ne garantit pas la même performance après une transition gravitationnelle; la préparation doit anticiper ce changement.

Corrigé raisonné

Sens précis

Le déconditionnement regroupe les adaptations physiologiques qui réduisent certaines capacités après exposition prolongée à la microgravité ou à une activité réduite.

Test du cas

Comparez performance à une référence mesurée dans le temps: une baisse progressive de force, capacité aérobie ou tolérance orthostatique doit apparaître dans la tendance, pas dans un jugement isolé.

Piège exclu

Une bonne performance en transit ne garantit pas la même performance après une transition gravitationnelle; la préparation doit anticiper ce changement.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « déconditionnement » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique.

Quantification

déconditionnement: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

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

Étude intégrée — Facteurs humains, EVA & médecine spatiale

Situation à analyser. Un membre d'équipage doit effectuer une EVA après plusieurs jours de sommeil imparfait, tout en portant un scaphandre qui limite mouvement, vision et refroidissement.

- **facteur humain:** Fatigue, charge mentale, ergonomie des commandes, stress et communication peuvent transformer une procédure techniquement correcte en opération risquée. Contrôle attendu: Cherchez comment l'interface, la fatigue ou l'organisation modifie la probabilité d'erreur; le contrôle porte sur l'interaction personne-système, pas sur une grandeur qui « augmente » abstraitement.
- **EVA:** Une inspection de panneau solaire sur Mars ajoute poussière, gravité partielle, outils, retour au sas et réserves de secours au problème de survie du scaphandre. Contrôle attendu: Avant la sortie, vérifiez temps, oxygène, énergie, thermique, communications et réserve de retour; l'EVA n'est acceptable que si le chemin de retour reste protégé après une panne simple prévue.
- **charge de travail:** Deux alarmes simultanées pendant une EVA peuvent saturer l'attention même si chacune est simple prise isolément. Contrôle attendu: Une charge soutenable doit laisser du temps aux vérifications, pauses et imprévus; si le planning utilise 100 % du temps disponible, il n'a aucune marge opérationnelle.
- **déconditionnement:** Perte de capacité cardiovasculaire et musculaire peut compliquer une EVA ou une urgence après l'atterrissage. Contrôle attendu: Comparez performance à une référence mesurée dans le temps: une baisse progressive de force, capacité aérobie ou tolérance orthostatique doit apparaître dans la tendance, pas dans un jugement isolé.

Le diagnostic ne doit pas confondre « facteur humain » et « EVA ». Le premier se reconnaît ici par le cas suivant: Fatigue, charge mentale, ergonomie des commandes, stress et communication peuvent transformer une procédure techniquement correcte en opération risquée. Le second doit être contrôlé autrement: Avant la sortie, vérifiez temps, oxygène, énergie, thermique, communications et réserve de retour; l'EVA n'est acceptable que si le chemin de retour reste protégé après une panne simple prévue.

Une seconde vérification croise « charge de travail » et « déconditionnement ». Gardez comme alerte « Allonger une checklist ne réduit pas toujours le risque: une procédure trop dense peut augmenter la charge au mauvais moment. »; pour « déconditionnement », utilisez plutôt ce test: Comparez performance à une référence mesurée dans le temps: une baisse progressive de force, capacité aérobie ou tolérance orthostatique doit apparaître dans la tendance, pas dans un jugement isolé.

Exercice de synthèse

Dans la situation de « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale », classez les indices selon « facteur humain » (Cherchez comment l'interface, la fatigue ou l'organisation modifie la probabilité d'erreur; le contrôle porte sur l'interaction personne-système, pas sur une grandeur qui « augmente » abstraitement.), « EVA » (Avant la sortie, vérifiez temps, oxygène, énergie, thermique, communications et réserve de retour; l'EVA n'est acceptable que si le chemin de retour reste protégé après une panne simple prévue.), « charge de travail » (Une charge soutenable doit laisser du temps aux vérifications, pauses et imprévus; si le planning utilise 100 % du temps disponible, il n'a aucune marge opérationnelle.), « déconditionnement » (Comparez performance à une référence mesurée dans le temps: une baisse progressive de force, capacité aérobie ou tolérance orthostatique doit apparaître dans la tendance, pas dans un jugement isolé.) Décision suspendue si un contrôle échoue.

Corrigé de synthèse

Pour facteur humain, Dans ce module, une erreur sur « facteur humain » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique. Le garde-fou principal est: Attribuer une erreur uniquement à « l'opérateur » masque souvent une conception, une procédure ou une organisation qui a rendu l'erreur probable. Pour EVA, Dans ce module, une erreur sur « eva » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique. Le garde-fou principal est: Une EVA n'est pas une simple sortie en combinaison: c'est une opération de système avec préparation, limites, règles d'abandon et récupération. Pour charge de travail, Dans ce module, une erreur sur « charge de travail » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique. Le garde-fou principal est: Allonger une checklist ne réduit pas toujours le risque: une procédure trop dense peut augmenter la charge au mauvais moment. Pour déconditionnement, Dans ce module, une erreur sur « déconditionnement » peut transformer une EVA ou un problème médical gérable en urgence faute de marge humaine ou physiologique. Le garde-fou principal est: Une bonne performance en transit ne garantit pas la même performance après une transition gravitationnelle; la préparation doit anticiper ce changement.

Mini-leçons quantitatives canoniques

Ce bloc constitue la référence quantitative du module; les valeurs d'exercice sont pédagogiques et ne doivent pas être confondues avec des données de mission.

Marge temporelle d'activité

$$t_margin = t_available - t_task$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $t_margin = t_available - t_task$ » dans « Marge temporelle d'activité » ?

2 — Intuition sans symboles

La marge temporelle représente le temps qui reste pour absorber ralentissement, diagnostic ou retour anticipé.

3 — Grandeurs

t_margin : marge temporelle; $t_available$: fenêtre sûre disponible; t_task : durée nominale de tâche

4 — Formule

$$t_margin = t_available - t_task$$

5 — Lecture

Lire « $t_margin = t_available - t_task$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

t_margin : marge temporelle; $t_available$: fenêtre sûre disponible; t_task : durée nominale de tâche

7 — Prononciation

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

8 — Unités

les trois termes dans la même unité de temps

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 soustraction isole la marge ou la variation entre deux grandeurs exprimées sur la même base.

11 — Hypothèses

Les deux termes doivent utiliser le même repère, la même unité et la même frontière de système.

12 — Contrôle d'unités

les trois termes dans la même unité de temps Vérifier que la simplification dimensionnelle conduit bien à l'unité de la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec $t_available=68$ min et $t_task=52$ min, $t_margin=16$ min.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La soustraction isole la marge ou la variation entre deux grandeurs exprimées sur la même base.

15 — Contrôle indépendant

Ajouter la différence au terme retiré doit restituer le terme initial.

16 — Estimation mentale

Comparer les deux termes suffit à prévoir le signe et l'ordre de grandeur de la différence.

17 — Interprétation

Une marge faible n'est pas nécessairement acceptable si le retour ou la fermeture du sas impose une réserve incompressible.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont justes ni que le modèle reste valide hors du scénario déclaré; ces deux questions doivent être vérifiées séparément.

19 — Sensibilité

Une hausse du premier terme augmente le résultat; une hausse du second le diminue à pente unitaire.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. $t_available=90$ min, $t_task=70$ min.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

t_available=90 min, t_task=70 min. t_margin=20 min.

Exercice autonome. t_available=45 min, t_task=40 min.

Correction autonome — ouvrir après essai

t_available=45 min, t_task=40 min. t_margin=5 min.

21 — Décision mission

Définir un seuil d'abandon avant l'EVA et ne pas consommer la réserve de retour.

Charge de travail équipage

$U_{\text{work}} = H_{\text{tasks}} / H_{\text{available}}$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $U_{\text{work}} = H_{\text{tasks}} / H_{\text{available}}$ » dans « Charge de travail équipage » ?

2 — Intuition sans symboles

Une équipe doit conserver de la capacité pour erreurs, soins, récupération et anomalies, pas seulement remplir les heures disponibles.

3 — Grandeurs

U_{work} : fraction de capacité utilisée; H_{tasks} : heures de tâches; $H_{\text{available}}$: heures utilisables

4 — Formule

$U_{\text{work}} = H_{\text{tasks}} / H_{\text{available}}$

5 — Lecture

Lire « $U_{\text{work}} = H_{\text{tasks}} / H_{\text{available}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

U_{work} : fraction de capacité utilisée; H_{tasks} : heures de tâches; $H_{\text{available}}$: heures utilisables

7 — Prononciation

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

8 — Unités

U_{work} sans dimension; heures sur la même période

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 compare une quantité à une référence homogène et produit un indicateur de proportion.

11 — Hypothèses

Les deux quantités doivent appartenir au même périmètre et à la même période.

12 — Contrôle d'unités

U_{work} sans dimension; heures sur la même période Vérifier que la simplification dimensionnelle conduit bien à l'unité de la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec $H_{\text{tasks}}=60$ h et $H_{\text{available}}=72$ h, $U_{\text{work}} \approx 0,8333=83,33$ %.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division compare une quantité à une référence homogène et produit un indicateur de proportion.

15 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit restituer le numérateur.

16 — Estimation mentale

Avant calcul, comparer mentalement le numérateur au dénominateur pour savoir si le résultat doit être inférieur, proche ou supérieur à un.

17 — Interprétation

Deux plannings ayant la même utilisation globale peuvent différer fortement si une seule spécialité est saturée.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont justes ni que le modèle reste valide hors du scénario déclaré; ces deux questions doivent être vérifiées séparément.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente si le numérateur augmente et diminue si le dénominateur augmente, toutes choses égales par ailleurs.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. $H_{\text{tasks}}=48$ h, $H_{\text{available}}=64$ h.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

$H_{\text{tasks}}=48$ h, $H_{\text{available}}=64$ h. $U_{\text{work}}=0,75=75$ %.

Exercice autonome. $H_{\text{tasks}}=35$ h, $H_{\text{available}}=50$ h.

Correction autonome — ouvrir après essai

$H_{\text{tasks}}=35$ h, $H_{\text{available}}=50$ h. $U_{\text{work}}=0,70=70$ %.

21 — Décision mission

Analyser aussi la charge par rôle critique et la récupération après EVA ou urgence.

Autonomie d'oxygène

$$t_{\text{O}_2} = m_{\text{O}_2} / q_{\text{O}_2}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $t_{\text{O}_2} = m_{\text{O}_2} / q_{\text{O}_2}$ » dans « Autonomie d'oxygène » ?

2 — Intuition sans symboles

Un stock respiratoire devient une durée lorsqu'on le rapporte au débit de consommation dans le même scénario.

3 — Grandeurs

t_{O_2} : autonomie; m_{O_2} : masse d'oxygène utilisable; q_{O_2} : consommation massique moyenne

4 — Formule

$$t_{\text{O}_2} = m_{\text{O}_2} / q_{\text{O}_2}$$

5 — Lecture

Lire « $t_{\text{O}_2} = m_{\text{O}_2} / q_{\text{O}_2}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

t_{O_2} : autonomie; m_{O_2} : masse d'oxygène utilisable; q_{O_2} : consommation massique moyenne

7 — Prononciation

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

8 — Unités

t_{O_2} en temps; m_{O_2} en kg; q_{O_2} en kg par unité de temps

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 compare une quantité à une référence homogène et produit un indicateur de proportion.

11 — Hypothèses

Les deux quantités doivent appartenir au même périmètre et à la même période.

12 — Contrôle d'unités

t_{O_2} en temps; m_{O_2} en kg; q_{O_2} en kg par unité de temps Vérifier que la simplification dimensionnelle conduit bien à l'unité de la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec $m_{O_2}=1,2$ kg et $q_{O_2}=0,10$ kg/h, $t_{O_2}=12$ h.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division compare une quantité à une référence homogène et produit un indicateur de proportion.

15 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit restituer le numérateur.

16 — Estimation mentale

Avant calcul, comparer mentalement le numérateur au dénominateur pour savoir si le résultat doit être inférieur, proche ou supérieur à un.

17 — Interprétation

Le débit varie avec métabolisme, effort, fuite et mode du scaphandre; l'autonomie nominale ne doit pas être consommée jusqu'à zéro.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont justes ni que le modèle reste valide hors du scénario déclaré; ces deux questions doivent être vérifiées séparément.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente si le numérateur augmente et diminue si le dénominateur augmente, toutes choses égales par ailleurs.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. $m_{O_2}=0,9$ kg, $q_{O_2}=0,075$ kg/h.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

$m_{O_2}=0,9$ kg, $q_{O_2}=0,075$ kg/h. $t_{O_2}=12$ h.

Exercice autonome. $m_{O_2}=1,5$ kg, $q_{O_2}=0,125$ kg/h.

Correction autonome — ouvrir après essai

$m_{O_2}=1,5$ kg, $q_{O_2}=0,125$ kg/h. $t_{O_2}=12$ h.

21 — Décision mission

Conserver une réserve de retour et utiliser le pire débit crédible pour l'abandon.

Énergie métabolique sur une EVA

$$E_{\text{met}} = P_{\text{met}} \times t_{\text{eva}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $E_{\text{met}} = P_{\text{met}} \times t_{\text{eva}}$ » dans « Énergie métabolique sur une EVA » ?

2 — Intuition sans symboles

La charge thermique et physiologique cumulée dépend de la puissance métabolique moyenne et du temps passé en activité.

3 — Grandeurs

E_{met} : énergie métabolique; P_{met} : puissance métabolique moyenne; t_{eva} : durée EVA

4 — Formule

$$E_{\text{met}} = P_{\text{met}} \times t_{\text{eva}}$$

5 — Lecture

Lire « $E_{\text{met}} = P_{\text{met}} \times t_{\text{eva}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

E_{met} : énergie métabolique; P_{met} : puissance métabolique moyenne; t_{eva} : durée EVA

7 — Prononciation

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

8 — Unités

E_{met} en Wh si P_{met} en W et t_{eva} en 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 multiplication transforme un taux ou une grandeur spécifique en quantité totale sur l'intervalle ou la population considérée.

11 — Hypothèses

Les facteurs doivent décrire le même scénario et leurs unités doivent être compatibles.

12 — Contrôle d'unités

E_{met} en Wh si P_{met} en W et t_{eva} en h Vérifier que la simplification dimensionnelle conduit bien à l'unité de la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec $P_{\text{met}}=350$ W et $t_{\text{eva}}=4$ h, $E_{\text{met}}=1\,400$ Wh=1,4 kWh.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La multiplication transforme un taux ou une grandeur spécifique en quantité totale sur l'intervalle ou la population considérée.

15 — Contrôle indépendant

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver l'autre facteur.

16 — Estimation mentale

Estimer séparément l'ordre de grandeur de chaque facteur permet de prévoir celui du produit.

17 — Interprétation

Une moyenne énergétique ne remplace pas l'analyse des pointes d'effort, du refroidissement et des limites individuelles.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont justes ni que le modèle reste valide hors du scénario déclaré; ces deux questions doivent être vérifiées séparément.

19 — Sensibilité

À facteurs indépendants, une variation relative d'un facteur se transmet directement au produit.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. $P_{\text{met}}=300$ W, $t_{\text{eva}}=5$ h.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

$P_{\text{met}}=300$ W, $t_{\text{eva}}=5$ h. $E_{\text{met}}=1\,500$ Wh.

Exercice autonome. $P_{\text{met}}=450$ W, $t_{\text{eva}}=2,5$ h.

Correction autonome — ouvrir après essai

$P_{\text{met}}=450$ W, $t_{\text{eva}}=2,5$ h. $E_{\text{met}}=1\,125$ Wh.

21 — Décision mission

Dimensionner refroidissement et procédure sur les charges métaboliques qualifiées, pas sur une moyenne confortable.

Masse de CO₂ produite pendant une EVA

$$m_{\text{CO}_2} = q_{\text{CO}_2} \times t_{\text{eva}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $m_{\text{CO}_2} = q_{\text{CO}_2} \times t_{\text{eva}}$ » dans « Masse de CO₂ produite pendant une EVA » ?

2 — Intuition sans symboles

La production cumulée de dioxyde de carbone dimensionne la capacité du système à l'éliminer pendant la sortie.

3 — Grandeurs

m_{CO_2} : masse de CO_2 produite; q_{CO_2} : débit massique moyen de production; t_{eva} : durée EVA

4 — Formule

$$m_{CO_2} = q_{CO_2} \times t_{eva}$$

5 — Lecture

Lire « $m_{CO_2} = q_{CO_2} \times t_{eva}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

m_{CO_2} : masse de CO_2 produite; q_{CO_2} : débit massique moyen de production; t_{eva} : durée EVA

7 — Prononciation

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

8 — Unités

m_{CO_2} en kg; q_{CO_2} en kg/h; t_{eva} en 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 multiplication transforme un taux ou une grandeur spécifique en quantité totale sur l'intervalle ou la population considérée.

11 — Hypothèses

Les facteurs doivent décrire le même scénario et leurs unités doivent être compatibles.

12 — Contrôle d'unités

m_{CO_2} en kg; q_{CO_2} en kg/h; t_{eva} en h Vérifier que la simplification dimensionnelle conduit bien à l'unité de la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec $q_{CO_2}=0,09$ kg/h et $t_{eva}=6$ h, $m_{CO_2}=0,54$ kg.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La multiplication transforme un taux ou une grandeur spécifique en quantité totale sur l'intervalle ou la population considérée.

15 — Contrôle indépendant

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver l'autre facteur.

16 — Estimation mentale

Estimer séparément l'ordre de grandeur de chaque facteur permet de prévoir celui du produit.

17 — Interprétation

La production instantanée varie avec l'effort; la capacité d'absorption doit aussi traiter les pointes.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont justes ni que le modèle reste valide hors du scénario déclaré; ces deux questions doivent être vérifiées séparément.

19 — Sensibilité

À facteurs indépendants, une variation relative d'un facteur se transmet directement au produit.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. $q_{CO_2}=0,08$ kg/h, $t_{eva}=5$ h.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

$q_{CO_2}=0,08$ kg/h, $t_{eva}=5$ h. $m_{CO_2}=0,40$ kg.

Exercice autonome. $q_{CO_2}=0,12$ kg/h, $t_{eva}=3$ h.

Correction autonome — ouvrir après essai

$q_{CO_2}=0,12$ kg/h, $t_{eva}=3$ h. $m_{CO_2}=0,36$ kg.

21 — Décision mission

Conserver une marge d'absorption et surveiller la pression partielle de CO_2 en temps réel.

Dose cumulée à débit constant

$$D = \text{dose_rate} \times t_exposure$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $D = \text{dose_rate} \times t_exposure$ » dans « Dose cumulée à débit constant » ?

2 — Intuition sans symboles

À débit constant, la dose cumulée croît directement avec la durée passée dans l'environnement.

3 — Grandeurs

D: dose cumulée; dose_rate: débit de dose moyen; t_exposure: durée d'exposition

4 — Formule

$$D = \text{dose_rate} \times t_exposure$$

5 — Lecture

Lire « $D = \text{dose_rate} \times t_exposure$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

D: dose cumulée; dose_rate: débit de dose moyen; t_exposure: durée d'exposition

7 — Prononciation

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

8 — Unités

D dans l'unité de dose; dose_rate en dose par temps; t_exposure en temps

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 ou une grandeur spécifique en quantité totale sur l'intervalle ou la population considérée.

11 — Hypothèses

Les facteurs doivent décrire le même scénario et leurs unités doivent être compatibles.

12 — Contrôle d'unités

D dans l'unité de dose; dose_rate en dose par temps; t_exposure en temps Vérifier que la simplification dimensionnelle conduit bien à l'unité de la grandeur recherchée.

13 — Cas numérique

Avec dose_rate=0,5 mSv/h et t_exposure=6 h, $D=3,0$ mSv.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La multiplication transforme un taux ou une grandeur spécifique en quantité totale sur l'intervalle ou la population considérée.

15 — Contrôle indépendant

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver l'autre facteur.

16 — Estimation mentale

Estimer séparément l'ordre de grandeur de chaque facteur permet de prévoir celui du produit.

17 — Interprétation

Le débit peut varier avec blindage, géométrie et événement solaire; l'intégrale temporelle réelle doit alors remplacer le produit simple.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont justes ni que le modèle reste valide hors du scénario déclaré; ces deux questions doivent être vérifiées séparément.

19 — Sensibilité

À facteurs indépendants, une variation relative d'un facteur se transmet directement au produit.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. dose_rate=0,2 mSv/h, t_exposure=10 h.

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

dose_rate=0,2 mSv/h, t_exposure=10 h. $D=2,0$ mSv.

Exercice autonome. dose_rate=1,2 mSv/h, t_exposure=2 h.

Correction autonome — ouvrir après essai

dose_rate=1,2 mSv/h, t_exposure=2 h. D=2,4 mSv.

21 — Décision mission

Réduire l'exposition ou augmenter la protection si la dose projetée dépasse le budget autorisé.

Progression de maîtrise

1. facteur humain: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
2. EVA: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
3. charge de travail: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
4. déconditionnement: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
5. Synthèse de « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale »: confrontez « facteur humain » à « EVA »; choisissez le contrôle prioritaire.

Vérification de maîtrise

Validation 22 — facteur humain, EVA, charge de travail, déconditionnement. Pour chaque notion: un indice et un contrôle.

Objectifs de maîtrise

- Construire une chaîne cause → observation → mesure pour « Comprendre avant de calculer ».
- Refaire manuellement la vérification la plus utile à « facteur humain ».
- Décrire la panne, l'incertitude ou la limite qui menace « EVA ».
- Expliquer comment « charge de travail » modifie l'architecture ou les opérations.

1. Performance humaine et limites physiologiques

La performance varie avec sommeil, [rythme circadien](#), charge de travail, stress, nutrition et santé. Une procédure conçue pour un opérateur reposé peut devenir dangereuse après une longue anomalie nocturne. Le système doit donc limiter la dépendance à la mémoire, fournir des repères clairs et prévoir des temps de récupération. La fatigue est un risque système, pas un défaut moral de l'équipage.

Réflexe d'ingénierie. Pour « performance humaine et limites physiologiques », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — « module 22 · Réflexe d'ingénierie ».

Approfondissement — Performance humaine: la fatigue devient une variable de système

Un équipage fatigué ne perd pas brutalement toutes ses compétences; il devient plus lent, oublie davantage d'étapes et gère moins bien plusieurs signaux simultanés. Cela rend la fatigue dangereuse parce que la dégradation peut rester invisible jusqu'au mauvais moment. On peut suivre la charge de travail par temps de tâche, interruptions, complexité des procédures et [qualité](#) du sommeil. Aucun indicateur unique ne remplace l'observation de performance réelle.

Dans une mission martienne, les horaires doivent être conçus comme une ressource. Une opération EVA de six heures n'occupe pas seulement six heures: préparation, habillage, [dépressurisation](#), sortie, retour, remise en pression, maintenance des scaphandres et débriefing consomment également du temps et de l'attention. Si une urgence survient juste après, le système doit supposer un équipage déjà entamé. La marge humaine doit donc être traitée comme la marge électrique ou thermique: elle ne doit pas être consommée systématiquement en exploitation nominale.

2. Facteurs humains et conception des interfaces

Une alarme doit être perceptible, compréhensible et hiérarchisée. Trop d'alarmes simultanées créent du bruit; une information critique cachée dans un écran secondaire ralentit le diagnostic. La conception prend en compte anthropométrie, gants, visibilité, éclairage, accès [maintenance](#) et compatibilité avec les procédures. L'interface fait partie du système de sécurité.

Réflexe d'ingénierie. Pour « [facteurs humains](#) et conception des interfaces », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — « Approfondissement — Performance humaine: la ». Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — « Approfondissement — Performance humaine: la ».

3. Médecine spatiale et autonomie croissante

Loin de la Terre, l'équipage ne peut pas compter sur une évacuation rapide. Il faut définir capacités de diagnostic, pharmacie, gestes d'urgence, télémedecine, consommables et compétences croisées. Le niveau d'autonomie dépend du délai de communication et du temps de retour. Une colonie durable exige davantage qu'une trousse de secours: elle demande une véritable chaîne de soins.

Réflexe d'ingénierie. Pour « médecine spatiale et autonomie croissante », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — « Approfondissement — Performance humaine: la ». Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — « Approfondissement — Performance humaine: la ».

Approfondissement — Médecine opérationnelle: décider avec peu de ressources et une évacuation impossible

Sur Terre, une équipe médicale peut stabiliser un patient puis l'envoyer vers un niveau de soins supérieur. Sur Mars, ce niveau supérieur peut ne pas exister. Le système médical doit donc être conçu autour des capacités réellement disponibles: diagnostic, médicaments, imagerie, chirurgie limitée, soins dentaires, réhabilitation et isolement. La décision de traitement dépend aussi du stock restant et du risque pour l'équipage entier.

Le triage change de nature lorsqu'une évacuation rapide est impossible. Une blessure grave pendant une EVA peut nécessiter deux sauveteurs, interrompre une tâche critique et consommer du matériel médical irremplaçable. Les procédures doivent donc relier médecine, opérations, ressources et commandement. La meilleure prévention reste souvent en amont: conception ergonomique, entraînement, limites de charge, protection contre les chutes, surveillance de la fatigue et capacité à arrêter une activité avant que la pression du calendrier ne transforme un incident évitable en urgence médicale.

4. EVA: transformer un humain en système mobile autonome

Une sortie extravéhiculaire combine [scaphandre](#) pressurisé, oxygène, élimination du CO₂, thermique, communications, alimentation, mobilité et procédures. Chaque minute dehors consomme des ressources et expose à des risques. Sur Mars s'ajoutent [poussière](#), relief, distances et gestion du sas. Une EVA est donc une mission complète imbriquée dans la mission principale.

Réflexe d'ingénierie. Pour « eva: transformer un humain en système mobile autonome », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — « Approfondissement — Médecine opérationnelle: décider ». Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — « Approfondissement — Médecine opérationnelle: décider ».

Approfondissement — Budget EVA: temps, oxygène, CO₂, refroidissement et énergie doivent fermer ensemble

Une sortie extravéhiculaire peut être décrite par plusieurs budgets simultanés. Le temps maximal dépend de l'oxygène disponible, de la capacité à éliminer le [dioxyde de carbone](#), du refroidissement, de la batterie et de la réserve d'urgence. Si une batterie contient une énergie $E = 3,0 \text{ kWh}$ et que la puissance moyenne consommée vaut $P = 0,42 \text{ kW}$, le temps

énergétique théorique vaut $t = E \div P = 3,0 \div 0,42 \approx 7,14$ h. Ici E est l'énergie, P la puissance et t le temps. Mais ce résultat ne signifie pas que l'EVA peut durer 7,14 h: un autre consommable peut devenir limitant avant.

Le plan opérationnel retient donc la contrainte la plus sévère et ajoute une réserve. Il faut aussi prévoir le cas où le retour demande plus de temps que prévu: blessure, rover immobilisé, sas principal indisponible ou tempête de poussière réduisant la visibilité. La règle est que le budget d'urgence ne doit pas servir à terminer le travail nominal. Une base qui utilise régulièrement sa réserve d'oxygène EVA pour gagner trente minutes de productivité est déjà en train de transformer une marge de survie en dette opérationnelle.

5. Scaphandres, sas et contamination

Le scaphandre doit maintenir pression et composition gazeuse tout en permettant le mouvement. Le sas gère transition de pression, équipements et contamination. La poussière martienne pose des questions de joints, filtres, abrasion et entrée dans l'habitat. Une architecture peut réduire le transfert de poussière par des zones intermédiaires, procédures de nettoyage et choix de matériaux.

Réflexe d'ingénierie. Pour « scaphandres, sas et contamination », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — module 22 · Scaphandres, sas et contamination · Réflexe d'ingénierie. Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — module 22 · Scaphandres, sas et contamination · Réflexe d'ingénierie.

6. Robotique comme partenaire de l'équipage

Robots, bras et rovers peuvent préparer un site, déplacer des charges ou inspecter une zone avant exposition humaine. L'enjeu n'est pas de choisir « humain ou robot » mais de répartir les tâches selon [force](#), précision, jugement, délai et risque. Une bonne interface permet à l'équipage de superviser plusieurs systèmes sans devenir le goulot d'étranglement de toute opération.

Réflexe d'ingénierie. Pour « robotique comme partenaire de l'équipage », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — module 22 · Robotique comme partenaire de · Réflexe d'ingénierie. Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — module 22 · Robotique comme partenaire de · Réflexe d'ingénierie.

7. Procédures nominales, urgences et critères d'abandon

Une procédure nominale explique comment réussir; une procédure d'urgence doit aussi expliquer quand arrêter. Incendie, dépressurisation, toxicité, panne médicale ou perte de [puissance](#) demandent des priorités explicites. Les actions immédiates doivent être simples et entraînées. Les actions différées peuvent utiliser check-lists, diagnostic et support au sol.

Réflexe d'ingénierie. Pour « procédures nominales, urgences et critères d'abandon », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — module 22 · Procédures nominales, urgences et · Réflexe d'ingénierie. Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — module 22 · Procédures nominales, urgences et · Réflexe d'ingénierie.

8. Entraînement, simulation et répétition

La compétence opérationnelle se construit par répétition réaliste. Simulateurs, maquettes, scénarios intégrés et entraînements sous contrainte permettent d'apprendre les erreurs sans perdre le véhicule. Injecter des pannes oblige les équipes à pratiquer communication, autorité et récupération. L'entraînement doit couvrir les transitions rares, pas seulement le fonctionnement nominal fréquent.

Réflexe d'ingénierie. Pour « entraînement, simulation et répétition », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — module 22 · Entraînement, simulation et répétition · Réflexe d'ingénierie. Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — module 22 · Entraînement, simulation et répétition · Réflexe d'ingénierie.

9. Équipe, leadership et communication différée

Une mission martienne ne peut pas attendre une [validation](#) terrestre pour chaque décision. Les rôles, délégations et limites d'autorité doivent être préparés. Le leadership change avec la situation: un spécialiste peut prendre l'autorité technique pendant une panne puis la rendre ensuite. La qualité du [handover](#) entre équipes et la tenue d'un journal opérationnel deviennent essentielles quand les décisions s'étalent sur des jours.

Réflexe d'ingénierie. Pour « équipe, leadership et communication différée », noter d'abord les entrées, les sorties, les unités et la plage de validité. Puis construire un cas nominal et un cas dégradé — module 22 · Équipe, leadership et communication · Réflexe d'ingénierie. Ce double calcul empêche de confondre une relation mathématique correcte avec une architecture réellement exploitable sur Mars — module 22 · Équipe, leadership et communication · Réflexe d'ingénierie.

Exemple calculé pas à pas

La méthode de travail est toujours la même: écrire ce que représente chaque symbole, convertir toutes les unités vers un système cohérent, effectuer l'opération, puis traduire le résultat en phrase — « Approfondissement — Budget EVA: temps, ». Enfin, faire un contrôle [d'ordre de grandeur](#). Pour « Approfondissement — Budget EVA: temps, », si le résultat change de facteur mille lorsqu'on passe de millimètres à mètres, la conversion doit être visible dans le calcul.

Exercice progressif

1. Choisissez un cas élémentaire de « facteur humain », puis dressez les données utiles à « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale », leur origine et leurs unités avant de calculer.
2. Calculer le résultat nominal sans marge.
3. Modifier le paramètre le plus incertain de $\pm 20\%$ et comparer — « Approfondissement — Budget EVA: temps, ».
4. Ajouter une panne crédible et expliquer quel indicateur permet de la détecter — « Approfondissement — Budget EVA: temps, ».
5. Décider si le système continue, se dégrade ou doit s'arrêter — « Approfondissement — Budget EVA: temps, ».

Solution raisonnée

Pour « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale », le résultat final doit être accompagné de son unité, de l'hypothèse qui le domine et de ce qu'il change pour « facteur humain ». Elle montre les conversions, la logique de la formule, la sensibilité et la décision — module 22 · Solution raisonnée. Si deux hypothèses différentes conduisent à la même décision opérationnelle, la conception est relativement robuste à cette incertitude. Dans le corrigé de « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale », une variation capable d'inverser la conclusion sur « facteur humain » devient une priorité de mesure ou de marge.

Mini-projet de validation

Construisez un dossier de validation consacré à « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale »: il doit rendre vérifiable au moins un choix concernant « facteur humain » et expliciter le cas qui ferait rejeter ce choix. La validation de « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale » repose sur un fil unique: données sourcées → analyse de Comprendre avant de calculer → essai ou contrôle de facteur humain → décision motivée sur EVA. Le mini-projet sur « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale » est recevable si un autre équipier peut reproduire la vérification de « facteur humain » et retrouver la même décision à partir des mêmes données.

Erreurs classiques à détecter

- Attribuer une cause à « facteur humain » sans vérifier un indice indépendant du même phénomène.
- Utiliser une valeur de « facteur humain » sans indiquer son unité, son origine ou sa plage de validité.
- Conclure sur « EVA » à partir du cas nominal alors qu'un état dégradé change la décision.

- Dans « Facteurs humains, EVA & médecine spatiale », ne laissez jamais une précision numérique masquer l'hypothèse qui commande réellement le résultat.

Sources primaires et passerelles

- NASA — Crew & Operations Training
- NASA-STD-3001 — Crew Health

Repères lexicaux du module. état dégradé

- www.nasa.gov — documentation institutionnelle
- Space Academy — parcours complet

Matrice de parité FR ↔ EN

FR	EN
Marge temporelle d'activité	Activity time margin
Charge de travail équipage	Crew workload utilisation
Autonomie d'oxygène	Oxygen endurance
Énergie métabolique sur une EVA	Metabolic energy over an EVA
Masse de CO ₂ produite pendant une EVA	CO2 mass produced during an EVA
Dose cumulée à débit constant	Accumulated dose at constant dose rate