

EVA avancée: sas, sauvetage et contingences scaphandre



Astronautes réalisant les contrôles du scaphandre et du sas avant une EVA sur Mars.

Visualisation conceptuelle — une EVA sûre repose sur le scaphandre, les consommables, le sas, les communications, le binôme, le secours et des critères de retour mesurables.

Concevoir l'**activité extravéhiculaire** comme une chaîne complète: préparation, sas, mobilité, outils, retour, sauvetage et récupération après **anomalie**. Repères INFO: buddy system. Le buddy system complète cette surveillance mutuelle en imposant qu'un équipier puisse détecter et prendre en charge une anomalie chez l'autre.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — EVA avancée: sas, sauvetage et contingences scaphandre: comment « Sas et interfaces habitat-scaphandre » agit-il sur « Consommables et temps disponible », et quel repère issu de « Thermique et charge de travail » permet de vérifier la décision?

Intuition. Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.



Sas et interfaces habitat-scaphandre

Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.



Consommables et temps disponible

Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.



Thermique et charge de travail

Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

Repère concret. À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».

- Sas et interfaces habitat-scaphandre — Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement...
- Consommables et temps disponible — Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement...
- Thermique et charge de travail — Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement...

CARTE DE MAÎTRISE · MODULE 46

Quatre repères à maîtriser — EVA avancée: sas, sauvetage et contingences scaphandre

Sas et interfaces habitat-scaphandre

Définition

Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour

Intuition ou cas concret

et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

Repère quantitatif

Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

Limite ou critère de vigilance

À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».

distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Exercice guidé — Sas et interfaces habitat-scaphandre

Cas « Sas et interfaces habitat-scaphandre » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...

Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ». Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Corrigé raisonné — Sas et interfaces habitat-scaphandre**Point de départ**

Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

Indice du cas

À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».

Réserve à appliquer

distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Conclusion

Construire une EVA conceptuelle de maintenance extérieure avec chronologie, ressources, points de décision et trois contingences.

Consommables et temps disponible

Définition

Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

Intuition ou cas concret

Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

Repère quantitatif

À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».

Limite ou critère de vigilance

distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Exercice guidé — Consommables et temps disponible

Cas « Consommables et temps disponible » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...

Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ». Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Corrigé raisonné — Consommables et temps disponible

Point de départ	Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.
Indice du cas	À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve à appliquer	distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.
Conclusion	Construire une EVA conceptuelle de maintenance extérieure avec chronologie, ressources, points de décision et trois contingences.

Thermique et charge de travail

Définition	Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.
Intuition ou cas concret	Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.
Repère quantitatif	À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Limite ou critère de vigilance	distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Exercice guidé — Thermique et charge de travail

Cas « Thermique et charge de travail » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...

Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ». Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Corrigé raisonné — Thermique et charge de travail

Point de départ	Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.
Indice du cas	À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve à appliquer	distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.
Conclusion	Construire une EVA conceptuelle de maintenance extérieure avec chronologie, ressources, points de décision et trois contingences.

Communications et perte de liaison

Définition	Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.
Intuition ou cas concret	Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.
Repère quantitatif	À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Limite ou critère de vigilance	distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Exercice guidé — Communications et perte de liaison

Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...

Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ». Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Corrigé raisonné — Communications et perte de liaison

Point de départ	Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.
Indice du cas	À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve à appliquer	distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.
Conclusion	Construire une EVA conceptuelle de maintenance extérieure avec chronologie, ressources, points de décision et trois contingences.

Repères avant de commencer: modules 00 à 40 recommandés selon le sujet. Si une notion antérieure devient bloquante pour « EVA avancée: sas, sauvetage et contingences scaphandre », son rôle est rappelé dans le raisonnement plutôt que supposé connu.

Objectifs de maîtrise

- Construire une chaîne cause → **observation** → mesure pour « L'EVA commence avant l'ouverture de la porte ».
- Refaire manuellement la **vérification** la plus utile à « Sas: **pression**, contamination et débit opérationnel ».
- Décrire la panne, **l'incertitude** ou la limite qui menace « Mobilité en scaphandre: **fatigue** et géométrie réelle ».

- Expliquer comment « Buddy system et surveillance mutuelle » modifie l'architecture ou les opérations.

1. L'EVA commence avant l'ouverture de la porte

La sortie débute par préparation du scaphandre, vérification des consommables, outils, communications, plan de travail et critères d'abandon. Une erreur non détectée dans le sas devient beaucoup plus coûteuse une fois l'équipier éloigné de l'habitat.

2. Sas: pression, contamination et débit opérationnel

Le sas échange des personnes mais aussi de l'atmosphère et de la poussière. Le cycle doit gérer [dépressurisation](#), repressurisation, fuite, [purge](#), rangement et séparation du matériel contaminé. Le temps de sas fait partie du budget EVA et peut devenir un goulot d'étranglement si plusieurs équipes doivent sortir.

3. Mobilité en scaphandre: fatigue et géométrie réelle

Un outil facile à utiliser en chemise peut devenir difficile avec gants pressurisés et mobilité limitée. La conception doit tester préhension, couple, visibilité, posture et accès. Les tâches répétitives doivent être organisées pour éviter qu'une dépense physique excessive transforme une opération simple en risque de retour.

4. Buddy system et surveillance mutuelle

Deux équipiers se contrôlent mutuellement: [état](#) du scaphandre, mobilité, comportement et consommation. Le principe n'interdit pas de travailler séparément à courte distance, mais il garantit qu'une anomalie humaine ou matérielle peut être détectée par une autre personne.

5. Sauvetage d'un équipier incapable de marcher

Le plan doit prévoir remorquage, transport sur rover, aide à l'entrée du sas et traitement médical. La [masse](#) apparente réduite sur Mars facilite certains mouvements mais l'inertie demeure. Une personne en scaphandre avec équipement reste un objet lourd qu'il faut accélérer, arrêter et faire passer dans des ouvertures limitées.

6. Perte de communication ou alarme scaphandre

Une alarme n'entraîne pas toutes la même réponse. Certaines imposent retour immédiat, d'autres arrêt de tâche et diagnostic. La [procédure](#) doit distinguer panne du capteur et panne réelle sans demander à l'équipier de prendre des risques supplémentaires pour confirmer.

7. Budget consommable EVA: plusieurs limites simultanées

La durée d'une EVA n'est pas fixée par une seule jauge. [Oxygène](#), élimination du [dioxyde de carbone](#), batterie, eau de refroidissement, état thermique et fatigue imposent plusieurs limites. Le plan doit conserver une réserve pour le retour, puis une réserve supplémentaire pour assister un coéquipier. Une sortie consommant 95 % de la capacité théorique ne laisse presque aucune place pour un détour, un outil bloqué ou une progression plus lente. Le budget est donc actualisé pendant la sortie et les tâches secondaires sont abandonnées avant que la marge de retour ne soit compromise.

8. Sauvetage d'un équipier: concevoir le retour avant l'accident

Un équipier blessé peut ne plus pouvoir marcher, contrôler sa posture ou manipuler les interfaces du sas. Le [système](#) EVA doit prévoir comment déplacer la masse du corps et de la combinaison, attacher le blessé à un dispositif de secours et faire entrer deux personnes dans une [configuration](#) dégradée. Une procédure qui suppose de porter manuellement un équipier sur plusieurs kilomètres n'est pas crédible. Le rayon opérationnel doit intégrer ce scénario; plus l'équipe s'éloigne, plus véhicule, communications et réserve de consommables deviennent nécessaires.

9. Sas et contamination: rentrer sans transporter le terrain dans l'habitat

Le sas gère simultanément pression et contamination. La poussière martienne s'accumule sur joints, articulations et surfaces puis peut entrer dans les volumes habités. Le retour prévoit inspection, retrait ou confinement de poussière, surveillance des joints et séparation des équipements sales. Les cycles répétés sont aussi une charge de **maintenance**: pompes, vannes, capteurs et joints sont suivis selon leur nombre de cycles et leurs symptômes. Une dérive du temps de pompage ou du taux de fuite peut révéler une dégradation avant la panne. Le sas devient un système à surveiller comme un véhicule, pas une simple porte.

10. Exemple calculé: autonomie de retour

Un équipier se trouve à 1,8 km du sas. Sa **vitesse** de retour normale est 3,0 km/h, soit 0,6 h = 36 min. Avec une pénalité de 40 % en mode assistance, la vitesse tombe à 1,8 km/h et le retour dure 1 h. Si l'**autonomie** de secours n'est que de 50 min, cette position est incompatible avec un scénario de retour assisté sans moyen mobile.

Étude de cas calculée: budget de retour après une anomalie EVA

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — L'autonomie planifiée du système-vie est de 8 h. Après 3,25 h de sortie, l'équipage doit conserver 1,5 h de réserve de contingence et 0,75 h pour le passage du sas et la prise en charge.

On note T_{max} l'autonomie, en heures; T_{ecoule} le temps déjà consommé; T_{reserve} la réserve; T_{sas} le sas et la prise en charge; T_{retour} le temps maximal disponible pour revenir.

$T_{\text{retour}} = T_{\text{max}} - T_{\text{ecoule}} - T_{\text{reserve}} - T_{\text{sas}} = 8 - 3,25 - 1,5 - 0,75 = 2,5$ h. À une vitesse assistée supposée $v = 2$ km/h, la distance maximale de retour vaut $d = v \times T_{\text{retour}} = 2 \times 2,5 = 5$ km.

Le résultat ne définit pas un rayon EVA réel. Il illustre le principe: une réserve et le temps de sas sont des consommations de budget à soustraire avant d'estimer la capacité de retour.

11. Exercice

Définir une EVA à 2 km de l'habitat et injecter successivement perte radio, blessure à la cheville et alarme de pression. Pour chaque cas, écrire le **critère d'abandon**, la route de retour et le rôle du second équipier.

12. Solution raisonnée

Calculer d'abord le rayon autorisé par le retour nominal puis refaire le budget en supposant qu'un équipier doit être assisté et que la vitesse **moyenne** chute fortement. La mission retient le plus contraignant des deux rayons et préserve une réserve de consommables. Si aucun moyen de transport d'un équipier immobile n'existe, il faut réduire la distance ou ajouter un véhicule de secours.

13. Mini-projet de validation

Concevoir un dossier EVA complet: cycle sas, consommables, outils, communications, limites météo, critères d'abandon, sauvetage, retour assisté, prise en charge médicale et débriefing technique.

Approfondissement du module 46: comprendre, calculer, vérifier et décider

Objectif du module — comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

1. Objectif EVA et critères d'abandon

Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$\text{Marge_conso} = \text{Stock} - \text{Consommation_prévue}$

Question de départ

Quelle marge signée Marge_conso fournit la soustraction «Marge_conso = Stock - Consommation_prévue» dans «1. Objectif EVA et critères d'abandon»?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «Marge indice conso égale Stock - Consommation indice prévue».

Symboles, prononciation et sens

Marge_conso («marge consommation»): quantité de ressource restant au-delà du besoin prévu; Stock («stock»): quantité disponible au départ; Consommation_prévue («consommation prévue»): quantité cumulée qui sera consommée pendant l'EVA ou la période considérée.

Unités

Une même unité de quantité (par exemple L doit servir à Marge_conso, Stock et Consommation_prévue, kg, Wh ou doses selon la ressource). Si la consommation est fournie comme un débit, elle doit être multipliée par la durée avant la soustraction.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée.

Pourquoi cette opération

On soustrait une quantité consommée cumulée d'une quantité disponible sur le même périmètre. Soustraire directement un débit par heure à un stock serait dimensionnellement faux.

Substitution et calcul

Utiliser seulement les valeurs du scénario pour les deux termes, les convertir sur une base commune, puis effectuer la différence.

Saisie sur calculatrice

Pour le calcul numérique, évaluer les sous-expressions de chaque côté du signe moins et exécuter la soustraction en dernier.

Estimation mentale

Un contrôle mental compare les tailles des deux termes et prévoit si Marge_conso doit être positif, nul ou négatif avant d'afficher les décimales.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Marge_conso} + \text{Consommation_prévue}$ doit redonner Stock.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «1. Objectif EVA et critères d'abandon», le résultat de « $\text{Marge_conso} = \text{Stock} - \text{Consommation_prévue}$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

En français courant, Marge_conso répond à «combien reste-t-il quand on enlève la seconde quantité de la première?».

Variation / sensibilité

Une petite hausse du premier terme augmente la marge; une hausse identique du terme retiré la diminue de la même quantité.

Limite / hypothèse

La différence reste fiable seulement si les grandeurs comparées sont homogènes et si leur incertitude ne rend pas le signe indéterminé.

Termes: marge

On injecte maintenant l'événement suivant: la communication principale est perdue.

2. Sas et interfaces habitat-scaphandre

Dans ce module, sas et interfaces habitat-scaphandre sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$$m_{\text{gaz}} = p \times V / (R_{\text{spec}} \times T)$$

Question de départ

La relation « $m_{\text{gaz}} = p \times V / (R_{\text{spec}} \times T)$ » compare $p \times V$ à $(R_{\text{spec}} \times T)$: quel est le ratio m_{gaz} ?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: « m indice gaz égale p multiplié par V divisé par $(R$ indice spec multiplié par $T)$ ».

Symboles, prononciation et sens

m_{gaz} (« m gaz»): masse de gaz; p (« p »): pression absolue du gaz; V (« v »): volume occupé; R_{spec} («erre spécifique»): constante spécifique du gaz considéré; T (« t »): température absolue.

Unités

m_{gaz} en kg; p en Pa; V en m^3 ; R_{spec} en $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; T en K. Comme $\text{Pa}\cdot\text{m}^3 = \text{J}$, $\text{J} \div [\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})\times\text{K}] = \text{kg}$.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée.

Pourquoi cette opération

La forme massique de l'équation des gaz parfaits est $pV = m R_{\text{spec}} T$. Isoler la masse impose donc $m = pV/(R_{\text{spec}} T)$.

Substitution et calcul

La substitution place la donnée de $p \times V$ au numérateur et celle de $(R_{\text{spec}} \times T)$ au dénominateur. Après les conversions nécessaires, la division fournit m_{gaz} .

Saisie sur calculatrice

Calculer séparément $p \times V$ et $(R_{\text{spec}} \times T)$; entrer ensuite «valeur de $p \times V$ / valeur de $(R_{\text{spec}} \times T)$ ». Cette méthode réduit les erreurs de priorité.

Estimation mentale

Contrôle mental : estimer séparément pV en joules et $R_{\text{spec}} T$ en joules par kilogramme ; leur quotient doit donc donner des kilogrammes. À volume et température fixes, doubler la pression double la masse de gaz ; à pression et volume fixes, doubler la température la divise par deux.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $m_{\text{gaz}} R_{\text{spec}} T / V$ doit redonner p . Le contrôle dimensionnel doit se fermer en kilogrammes pour m_{gaz} .

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «2. Sas et interfaces habitat-scapandre», le résultat de « $m_{\text{gaz}} = p \times V / (R_{\text{spec}} \times T)$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

Sans symboles, le calcul dit «prendre $p \times V$ et le ramener à une unité de $(R_{\text{spec}} \times T)$ »; le nombre obtenu est m_{gaz} .

Variation / sensibilité

Le numérateur agit linéairement: doubler $p \times V$ double m_{gaz} . Le dénominateur agit en sens inverse: doubler $(R_{\text{spec}} \times T)$ réduit m_{gaz} de moitié.

Limite / hypothèse

Le quotient n'est interprétable que si $(R_{\text{spec}} \times T) \neq 0$ et si $p \times V$ et $(R_{\text{spec}} \times T)$ portent sur la même définition de système. Mélanger deux frontières fausse m_{gaz} .

On injecte maintenant l'événement suivant: un équipier ne peut plus marcher normalement.

3. Consommables et temps disponible

Dans ce module, consommables et temps disponible sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$\text{Autonomie_res} = \text{Stock_utile} / \text{Consommation}$

Question de départ

La relation « $\text{Autonomie_res} = \text{Stock_utile} / \text{Consommation}$ » compare Stock_utile à Consommation : quel est le ratio Autonomie_res ?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «Autonomie indice res égale Stock indice utile divisé par Consommation».

Symboles, prononciation et sens

Autonomie_res («autonomie ressource»): durée pendant laquelle le stock utile couvre le besoin; Stock_utile («stock utile»): quantité disponible de la ressource; Consommation («consommation»): débit de rythme auquel la ressource considérée est consommée.

Unités

Stock_utile en kg, L, mol, Wh ou autre unité de quantité;
Consommation dans la même unité par unité de temps;
Autonomie_res dans l'unité de temps correspondante.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée. La provenance locale donnée ici est: les temps EVA, consommables, distances et capacités du sas.

Pourquoi cette opération

Une autonomie est une quantité disponible divisée par la vitesse à laquelle elle est consommée. Par exemple $L \div (L/h) = h$.

Substitution et calcul

La substitution place la donnée de Stock_utile au numérateur et celle de Consommation au dénominateur. Après les conversions nécessaires, la division fournit Autonomie_res.

Saisie sur calculatrice

Calculer séparément Stock_utile et Consommation; entrer ensuite «valeur de Stock_utile / valeur de Consommation». Cette méthode réduit les erreurs de priorité.

Estimation mentale

Contrôle mental : traduire la réserve en nombre de périodes de consommation. Si Stock_utile représente environ quatre fois la consommation d'une heure, Autonomie_res doit être proche de 4 h ; doubler le débit de consommation ramène cette durée à environ 2 h.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: Autonomie_res×Consommation doit redonner Stock_utile. Le calcul est invalide si «Consommation» est une quantité cumulée sans durée associée.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «3. Consommables et temps disponible», le résultat de «Autonomie_res = Stock_utile / Consommation» prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

Sans symboles, le calcul dit «prendre Stock_utile et le ramener à une unité de Consommation»; le nombre obtenu est Autonomie_res.

Variation / sensibilité

Le numérateur agit linéairement: doubler Stock_utile double Autonomie_res. Le dénominateur agit en sens inverse: doubler Consommation réduit Autonomie_res de moitié.

Limite / hypothèse

Le quotient n'est interprétable que si Consommation $\neq$ 0 et si Stock_utile et Consommation portent sur la même définition de système. Mélanger deux frontières fausse Autonomie_res.

On injecte maintenant l'événement suivant: la météo dégrade la visibilité.

4. Thermique et charge de travail

Dans ce module, thermique et charge de travail sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$$E_{\text{métabolique}} = P_{\text{métabolique}} \times t$$

Question de départ

Dans «4. Thermique et charge de travail», comment évaluer $E_{\text{métabolique}}$ à partir des facteurs de « $E_{\text{métabolique}} = P_{\text{métabolique}} \times t$ »?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «E indice métabolique égale P indice métabolique multiplié par t».

Symboles, prononciation et sens

$E_{\text{métabolique}}$ («E métabolique»): énergie métabolique dépensée sur la durée; $P_{\text{métabolique}}$ («P métabolique»): puissance métabolique moyenne; t («t»): durée de l'activité.

Unités

$W \times s = J$ ou $kW \times h = kWh$. $P_{\text{métabolique}}$ et t doivent être exprimés sur une base compatible avec l'unité d'énergie choisie.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée. La provenance locale donnée ici est: les temps EVA, consommables, distances et capacités du sas.

Pourquoi cette opération

La puissance métabolique est une énergie par unité de temps; à puissance moyenne constante, énergie = puissance $\times$ durée.

Substitution et calcul

La substitution associe une donnée sourcée à chaque facteur de $P_{\text{métabolique}} \times t$. Après harmonisation des unités, les facteurs sont multipliés dans l'ordre de la formule.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit $P_{\text{métabolique}} \times t$: parenthèses et puissances d'abord, produits ensuite. Vérifier hors calculatrice l'unité obtenue pour $E_{\text{métabolique}}$.

Estimation mentale

Le produit attendu peut être borné avec des facteurs ronds proches de ceux de $P_{\text{métabolique}} \times t$. Si $E_{\text{métabolique}}$ sort largement de cette borne, reprendre la saisie.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $E_{\text{métabolique}}/t$ doit redonner $P_{\text{métabolique}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «4. Thermique et charge de travail», le résultat de « $E_{\text{métabolique}} = P_{\text{métabolique}} \times t$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

Sans notation, la relation dit que $E_{\text{métabolique}}$ est proportionnel au produit des facteurs indiqués dans $P_{\text{métabolique}} \times t$.

Variation / sensibilité

Pour un produit simple, la variation relative de $E_{\text{métabolique}}$ suit celle du facteur que l'on change isolément. Les perturbations simultanées se multiplient entre elles.

Limite / hypothèse

Avant d'extrapoler $E_{\text{métabolique}}$, vérifier que chaque facteur de $P_{\text{métabolique}} \times t$ conserve sa définition et que les coefficients implicites restent valables dans le régime considéré.

On injecte maintenant l'événement suivant: un outil critique est perdu.

5. Communications et perte de liaison

Dans ce module, communications et perte de liaison sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$$\text{Marge_liaison} = t_{\text{autonomie_comm}} - t_{\text{perte}}$$

Question de départ

Quelle marge signée Marge_liaison fournit la soustraction « $\text{Marge_liaison} = t_{\text{autonomie_comm}} - t_{\text{perte}}$ » dans «5. Communications et perte de liaison»?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «Marge indice liaison égale t indice autonomie indice comm - t indice perte».

Symboles, prononciation et sens

Marge_liaison («marge liaison»): temps de communication encore disponible au-delà de la durée de perte anticipée;

$t_{\text{autonomie_comm}}$ («té autonomie communication»): durée totale pendant laquelle le système de communication peut rester utilisable en mode considéré; t_{perte} («té perte»): durée prévue de la perte ou du mode dégradé.

Unités

Marge_liaison , $t_{\text{autonomie_comm}}$ et t_{perte} se soustraient seulement après mise en cohérence de leur unité de durée commune, par exemple minutes ou heures.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée.

Pourquoi cette opération

La marge est le temps restant après avoir réservé la durée de perte: autonomie moins perte.

Substitution et calcul

Utiliser seulement les valeurs du scénario pour les deux termes, les convertir sur une base commune, puis effectuer la différence.

Saisie sur calculatrice

Pour le calcul numérique, évaluer les sous-expressions de chaque côté du signe moins et exécuter la soustraction en dernier.

Estimation mentale

Un contrôle mental compare les tailles des deux termes et prévoit si Marge_liaison doit être positif, nul ou négatif avant d'afficher les décimales.

Contrôle indépendant

$\text{Marge_liaison} + t_{\text{perte}}$ doit redonner $t_{\text{autonomie_comm}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «5. Communications et perte de liaison», le résultat de « $\text{Marge_liaison} = t_{\text{autonomie_comm}} - t_{\text{perte}}$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

En français courant, Marge_liaison répond à «combien reste-t-il quand on enlève la seconde quantité de la première?».

Variation / sensibilité

Une petite hausse du premier terme augmente la marge; une hausse identique du terme retiré la diminue de la même quantité.

Limite / hypothèse

La différence reste fiable seulement si les grandeurs comparées sont homogènes et si leur incertitude ne rend pas le signe indéterminé.

On injecte maintenant l'événement suivant: le temps de travail dépasse la marge prévue.

6. Mobilité et rayon de secours

Dans ce module, mobilité et rayon de secours sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$$R_{\text{secours}} \leq v \times t_{\text{réserve}} / 2$$

Question de départ

Dans «6. Mobilité et rayon de secours», les données respectent-elles la contrainte écrite « $R_{\text{secours}} \leq v \times t_{\text{réserve}} / 2$ »?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «R indice secours inférieur ou égal à v multiplié par t indice réserve divisé par 2».

Symboles, prononciation et sens

R_{secours} («R secours»): rayon maximal de déplacement compatible avec la réserve aller-retour; v («vé»): vitesse moyenne de déplacement retenue pour le scénario; $t_{\text{réserve}}$ («té réserve»): durée totale de mobilité encore disponible pour l'aller et le retour.

Unités

Utiliser des bases appariées: m/s avec s donne m, ou km/h avec h donne km. R_{secours} est une distance. Le facteur 2 est sans dimension.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée.

Pourquoi cette opération

$v \times t_{\text{réserve}}$ donne la distance totale parcourable avec la réserve. Dans le modèle symétrique aller-retour, la moitié seulement peut être consacrée à l'éloignement depuis le refuge.

Substitution et calcul

Évaluer la partie gauche avec les entrées documentées, faire de même pour la partie droite, puis appliquer le signe « $\leq$ » ou « $\geq$ » tel qu'écrit.

Saisie sur calculatrice

Pour la saisie, produire deux résultats indépendants – membre gauche et membre droit – puis les comparer; conserver la marge entre eux.

Estimation mentale

Avant le calcul fin, déterminer quel membre devrait dominer. Si les valeurs sont proches, la précision des entrées devient déterminante.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $2R_{\text{secours}}/v$ doit être inférieur ou égal à $t_{\text{réserve}}$. Vérifier la conversion des unités de temps avant le calcul.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «6. Mobilité et rayon de secours», le résultat de « $R_{\text{secours}} \leq v \times t_{\text{réserve}} / 2$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

La traduction pratique est «ne pas franchir cette borne» ou «atteindre au moins cette borne», selon le sens du symbole.

Variation / sensibilité

La sensibilité au seuil se mesure en perturbant l'entrée principale jusqu'au point où l'inégalité cesse d'être vraie.

Limite / hypothèse

Le modèle suppose même vitesse et coût temporel à l'aller et au retour. Terrain, fatigue, détour ou assistance peuvent imposer une marge supplémentaire.

On injecte maintenant l'événement suivant: le sas n'est pas immédiatement disponible au retour.

7. Buddy checks et redondance humaine

Dans ce module, buddy checks et redondance humaine sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$$P_{\text{succès}} = 1 - (1 - p)^2$$

Question de départ

Comment obtenir la probabilité qu'au moins une des deux tentatives réussisse lorsque chaque tentative indépendante réussit avec une probabilité p ?

Lecture à voix haute

Lecture : « $P_{\text{succès}}$ égale un moins, entre parenthèses un moins p , au carré ».

Symboles, prononciation et sens

$P_{\text{succès}}$ (« pé succès ») : probabilité qu'au moins une tentative réussisse ; p (« pé ») : probabilité de réussite d'une tentative ; $1-p$: probabilité d'échec d'une tentative ; $(1-p)^2$: probabilité que les deux tentatives échouent si elles sont indépendantes. Le carré signifie multiplier $(1-p)$ par lui-même.

Unités

p et $P_{\text{succès}}$ sont des probabilités sans dimension, comprises entre 0 et 1. Elles peuvent être converties en pourcentage après le calcul.

Origine et statut des valeurs

La valeur de p doit être estimée à partir de données, d'essais ou d'une hypothèse pédagogique annoncée. L'hypothèse d'indépendance entre les deux tentatives doit être justifiée ou explicitement signalée comme simplification.

Pourquoi cette opération

On calcule d'abord le complément de la réussite d'une tentative : $1-p$. Deux échecs indépendants ont alors une probabilité $(1-p) \times (1-p) = (1-p)^2$. Le complément de « deux échecs » donne « au moins une réussite », donc $P_{\text{succès}} = 1 - (1-p)^2$.

Substitution et calcul

Ordre obligatoire : 1) calculer $1-p$; 2) élever ce résultat au carré, c'est-à-dire le multiplier par lui-même ; 3) soustraire cette probabilité de 1. Ne pas réduire la relation à une simple soustraction extérieure.

Saisie sur calculatrice

Saisir $1 - (1 - p)^2$ en conservant les parenthèses. Vérifier séparément la valeur de $1-p$ puis son carré avant la soustraction finale.

Estimation mentale

Le résultat doit être au moins égal à p et ne jamais dépasser 1. Si p est proche de 1, la probabilité que les deux tentatives échouent doit être très petite.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse : $1 - P_{\text{succès}}$ doit évaluer $(1-p)^2$. Pour retrouver p à partir de $P_{\text{succès}}$, prendre la racine carrée du complément puis calculer $p = 1 - \sqrt{1 - P_{\text{succès}}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

La redondance augmente la probabilité d'au moins une réussite uniquement si les tentatives ne partagent pas une cause de panne qui les rend fortement corrélées.

Traduction en français courant

On calcule la chance que les deux tentatives échouent, puis on prend le complément : tout ce qui n'est pas « deux échecs » correspond à au moins une réussite.

Variation / sensibilité

Quand p augmente, $P_{\text{succès}}$ augmente. L'effet marginal diminue à mesure que p approche de 1, car il reste de moins en moins de probabilité d'échec à éliminer.

Limite / hypothèse

La formule suppose deux tentatives de même probabilité p et statistiquement indépendantes. Avec des probabilités différentes ou des défaillances communes, utiliser le modèle probabiliste correspondant.

On injecte maintenant l'événement suivant: la communication principale est perdue.

8. Décontamination au retour

Dans ce module, décontamination au retour sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$$C_{\text{après}} = C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$$

Question de départ

Dans «8. Décontamination au retour», comment évaluer $C_{\text{après}}$ à partir des facteurs de « $C_{\text{après}} = C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$ »?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «C indice après égale C indice avant multiplié par (1 - éta indice décontam)».

Symboles, prononciation et sens

Pour l'EVA avancée, côté décontamination retour: $C_{\text{après}}$ («C après»): C après; C_{avant} («C avant»): concentration «C avant» de l'espèce ou du constituant considéré; $\eta_{\text{décontam}}$ («éta décontam»): rendement ou efficacité sans dimension défini pour ce procédé

Unités

Pour l'EVA avancée, côté décontamination retour: C après → unité de concentration définie dans la section; C avant → unité de concentration définie dans la section; η décontam → sans dimension [0;1].

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée. La provenance locale donnée ici est: les temps EVA, consommables, distances et capacités du sas.

Pourquoi cette opération

« $C_{\text{après}} = C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$ » n'additionne pas ses entrées: les termes de $C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$ se multiplient. Cette structure signifie que modifier un facteur change directement l'échelle de $C_{\text{après}}$.

Substitution et calcul

La substitution associe une donnée sourcée à chaque facteur de $C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$. Après harmonisation des unités, les facteurs sont multipliés dans l'ordre de la formule.

Saisie sur calculatrice

La séquence de touches suit $C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$: parenthèses et puissances d'abord, produits ensuite. Vérifier hors calculatrice l'unité obtenue pour $C_{\text{après}}$.

Estimation mentale

Le produit attendu peut être borné avec des facteurs ronds proches de ceux de $C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$. Si $C_{\text{après}}$ sort largement de cette borne, reprendre la saisie.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Pour tester $C_{\text{après}}$ sans répéter exactement le calcul, isoler un facteur de « $C_{\text{après}} = C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$ » et le retrouver par division du résultat par le produit des autres facteurs.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «8. Décontamination au retour», le résultat de « $C_{\text{après}} = C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

Sans notation, la relation dit que $C_{\text{après}}$ est proportionnel au produit des facteurs indiqués dans $C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$.

Variation / sensibilité

Pour un produit simple, la variation relative de $C_{\text{après}}$ suit celle du facteur que l'on change isolément. Les perturbations simultanées se multiplient entre elles.

Limite / hypothèse

Avant d'extrapoler $C_{\text{après}}$, vérifier que chaque facteur de $C_{\text{avant}} \times (1 - \eta_{\text{décontam}})$ conserve sa définition et que les coefficients implicites restent valables dans le régime considéré.

— « Décontamination au retour ».

On injecte maintenant l'événement suivant: un équipier ne peut plus marcher normalement.

9. Sauvetage d'un équipier à mobilité réduite

Dans ce module, sauvetage d'un équipier à mobilité réduite sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$\text{Temps_retour} = \text{distance} / \text{vitesse} + \text{marge}$

Question de départ

Quel total Temps_retour donne l'addition «Temps_retour = distance / vitesse + marge» dans «9. Sauvetage d'un équipier à mobilité réduite»?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «Temps indice retour égale distance divisé par vitesse plus marge».

Symboles, prononciation et sens

Temps_retour («temps retour»): durée totale estimée du retour; distance («distance»): longueur du trajet de retour; vitesse («vitesse»): vitesse moyenne en mode considéré; marge («marge»): réserve de temps ajoutée pour les aléas.

Unités

Temps_retour et marge en unités de temps;Exprimer distance/vitesse doit être converti avec une unité commune de temps avant addition.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée.

Pourquoi cette opération

Le quotient distance/vitesse donne la durée nominale de déplacement; la marge ajoute une réserve temporelle pour les retards non modélisés.

Substitution et calcul

Reprendre chaque terme disponible, vérifier son unité, effectuer les conversions puis additionner les contributions une seule fois.

Saisie sur calculatrice

Calculatrice: évaluer les sous-termes, noter leurs valeurs et faire la somme; un second ordre d'addition doit produire le même Temps_retour.

Estimation mentale

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

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $(\text{Temps_retour} - \text{marge}) \times \text{vitesse}$ doit redonner distance. Ce test vérifie simultanément l'addition et le quotient.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «9. Sauvetage d'un équipier à mobilité réduite», le résultat de « $\text{Temps_retour} = \text{distance} / \text{vitesse} + \text{marge}$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

Dit sans notation, le quotient distance/vitesse donne la durée nominale de déplacement; la marge ajoute une réserve temporelle pour les retards non modélisés.

Variation / sensibilité

À vitesse fixe, le temps nominal varie linéairement avec la distance; à distance fixe, +10 % de vitesse réduit le temps nominal d'environ 9,1 %.

Limite / hypothèse

La vitesse moyenne doit rester représentative et la marge doit être une durée, jamais un coefficient sans dimension ajouté directement au temps.

On injecte maintenant l'événement suivant: la météo dégrade la visibilité.

10. Débrief et retour d'expérience

Dans ce module, débrief et retour d'expérience sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et secours, sans prétendre remplacer un entraînement opérationnel certifié.

$$\text{Taux_incident} = \text{N_incidents} / \text{N_EVA}$$

Question de départ

La relation « $\text{Taux_incident} = \text{N_incidents} / \text{N_EVA}$ » compare N_incidents à N_EVA: quel est le ratio Taux_incident?

Lecture à voix haute

À dire à voix haute: «Taux indice incident égale N indice incidents divisé par N indice EVA».

Symboles, prononciation et sens

Taux_incident («taux incident»): nombre moyen d'incidents par EVA sur le périmètre étudié; N_incidents («N incidents»): nombre d'incidents observés; N_EVA («N EVA»): nombre total de sorties extravéhiculaires observées.

Unités

N_incidents et N_EVA sont des comptes; leur rapport est sans dimension, interprété comme incidents par EVA. Il ne s'agit pas d'un taux par unité de temps.

Origine et statut des valeurs

Aucun chiffre n'est créé par la formule: les valeurs viennent du cas, d'une source citée ou d'une hypothèse pédagogique clairement signalée. La provenance locale donnée ici est: les temps EVA, consommables, distances et capacités du sas.

Pourquoi cette opération

Diviser le nombre d'incidents par le nombre d'EVA normalise l'observation par le nombre de sorties et permet de comparer des campagnes de tailles différentes.

Substitution et calcul

La substitution place la donnée de N_incidents au numérateur et celle de N_EVA au dénominateur. Après les conversions nécessaires, la division fournit Taux_incident.

Saisie sur calculatrice

Calculer séparément N_incidents et N_EVA; entrer ensuite «valeur de N_incidents / valeur de N_EVA». Cette méthode réduit les erreurs de priorité.

Estimation mentale

Contrôle mental : comparer directement le nombre d'incidents au nombre d'EVA. Un incident pour environ dix sorties correspond à près de 0,1 incident par EVA ; trois incidents sur cent sorties donnent environ 0,03. Si les incidents sont rares devant les EVA, le ratio doit être nettement inférieur à 1.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Taux_incident} \times \text{N_EVA}$ doit reconstituer N_incidents à l'arrondi près.

Interprétation physique ou opérationnelle

Pour «10. Débrief et retour d'expérience», le résultat de « $\text{Taux_incident} = N_incidents / N_EVA$ » prend son sens seulement après trois vérifications: quelle grandeur est chiffrée, sur quel périmètre, et avec quelles hypothèses.

Traduction en français courant

Sans symboles, le calcul dit «prendre $N_incidents$ et le ramener à une unité de N_EVA »; le nombre obtenu est Taux_incident .

Variation / sensibilité

Le numérateur agit linéairement: doubler $N_incidents$ double Taux_incident . Le dénominateur agit en sens inverse: doubler N_EVA réduit Taux_incident de moitié.

Limite / hypothèse

Le quotient n'est interprétable que si $N_EVA \neq 0$ et si $N_incidents$ et N_EVA portent sur la même définition de système. Mélanger deux frontières fausse Taux_incident .

On injecte maintenant l'événement suivant: un outil critique est perdu.

Exercices progressifs avec corrigés 1:1

Exercice 1: Objectif EVA et critères d'abandon

Analysez objectif eva et critères d'abandon. Relation à tester: « $\text{Temps_retour} = \text{distance} / \text{vitesse} + \text{marge}$ ». Cas dégradé: un équipier ne peut plus marcher normalement. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 1: Objectif EVA et critères d'abandon

Données du cas

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s,

Raisonnement

Résultat

soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression
prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Corrigé — Exercice 1: Objectif EVA et critères d'abandon

Corrigé — Exercice 1: Objectif EVA et critères d'abandon

Exercice 2: Sas et interfaces habitat-scaphandre

Analysez sas et interfaces habitat-scaphandre. Relation à tester: « $\text{Autonomie_res} = \text{Stock_utile} / \text{Consommation}$ ». Cas dégradé: la météo dégrade la visibilité. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 2: Sas et interfaces habitat-scaphandre

Données du cas

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 2: Sas et interfaces habitat-scaphandre

Résultat

Corrigé — Exercice 2: Sas et interfaces habitat-scaphandre

Exercice 3: Consommables et temps disponible

Analysez consommables et temps disponible. Relation à tester: « $\text{Temps_mission} = \text{T_sortie} + \text{T_travail} + \text{T_retour} + \text{T_marges}$ ». Cas dégradé: un outil critique est perdu. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 3: Consommables et temps disponible

Données du cas

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 3: Consommables et temps disponible

Résultat

Corrigé — Exercice 3: Consommables et temps disponible

Repères numériques conservés. 25min · 90min · 30min · 35min · 180min.

Exercice 4: Thermique et charge de travail

Analysez thermique et charge de travail. Relation à tester: « $\text{Risque_score} = \text{Probabilité} \times \text{Conséquence}$ ». Cas dégradé: le temps de travail dépasse la marge prévue. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 4: Thermique et charge de travail

Données du cas

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 4: Thermique et charge de travail

Résultat

Corrigé — Exercice 4: Thermique et charge de travail

Exercice 5: Communications et perte de liaison

Analysez communications et perte de liaison. Relation à tester: « $\text{Temps_retour} = \text{distance} / \text{vitesse} + \text{marge}$ ». Cas dégradé: le sas n'est pas immédiatement disponible au retour.

Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 5: Communications et perte de liaison**Données du cas**

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 5: Communications et perte de liaison

Résultat

Corrigé — Exercice 5: Communications et perte de liaison

Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Analysez mobilité et rayon de secours. Relation à tester: « $\text{Autonomie_res} = \text{Stock_utile} / \text{Consommation}$ ». Cas dégradé: la communication principale est perdue. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Données du cas

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Résultat

Corrigé — Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Exercice 7: Buddy checks et redondance humaine

Analysez buddy checks et redondance humaine. Relation à tester: « $\text{Temps_mission} = \text{T_sortie} + \text{T_travail} + \text{T_retour} + \text{T_marges}$ ». Cas dégradé: un équipier ne peut plus marcher normalement. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 7: Buddy checks et redondance humaine

Données du cas

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s,

soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression
prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 7: Buddy checks et redondance humaine

Résultat

Corrigé — Exercice 7: Buddy checks et redondance humaine

Repères numériques conservés. 25min · 90min · 30min · 35min · 180min.

Exercice 8: Décontamination au retour

Relation à tester: « Risque_score = Probabilité × Conséquence ». Cas dégradé: la météo dégrade la visibilité. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 8: Décontamination au retour

Données du cas

Exercice guidé — Communications et perte de liaison — Cas « Communications et perte de liaison » — Dans ce module, objectif eva et critères d'abandon sert directement à comprendre l'EVA comme une chaîne de préparation, ressources, mobilité, communication, travail, retour et...
Repère: À 600 m du sas et 0,8 m/s, le trajet nominal vaut 750 s, soit 12,5 min — « Objectif EVA et critères d'abandon ».
Réserve: distance: chemin de retour; vitesse: progression prudente du scénario; marge: temps pour aléas.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 8: Décontamination au retour

Résultat

Corrigé — Exercice 8: Décontamination au retour

Mini-projet intégrateur et dossier de référence

Construire une EVA conceptuelle de maintenance extérieure avec chronologie, ressources, points de décision et trois contingences. Le livrable doit montrer quand interrompre le travail et comment préserver une marge de retour, sans fournir une procédure réelle de scaphandre.

« Exercice 8: Décontamination au retour » — hypothèses, budget, marges.

« Exercice 8: Décontamination au retour » — interfaces et causes communes.

« Exercice 8: Décontamination au retour » — calculs, limites, critères.

Repères du passage: [inventaire](#)

Verification de maîtrise du module 46

- « Exercice 8: Décontamination au retour » — unités et ordre de grandeur.
- « Exercice 8: Décontamination au retour » — cas dégradé.
- « Exercice 8: Décontamination au retour » — marge décisionnelle.
- « Exercice 8: Décontamination au retour » — mesure de contrôle.

Repères du passage: [contrôle](#)

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: [unité](#)

Repères du passage: [charge de travail](#)

Repères du passage: [Probabilité](#)

Repères du passage: [chronologie](#)

Sauvetage EVA : l'horloge de survie commence avant l'appel de détresse

Une architecture EVA crédible intègre le sauvetage avant le départ. Blessure, fuite de combinaison, perte de refroidissement, panne rover, erreur de navigation ou indisponibilité d'un sas doivent être traitées comme des branches normales de planification, avec moyens, rôles et limites vérifiés.

Le rayon de sauvetage est déterminé par le temps jusqu'à conséquence

La distance seule trompe. Détection, préparation de l'équipe de secours, trajet, transfert du blessé et repressurisation doivent tenir dans la ressource limitante de la combinaison ou dans la fenêtre physiologique disponible.

Un blessé peut être incapable d'aider

Le plan doit préciser comment déplacer une personne en combinaison complète, la fixer sur un brancard ou un moyen mécanique, l'embarquer dans un rover et franchir le sas sans supposer qu'elle peut marcher ou se déshabiller seule.

Le sas peut être lui-même l'élément en panne

Poussière, incendie, vanne défaillante ou trappe bloquée peuvent rendre l'entrée nominale inutilisable. Les opérations lointaines ont donc besoin d'une solution de refuge ou d'un second chemin d'ingress qui prolonge l'autonomie jusqu'à une récupération contrôlée.

► Exercice — refuser une sortie pourtant accessible en énergie

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA — Spacewalking tools](#) et [NASA JSC — Crew & Operations Training](#).

Sources primaires et passerelles

- [NASA — Spacewalking tools](#)
- [NASA JSC — Crew & Operations Training](#)
- [NASA-STD-3001 Volume 2](#)