

Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes



Vue intégrée d'une implantation martienne avec habitats et infrastructures de surface.

Visualisation conceptuelle — le projet à 30 personnes doit être résolu comme un système couplé, et non comme une juxtaposition de listes d'équipements.

Assembler propulsion, énergie, habitat, eau, nourriture, mobilité, [maintenance](#), médecine et opérations dans une architecture unique, chiffrée et défendable. Ce projet intégrateur sert précisément à confronter les choix de plusieurs disciplines dans une seule architecture.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes: comment « Dossier final à produire » agit-il sur « Hypothèses de population et mission », et quel repère issu de « Phasage cargo et équipage » permet de vérifier la décision?

Intuition. Le livrable comprend architecture fonctionnelle, bilan de masse, bilan énergie/puissance, eau, atmosphère, nourriture, thermique, maintenance, flotte, risques, procédures d'urgence, sources et hypothèses. Une revue contradictoire doit pouvoir identifier les cinq plus grandes dépendances restantes à la Terre et les trois améliorations offrant le meilleur gain de résilience par kilogramme importé.



Dossier final à produire

Le livrable comprend architecture fonctionnelle, bilan de masse, bilan énergie/puissance, eau, atmosphère, nourriture, thermique, maintenance, flotte, risques, procédures d'urgence, sources et hypothèses.



Hypothèses de population et mission

Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.



Phasage cargo et équipage

Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

Repère concret. Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

- Dossier final à produire — Le livrable comprend architecture fonctionnelle, bilan de masse, bilan énergie/puissance, eau, atmosphère, nourriture, thermique, maintenance, flotte, risques, procédures...
- Hypothèses de population et mission — Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance...
- Phasage cargo et équipage — Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance...

CARTE DE MAÎTRISE · MODULE 52

Quatre repères à maîtriser — Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes

Dossier final à produire

Définition

Le livrable comprend architecture fonctionnelle, bilan de masse, bilan énergie/puissance, eau, atmosphère, nourriture, thermique, maintenance, flotte, risques, procédures d'urgence, sources et

	hypothèses. Une revue contradictoire doit pouvoir identifier les cinq plus grandes dépendances restantes à la Terre et les trois améliorations offrant le meilleur gain de résilience par kilogramme importé.
Intuition ou cas concret	Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Repère quantitatif	Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Limite ou critère de vigilance	La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Exercice guidé — Dossier final à produire

Cas « Dossier final à produire » — Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance... Repère: Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les... Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Corrigé raisonné — Dossier final à produire

Point de départ	Le livrable comprend architecture fonctionnelle, bilan de masse, bilan énergie/puissance, eau, atmosphère, nourriture, thermique, maintenance, flotte, risques, procédures d'urgence, sources et hypothèses. Une revue contradictoire doit pouvoir identifier les cinq plus grandes dépendances restantes à la Terre et les trois améliorations offrant le meilleur gain de résilience par kilogramme importé.
Indice du cas	Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30

Réserve à appliquer

personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

Conclusion

La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Chaque variante doit expliquer son coût en masse, énergie, temps humain et dépendance Terre.

Hypothèses de population et mission

Définition

Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

Intuition ou cas concret

Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

Repère quantitatif

À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ».

Limite ou critère de vigilance

La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Exercice guidé — Hypothèses de population et mission

Cas « Hypothèses de population et mission » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les...

Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Corrigé raisonné — Hypothèses de population et mission

Point de départ	Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Indice du cas	À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ».
Réserve à appliquer	La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».
Conclusion	Chaque variante doit expliquer son coût en masse, énergie, temps humain et dépendance Terre.

Phasage cargo et équipage

Définition	Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Intuition ou cas concret	Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Repère quantitatif	À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ».
Limite ou critère de vigilance	La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Exercice guidé — Phasage cargo et équipage

Cas « Phasage cargo et équipage » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les...
Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j —

« Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Corrigé raisonné — Phasage cargo et équipage

Point de départ	Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Indice du cas	À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ».
Réserve à appliquer	La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».
Conclusion	Chaque variante doit expliquer son coût en masse, énergie, temps humain et dépendance Terre.

Habitat, volume et refuge

Définition	Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Intuition ou cas concret	Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Repère quantitatif	À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ».
Limite ou critère de vigilance	La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge

Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les...
Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j —
« Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Corrigé raisonné — Habitat, volume et refuge

Point de départ	Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.
Indice du cas	À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ».
Réserve à appliquer	La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».
Conclusion	Chaque variante doit expliquer son coût en masse, énergie, temps humain et dépendance Terre.

Repères avant de commencer: modules 00 à 46 selon le sujet. Si une notion antérieure devient bloquante pour « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes », son rôle est rappelé dans le raisonnement plutôt que supposé connu.

Objectifs de maîtrise

- Construire une chaîne cause → [observation](#) → mesure pour « Le capstone n'est pas un résumé ».

- Refaire manuellement la [vérification](#) la plus utile à « Définir mission, équipage et horizon ».
- Décrire la panne, l'incertitude ou la limite qui menace « [Budget de masse et prépositionnement](#) ».
- Expliquer comment « Budget énergie et puissance » modifie l'architecture ou les opérations.

1. Le capstone n'est pas un résumé

Ce projet final demande de prendre des décisions compatibles entre elles. Une excellente solution énergétique peut être incompatible avec la masse logistique; une serre ambitieuse peut créer une charge thermique et électrique non financée; une architecture légère peut manquer de [redondance](#). Le but est d'apprendre à gérer les interfaces et les compromis. Chaque hypothèse doit être écrite, chaque chiffre important doit pouvoir être retracé et chaque [marge](#) doit être justifiée.

La Moon to Mars Architecture fournit un cadre pour relier habitat, logistique, [mobilité](#), énergie et autres fonctions dans une architecture unique. [NASA — Moon to Mars Architecture](#)

2. Définir mission, équipage et horizon

L'architecture commence par un scénario: 30 personnes, durée nominale, nombre de fenêtres de ravitaillement, capacité de retour, [phase](#) de croissance et niveau [d'autonomie](#) visé. Sans cette définition, impossible de dimensionner stocks, habitat ou industrie. Le projet distingue ce qui doit fonctionner avant l'arrivée de l'équipage, ce qui peut être assemblé en présence humaine et ce qui appartient à une phase ultérieure.

3. Budget de masse et prépositionnement

Le matériel n'arrive pas en une fois. On construit un manifeste: habitat, énergie, [ECLSS](#), consommables, rovers, [atelier](#), [pièces de rechange](#) et réserves. Les éléments critiques sont prépositionnés et testés avant l'équipage lorsque possible. Une architecture qui dépend de la

réussite d'un seul cargo arrivé quelques jours avant les humains possède un risque logistique excessif.

4. Budget énergie et puissance

Le projet sépare énergie quotidienne et puissance instantanée. ECLSS, informatique et sécurité sont des charges continues; atelier, [ISRU](#) et cuisine peuvent être planifiés. Les pointes doivent rester dans la capacité de génération et de stockage. Le plan inclut également un [mode dégradé](#) où seules les fonctions vitales restent alimentées.

5. Eau, atmosphère et nourriture

Les boucles de vie sont dimensionnées avec rendements réels et pertes. L'eau comporte [récupération](#), stockage et source de complément. [L'oxygène](#) combine réserves, production et régénération. La nourriture associe stock importé et culture locale. Chaque boucle possède une durée de survie si sa production s'arrête, afin d'éviter que « 98 % de recyclage » masque une réserve trop petite.

6. Habitat, incendie et refuge

Le plan montre volumes, compartiments, sas, refuge, voies d'évacuation, zones bruyantes, laboratoire, atelier et stockage. Les barrières [incendie](#) et [pression](#) ne doivent pas couper les deux seules routes d'accès au refuge. Les interfaces de câbles, fluides et ventilation sont identifiées, car elles peuvent transmettre une panne d'un compartiment à l'autre.

7. Mobilité, science et travail extérieur

La base possède une flotte avec au moins une capacité de secours. Les routes vers [ISRU](#), science et atterrissage sont documentées. Les [EVA](#) suivent un rayon compatible avec secours et météo. Les opérations scientifiques doivent conserver contexte, [chaîne de garde](#) et espace de laboratoire sans bloquer l'entretien quotidien de la colonie.

8. Maintenance, pièces et industrie locale

Le projet établit une liste d'équipements critiques, leur stratégie de redondance et les pièces à stocker. L'atelier local peut fabriquer des pièces simples et reconditionner des composants, mais ne remplace pas immédiatement toute la chaîne industrielle terrestre. Une [matrice](#) « fabriquer / réparer / stocker / importer » clarifie les dépendances réelles.

Approfondissement: critères de réussite et d'abandon

Une architecture complète définit quand une mission peut continuer, quand elle doit réduire ses objectifs et quand un retour ou une évacuation devient nécessaire. Ces critères sont liés à des ressources mesurables: jours d'eau, capacité énergétique, [disponibilité](#) ECLSS, [état](#) médical, flotte et possibilité de communication. Écrire les critères avant la crise limite les décisions improvisées et révèle les ressources qui méritent une redondance supplémentaire.

Approfondissement: marges cohérentes entre sous-systèmes

Ajouter 20 % de marge partout peut sembler prudent mais conduire à une architecture trop lourde, tandis qu'utiliser des marges incohérentes peut cacher un point faible. Les marges sont associées à [l'incertitude](#) et à la criticité: masse d'un équipement immature, capacité d'une réserve vitale, énergie d'une charge variable ou performance d'un procédé ISRU. Une revue [système](#) vérifie que les hypothèses utilisées par un [sous-système](#) sont les mêmes que celles utilisées par les autres.

Approfondissement: matrice des dépendances Terre

Le dossier final doit distinguer ce qui est localement autonome de ce qui dépend encore de la Terre. Pour chaque fonction critique, on liste pièces, logiciels, consommables, compétences et matières impossibles à remplacer localement. Cette matrice évite de déclarer une colonie autonome parce qu'elle produit son oxygène alors qu'un seul catalyseur, capteur ou médicament reste sans solution de remplacement. L'objectif est de hiérarchiser les dépendances et de choisir celles dont la réduction apporte le plus de résilience.

9. Exemple calculé: réserve d'eau et mode dégradé

Pour 30 personnes à 3,5 L d'eau potable et alimentaire par jour, le débit direct vaut 105 L/j. Si une boucle récupère 97 % de ce flux, la perte théorique est 3,15 L/j. Un stock de 1 000 L couvrirait alors plus de 300 jours de ces seules pertes. Mais si la récupération tombe à zéro, ce même stock ne couvre que $1\,000 \div 105 \approx 9,5$ jours. Le projet doit donc dimensionner le secours sur le scénario de panne, pas seulement sur le [rendement](#) nominal.

Étude de cas calculée: appoint d'eau pour une colonie de 30 personnes

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Trente personnes utilisent chacune 12 L/jour dans le périmètre comptabilisé. La boucle récupère 92 % de l'eau. On veut dimensionner 60 jours d'appoint avec 20 % de réserve.

On note N le nombre de personnes; q le besoin brut, en L/personne/jour; η le [taux de récupération](#), sans unité; d la durée, en jours; V le volume, en litres.

Besoin brut quotidien: $V_b = N \times q = 30 \times 12 = 360$ L/jour. Fraction d'appoint = $1 - 0,92 = 0,08$. Appoint quotidien = $360 \times 0,08 = 28,8$ L/jour. Sur 60 jours: 1 728 L. Avec 20 % de réserve: $1\,728 \times 1,20 = 2\,073,6$ L $\approx 2,07$ m³.

Une boucle à 92 % réduit fortement le stock d'appoint mais ne le rend pas nul. Le chiffre de 12 L/jour est une hypothèse pédagogique limitée au périmètre du calcul.

10. Exercice intégrateur

Construire une architecture 30 personnes avec 500 kW électriques moyens, 3 MWh de stockage, deux habitats pressurisés, une [serre](#), un atelier et trois rovers. Proposer les charges prioritaires, les stocks de 30 jours, les fonctions redondantes et les décisions à prendre si 40 % de la production électrique disparaît pendant dix sols.

11. Solution raisonnée

La bonne réponse n'est pas un unique chiffre. Il faut d'abord garantir ECLSS, [contrôle thermique](#), communications, médecine et sécurité. Les charges industrielles et une partie de l'agriculture artificiellement éclairée peuvent être réduites ou décalées. Le stockage doit être utilisé pour traverser les pointes, pas épuisé dès le premier sol. L'architecture précise un seuil de retour au nominal et les conséquences sur les stocks si le mode dégradé dure.

12. Dossier final à produire

Le livrable comprend architecture fonctionnelle, bilan de masse, bilan énergie/puissance, eau, atmosphère, nourriture, thermique, maintenance, flotte, risques, procédures d'urgence, sources et hypothèses. Une revue contradictoire doit pouvoir identifier les cinq plus grandes dépendances restantes à la Terre et les trois améliorations offrant le meilleur gain de résilience par kilogramme importé.

Approfondissement du module 52: comprendre, calculer, vérifier et décider

Objectif du module — concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

1. Hypothèses de population et mission

Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$\text{Besoin_total} = N \times \text{besoin_pc}$

Question de départ

Quelle mise à l'échelle conjointe des facteurs fixe Besoin_total dans «1. Hypothèses de population et mission»?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «Besoin indice total égale N multiplié par besoin indice pc».

Symboles, prononciation et sens

Besoin_total : besoin total pour l'équipage; N («enne»): nombre de personnes; besoin_pc : besoin par personne sur la même période.

Unités

besoin_pc doit être une quantité par personne, par exemple kg/personne, L/personne ou kWh/personne sur la période considérée; multiplier par N personnes donne Besoin_total dans l'unité de quantité correspondante.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre.

Pourquoi cette opération

Le besoin total est le besoin individuel multiplié par l'effectif.

Substitution et calcul

Mettre les entrées de $N \times \text{besoin_pc}$ dans les unités attendues par « $\text{Besoin_total} = N \times \text{besoin_pc}$ », garder plusieurs chiffres significatifs, puis calculer leur produit pour Besoin_total .

Saisie sur calculatrice

L'ordre numérique des facteurs simples peut changer sans modifier le produit, mais les parenthèses internes de $N \times \text{besoin_pc}$ doivent être respectées avant multiplication.

Estimation mentale

Le produit de plusieurs facteurs peut changer vite d'échelle. Prévoir d'abord la décade de Besoin_total à partir de celles des termes de $N \times \text{besoin_pc}$.

Contrôle indépendant

$\text{Besoin_total}/N$ doit redonner besoin_pc .

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour «Besoin_total = $N \times \text{besoin_pc}$ » dans «1. Hypothèses de population et mission», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

Dit simplement, Besoin_total est le produit des éléments de $N \times \text{besoin_pc}$ dans le domaine couvert par «1. Hypothèses de population et mission».

Variation / sensibilité

Dans «Besoin_total = $N \times \text{besoin_pc}$ », les sensibilités se composent par multiplication. Deux augmentations de 10 % ne font pas +20 % exactement, mais +21 %.

Limite / hypothèse

Une relation multiplicative peut masquer des interactions. Si un facteur de $N \times \text{besoin_pc}$ dépend d'un autre, l'analyse de Besoin_total doit expliciter cette dépendance avant extrapolation.

On injecte maintenant l'événement suivant: un cargo de pièces est retardé.

2. Phasage cargo et équipage

Dans ce module, phasage cargo et équipage sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$$\text{Capacité_req} = \text{Besoin} \times (1 + \text{marge}) / \text{disponibilité}$$

Question de départ

La grandeur Capacité_req repose sur un quotient: que donne $\text{Besoin} \times (1 + \text{marge})$ divisé par disponibilité ici?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «Capacité indice req égale Besoin multiplié par (1 plus marge) divisé par disponibilité».

Symboles, prononciation et sens

Capacité_req («Capacité req»): capacité installée requise;

Besoin («Besoin»): besoin nominal; marge («marge»): marge de dimensionnement; disponibilité («disponibilité»): disponibilité attendue.

Unités

capacité installée requise → même unité que le besoin; besoin

nominal → unité de capacité du sous-système; marge de

dimensionnement → sans dimension; disponibilité attendue → sans dimension [0;1].

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre. Le cours donne comme provenance: les besoins, marges, disponibilité et bilans du scénario 30 personnes.

Pourquoi cette opération

On cherche une valeur relative plutôt qu'une différence: $\text{Besoin} \times (1 + \text{marge})$ est donc divisé par disponibilité. Le résultat Capacité_req indique la taille du premier terme rapportée au second.

Substitution et calcul

Les données du cas sont affectées terme par terme: $\text{Besoin} \times (1 + \text{marge})$ en haut, disponibilité en bas. Les unités sont alignées avant que la calculatrice ne produise Capacité_req.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une fraction mal saisie, utiliser «($\text{Besoin} \times (1 + \text{marge})$) / (disponibilité)» avec parenthèses explicites.

L'arrondi de Capacité_req intervient en dernier.

Estimation mentale

Le test mental porte sur la taille relative de $\text{Besoin} \times (1 + \text{marge})$ et disponibilité. Une réponse située du mauvais côté de 1, lorsque les deux termes sont positifs, révèle souvent une inversion.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Le test de cohérence remonte de Capacité_req vers Besoin $\times (1 + \text{marge})$: multiplier par disponibilité, puis mesurer l'écart résiduel dû uniquement à l'arrondi.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour «Capacité_req = Besoin $\times (1 + \text{marge})$ / disponibilité» dans «2. Phasage cargo et équipage», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

On peut lire Capacité_req comme «Besoin $\times (1 + \text{marge})$ par disponibilité», à condition de conserver le même périmètre que celui défini dans «2. Phasage cargo et équipage».

Variation / sensibilité

La sensibilité sépare les rôles: Besoin $\times (1 + \text{marge})$ renforce directement Capacité_req; disponibilité l'atténue parce qu'il se trouve au dénominateur.

Limite / hypothèse

Validité: disponibilité doit être non nul, et la fenêtre de mesure de Besoin $\times (1 + \text{marge})$ doit correspondre à celle de disponibilité. Ces conditions précèdent toute interprétation de Capacité_req.

On injecte maintenant l'événement suivant: une boucle eau perd 20 % de récupération.

3. Habitat, volume et refuge

Dans ce module, habitat, volume et refuge sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$$V_{\text{requis}} = N \times v_{\text{pc}} + V_{\text{refuge}}$$

Question de départ

À l'étape «3. Habitat, volume et refuge», quel bilan total V_{requis} fournit la somme « $V_{\text{requis}} = N \times v_{\text{pc}} + V_{\text{refuge}}$ »?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «V indice requis égale N multiplié par v indice pc plus V indice refuge».

Symboles, prononciation et sens

V_requis («vé requis»): volume habitable total requis; N («enne»): nombre de personnes; v_pc («vé par personne»): volume prévu par personne; V_refuge («vé refuge»): volume additionnel réservé au refuge.

Unités

V_requis, v_pc×N et V_refuge en m³; N est un compte sans dimension; v_pc en m³/personne.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre.

Pourquoi cette opération

L'addition est utilisée parce que chaque terme contribue au même résultat global. Après harmonisation, le cumul de ces contributions donne V_requis.

Substitution et calcul

Utiliser les données effectivement présentes, convertir les unités puis additionner les termes dans la structure indiquée par la formule.

Saisie sur calculatrice

La saisie peut être contrôlée en calculant d'abord des sous-totaux; leur somme finale doit correspondre au calcul direct de V_requis.

Estimation mentale

Un calcul mental avec des nombres ronds permet de prévoir si V_requis se situe près du plus grand terme ou plusieurs fois au-dessus, selon le nombre de contributions.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Contre-calcul: isoler une contribution en retranchant de V_requis toutes les autres; la valeur reconstruite doit correspondre à l'entrée.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour « $V_{\text{requis}} = N \times v_{\text{pc}} + V_{\text{refuge}}$ » dans «3. Habitat, volume et refuge», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

En langage courant, V_{requis} est le cumul des quantités que la relation demande d'ajouter.

Variation / sensibilité

La sensibilité à une contribution est directe: $+\Delta$ sur ce terme entraîne $+\Delta$ sur le total lorsque le reste ne change pas.

Limite / hypothèse

Vérifier l'exclusivité des termes et l'alignement des unités, périodes et frontières; sinon le total peut contenir un doublon ou un mélange de grandeurs.

— «Habitat, volume et refuge».

On injecte maintenant l'événement suivant: une source électrique tombe indisponible.

4. Eau, air et nourriture

Dans ce module, eau, air et nourriture sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$$\text{Stock} = \text{Débit}_{\text{net}} \times \text{autonomie}$$

Question de départ

Quelle mise à l'échelle conjointe des facteurs fixe Stock dans «4. Eau, air et nourriture»?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «Stock égale Débit indice net multiplié par autonomie».

Symboles, prononciation et sens

Stock: quantité à stocker; $\text{Débit}_{\text{net}}$: consommation ou perte nette de la ressource suivie rapportée au temps; autonomie: durée que le stock doit couvrir.

Unités

Les bases doivent correspondre: $\text{kg/j} \times \text{j} = \text{kg}$, $\text{L/h} \times \text{h} = \text{L}$, $\text{kWh/j} \times \text{j} = \text{kWh}$. On ne mélange pas un stock massique avec un débit volumique sans conversion physique.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre. Le cours donne comme provenance: les besoins, marges, disponibilité et bilans du scénario 30 personnes.

Pourquoi cette opération

Un débit net multiplié par la durée de couverture donne la quantité totale nécessaire.

Substitution et calcul

Mettre les entrées de $\text{Débit_net} \times \text{autonomie}$ dans les unités attendues par « $\text{Stock} = \text{Débit_net} \times \text{autonomie}$ », garder plusieurs chiffres significatifs, puis calculer leur produit pour Stock.

Saisie sur calculatrice

L'ordre numérique des facteurs simples peut changer sans modifier le produit, mais les parenthèses internes de $\text{Débit_net} \times \text{autonomie}$ doivent être respectées avant multiplication.

Estimation mentale

Le produit de plusieurs facteurs peut changer vite d'échelle. Prévoir d'abord la décade de Stock à partir de celles des termes de $\text{Débit_net} \times \text{autonomie}$.

Contrôle indépendant

Stock/autonomie doit redonner Débit_net dans la même base temporelle.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour « $\text{Stock} = \text{Débit_net} \times \text{autonomie}$ » dans «4. Eau, air et nourriture», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

Dit simplement, Stock est le produit des éléments de $\text{Débit_net} \times \text{autonomie}$ dans le domaine couvert par «4. Eau, air et nourriture».

Variation / sensibilité

Dans «Stock = Débit_net × autonomie», les sensibilités se composent par multiplication. Deux augmentations de 10 % ne font pas +20 % exactement, mais +21 %.

Limite / hypothèse

Une relation multiplicative peut masquer des interactions. Si un facteur de Débit_net × autonomie dépend d'un autre, l'analyse de Stock doit expliciter cette dépendance avant extrapolation.

On injecte maintenant l'événement suivant: deux spécialistes sont simultanément indisponibles.

5. Micro-réseau énergétique

Dans ce module, micro-réseau énergétique sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$$E_{\text{jour}} = \Sigma(P_i \times t_i)$$

Question de départ

Pour «5. Micro-réseau énergétique», comment le signe Σ de « $E_{\text{jour}} = \Sigma(P_i \times t_i)$ » transforme-t-il plusieurs contributions en E_{jour} ?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «E indice jour égale somme de (P indice i multiplié par t indice i)».

Symboles, prononciation et sens

E_{jour} : énergie consommée sur la journée; Σ («sigma»): somme sur les usages i ; P_i : puissance de l'usage i ; t_i : durée de fonctionnement correspondante.

Unités

Avec P_i en kW et t_i en h, chaque produit $P_i \times t_i$ est en kWh et leur somme E_{jour} est en kWh. En SI, W×s donne des joules.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre.

Pourquoi cette opération

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

Substitution et calcul

Construire un tableau indice $\rightarrow$ contribution à partir des seules données du passage; additionner ensuite la colonne des contributions.

Saisie sur calculatrice

Sur calculatrice, saisir les termes déjà évalués et utiliser la fonction de somme ou des additions successives; refaire le cumul par paquets pour contrôle.

Estimation mentale

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

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – recalculer chaque énergie élémentaire $E_i = P_i \times t_i$ puis sommer les E_i ; cette somme doit retrouver E_{jour} . Comparer aussi à puissance moyenne $\times 24$ h lorsque cette moyenne est connue.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour « $E_{\text{jour}} = \sum(P_i \times t_i)$ » dans «5. Micro-réseau énergétique», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

Sans symbole, « $E_{\text{jour}} = \sum(P_i \times t_i)$ » demande de réunir en un total E_{jour} les valeurs produites pour chacun des indices considérés.

Variation / sensibilité

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

Limite / hypothèse

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

On injecte maintenant l'événement suivant: un rover majeur est immobilisé.

6. Mobilité et rayon de secours

Dans ce module, mobilité et rayon de secours sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

— module 52 · Mobilité et rayon de · Intuition.

$$R_secours \leq v \times t_réserve / 2$$

Question de départ

La condition « $R_secours \leq v \times t_réserve / 2$ » est-elle satisfaite dans «6. Mobilité et rayon de secours»?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «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 compatible avec une réserve aller-retour; v («vé»): vitesse moyenne de déplacement retenue; $t_réserve$ («té réserve»): durée totale disponible pour l'aller et le retour.

Unités

m/s avec s donne m; km/h avec h donne km. $R_secours$ est une distance et 2 est sans dimension.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre.

Pourquoi cette opération

La distance totale disponible est $v \times t_réserve$; on la divise par deux pour réserver autant de capacité temporelle au retour qu'à l'aller dans ce modèle simple.

Substitution et calcul

Remplacer les variables par les valeurs du cas, évaluer séparément gauche et droite et seulement ensuite conclure sur la condition.

Saisie sur calculatrice

Calculatrice: calculer les deux membres séparément et les noter; la comparaison finale ne doit pas être confondue avec une soustraction automatique.

Estimation mentale

Estimer de quel côté du seuil se situe le cas avant la précision; une faible marge demande davantage de chiffres et l'incertitude.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $2R_{\text{secours}}/v \leq t_{\text{réserve}}$ après harmonisation des unités.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour « $R_{\text{secours}} \leq v \times t_{\text{réserve}} / 2$ » dans «6. Mobilité et rayon de secours», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

En mots, la relation impose une limite: la valeur de gauche doit rester du côté autorisé de la valeur de droite.

Variation / sensibilité

Faire varier l'entrée dominante autour du seuil mesure la marge disponible avant changement de décision.

Limite / hypothèse

Hypothèse d'un aller-retour symétrique; pente, terrain, fatigue et secours assisté peuvent nécessiter un facteur de sécurité supplémentaire.

— module 52 · Mobilité et rayon de · Lecture physique.

On injecte maintenant l'événement suivant: la capacité médicale doit absorber un incident long.

— module 52 · Mobilité et rayon de · Sensibilité et.

7. Maintenance, pièces et atelier

Dans ce module, maintenance, pièces et atelier sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$$N_{\text{rechanges}} = \lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$$

Question de départ

Quelle mise à l'échelle conjointe des facteurs fixe $N_{\text{rechanges}}$ dans «7. Maintenance, pièces et atelier»?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «N indice rechanges égale lambda indice panne multiplié par t indice mission multiplié par (1 plus marge)».

Symboles, prononciation et sens

$N_{\text{rechanges}}$: nombre attendu de pièces de rechange à prévoir dans ce modèle; λ_{panne} («lambda panne»): fréquence moyenne de panne; t_{mission} : durée de mission couverte; marge: fraction supplémentaire de dimensionnement.

Unités

λ_{panne} en 1/h, 1/j ou unité de temps inverse; t_{mission} dans l'unité temporelle correspondante; marge sans dimension; le produit $\lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}}$ est un nombre attendu sans dimension, converti ensuite en nombre de rechanges selon la règle de stock.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre.

Pourquoi cette opération

$\lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}}$ estime le nombre moyen de pannes sur la période; le facteur $1 + \text{marge}$ ajoute une réserve proportionnelle.

Substitution et calcul

Mettre les entrées de $\lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$ dans les unités attendues par « $N_{\text{rechanges}} = \lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$ », garder plusieurs chiffres significatifs, puis calculer leur produit pour $N_{\text{rechanges}}$.

Saisie sur calculatrice

L'ordre numérique des facteurs simples peut changer sans modifier le produit, mais les parenthèses internes de $\lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$ doivent être respectées avant multiplication.

Estimation mentale

Le produit de plusieurs facteurs peut changer vite d'échelle. Prévoir d'abord la décade de $N_{\text{rechanges}}$ à partir de celles des termes de $\lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$.

Contrôle indépendant

Contrôle dimensionnel: $(1/\text{temps}) \times \text{temps} \times \text{sans dimension} = \text{sans dimension}$. Le stock physique final doit ensuite être arrondi selon la politique de rechanges.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour « $N_{\text{rechanges}} = \lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$ » dans «7. Maintenance, pièces et atelier», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

Dit simplement, $N_{\text{rechanges}}$ est le produit des éléments de $\lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$ dans le domaine couvert par «7. Maintenance, pièces et atelier».

Variation / sensibilité

Dans « $N_{\text{rechanges}} = \lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$ », les sensibilités se composent par multiplication. Deux augmentations de 10 % ne font pas +20 % exactement, mais +21 %.

Limite / hypothèse

Une relation multiplicative peut masquer des interactions. Si un facteur de $\lambda_{\text{panne}} \times t_{\text{mission}} \times (1 + \text{marge})$ dépend d'un autre, l'analyse de $N_{\text{rechanges}}$ doit expliciter cette dépendance avant extrapolation.

On injecte maintenant l'événement suivant: un cargo de pièces est retardé. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Maintenance, pièces et atelier ». Maintenance, pièces et atelier »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final:

concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

8. Médical et continuité des soins

Dans ce module, médical et continuité des soins sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$\text{Couverture_médicale} = \text{Stock_médical} / \text{Consommation_médicale}$

Question de départ

La grandeur Couverture_médicale repose sur un quotient: que donne Stock_médical divisé par Consommation_médicale ici?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «Couverture indice médicale égale Stock indice médical divisé par Consommation indice médicale».

Symboles, prononciation et sens

Couverture_médicale: durée pendant laquelle le stock médical peut couvrir la consommation prévue; Stock_médical: quantité de médicaments ou consommables disponible; Consommation_médicale: consommation de la même ressource par unité de temps.

Unités

si Stock_médical est en doses et Consommation_médicale en doses/j, Couverture_médicale est en jours; le même principe vaut pour kg, L ou unités.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre. Le cours donne comme provenance: les besoins, marges, disponibilité et bilans du scénario 30 personnes.

Pourquoi cette opération

Diviser une quantité en stock par une consommation par unité de temps donne une durée de couverture.

Substitution et calcul

Les données du cas sont affectées terme par terme: Stock_médical en haut, Consommation_médicale en bas. Les unités sont alignées avant que la calculatrice ne produise Couverture_médicale.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une fraction mal saisie, utiliser «(Stock_médical) / (Consommation_médicale)» avec parenthèses explicites. L'arrondi de Couverture_médicale intervient en dernier.

Estimation mentale

Le test mental porte sur la taille relative de Stock_médical et Consommation_médicale. Une réponse située du mauvais côté de 1, lorsque les deux termes sont positifs, révèle souvent une inversion.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: Couverture_médicale $\times$ Consommation_médicale doit redonner Stock_médical.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour «Couverture_médicale = Stock_médical / Consommation_médicale» dans «8. Médical et continuité des soins», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

On peut lire Couverture_médicale comme «Stock_médical par Consommation_médicale», à condition de conserver le même périmètre que celui défini dans «8. Médical et continuité des soins».

Variation / sensibilité

La sensibilité sépare les rôles: Stock_médical renforce directement Couverture_médicale; Consommation_médicale l'atténue parce qu'il se trouve au dénominateur.

Limite / hypothèse

Validité: Consommation_médicale doit être non nul, et la fenêtre de mesure de Stock_médical doit correspondre à celle de Consommation_médicale. Ces conditions précèdent toute interprétation de Couverture_médicale.

— « Médical et continuité des soins ».

On injecte maintenant l'événement suivant: une boucle eau perd 20 % de récupération. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Médical et continuité des soins ». Médical et continuité des soins »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

9. Science et première industrie

Dans ce module, science et première industrie sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$\text{Charge_humaine} = \Sigma \text{ heures_tâches} / \text{heures_disponibles}$

Question de départ

La grandeur Charge_humaine repose sur un quotient: que donne Σ heures_tâches divisé par heures_disponibles ici?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «Charge indice humaine égale somme de heures indice tâches divisé par heures indice disponibles».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; Charge_humaine («Charge humaine»): indicateur de charge «Charge humaine» utilisé pour comparer besoin et capacité; heures_tâches («heures tâches»): durée associée à «heures tâches» dans le scénario; heures_disponibles («heures disponibles»): durée associée à «heures disponibles» dans le scénario

Unités

Charge humaine → sans dimension, souvent exprimé en fraction ou en %; heures tâches → h; heures disponibles → h.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre.

Pourquoi cette opération

On cherche une valeur relative plutôt qu'une différence: Σ heures_tâches est donc divisé par heures_disponibles. Le résultat Charge_humaine indique la taille du premier terme rapportée au second. La notation Σ signifie ici: calculer chaque terme associé à i , puis cumuler ces contributions.

Substitution et calcul

Les données du cas sont affectées terme par terme: Σ heures_tâches en haut, heures_disponibles en bas. Les unités sont alignées avant que la calculatrice ne produise Charge_humaine.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une fraction mal saisie, utiliser «(Σ heures_tâches) / (heures_disponibles)» avec parenthèses explicites. L'arrondi de Charge_humaine intervient en dernier.

Estimation mentale

Le test mental porte sur la taille relative de Σ heures_tâches et heures_disponibles. Une réponse située du mauvais côté de 1, lorsque les deux termes sont positifs, révèle souvent une inversion.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Le test de cohérence remonte de Charge_humaine vers Σ heures_tâches: multiplier par heures_disponibles, puis mesurer l'écart résiduel dû uniquement à l'arrondi.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour «Charge_humaine = Σ heures_tâches / heures_disponibles» dans «9. Science et première industrie», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

On peut lire Charge_humaine comme « Σ heures_tâches par heures_disponibles», à condition de conserver le même périmètre que celui défini dans «9. Science et première industrie».

Variation / sensibilité

La sensibilité sépare les rôles: Σ heures_tâches renforce directement Charge_humaine; heures_disponibles l'atténue parce qu'il se trouve au dénominateur.

Limite / hypothèse

Validité: heures_disponibles doit être non nul, et la fenêtre de mesure de Σ heures_tâches doit correspondre à celle de heures_disponibles. Ces conditions précèdent toute interprétation de Charge_humaine.

On injecte maintenant l'événement suivant: une source électrique tombe indisponible. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Science et première industrie ». Science et première industrie »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

10. Gouvernance, postes et temps humain

Dans ce module, gouvernance, postes et temps humain sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$$\text{Charge_postes} = \Sigma \text{ heures_postes} / \text{heures_disponibles}$$

Question de départ

La grandeur Charge_postes repose sur un quotient: que donne Σ heures_postes divisé par heures_disponibles ici?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «Charge indice postes égale somme de heures indice postes divisé par heures indice disponibles».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; Charge_postes («Charge postes»): indicateur de charge «Charge postes» utilisé pour comparer besoin et capacité; heures_postes («heures postes»): durée associée à «heures postes» dans le scénario; heures_disponibles («heures disponibles»): durée associée à «heures disponibles» dans le scénario

Unités

Charge postes → sans dimension, souvent exprimé en fraction ou en %; heures postes → h; heures disponibles → h.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre. Le cours donne comme provenance: les besoins, marges, disponibilité et bilans du scénario 30 personnes.

Pourquoi cette opération

On cherche une valeur relative plutôt qu'une différence: Σ heures_postes est donc divisé par heures_disponibles. Le résultat Charge_postes indique la taille du premier terme rapportée au second. La notation Σ signifie ici: calculer chaque terme associé à i, puis cumuler ces contributions.

Substitution et calcul

Les données du cas sont affectées terme par terme: Σ heures_postes en haut, heures_disponibles en bas. Les unités sont alignées avant que la calculatrice ne produise Charge_postes.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une fraction mal saisie, utiliser «(Σ heures_postes) / (heures_disponibles)» avec parenthèses explicites. L'arrondi de Charge_postes intervient en dernier.

Estimation mentale

Le test mental porte sur la taille relative de Σ heures_postes et heures_disponibles. Une réponse située du mauvais côté de 1, lorsque les deux termes sont positifs, révèle souvent une inversion.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Le test de cohérence remonte de Charge_postes vers Σ heures_postes: multiplier par heures_disponibles, puis mesurer l'écart résiduel dû uniquement à l'arrondi.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour «Charge_postes = Σ heures_postes / heures_disponibles» dans «10. Gouvernance, postes et temps humain», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

On peut lire Charge_postes comme « Σ heures_postes par heures_disponibles», à condition de conserver le même périmètre que celui défini dans «10. Gouvernance, postes et temps humain».

Variation / sensibilité

La sensibilité sépare les rôles: Σ heures_postes renforce directement Charge_postes; heures_disponibles l'atténue parce qu'il se trouve au dénominateur.

Limite / hypothèse

Validité: heures_disponibles doit être non nul, et la fenêtre de mesure de Σ heures_postes doit correspondre à celle de heures_disponibles. Ces conditions précèdent toute interprétation de Charge_postes.

On injecte maintenant l'événement suivant: deux spécialistes sont simultanément indisponibles. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Gouvernance, postes et temps humain ». Gouvernance, postes et temps humain »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

11. Dépendance Terre et stocks

Dans ce module, dépendance terre et stocks sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

$$\text{Dépendance_Terre} = \text{Masse_importée} / \text{Masse_consommée}$$

Question de départ

La grandeur Dépendance_Terre repose sur un quotient: que donne Masse_importée divisé par Masse_consommée ici?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «Dépendance indice Terre égale Masse indice importée divisé par Masse indice consommée».

Symboles, prononciation et sens

Dépendance_Terre: fraction de la masse consommée qui provient d'importations terrestres; Masse_importée: masse importée pendant la période; Masse_consommée: masse totale consommée pendant la même période et sur le même périmètre.

Unités

Exprimer Masse_importée et Masse_consommée avec une unité commune de masse; Dépendance_Terre sans dimension, souvent exprimée en %.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre. Le cours donne comme provenance: les besoins, marges, disponibilité et bilans du scénario 30 personnes.

Pourquoi cette opération

Le quotient rapporte les importations à la consommation totale afin de mesurer la dépendance massique.

Substitution et calcul

Les données du cas sont affectées terme par terme:

Masse_importée en haut, Masse_consommée en bas. Les unités sont alignées avant que la calculatrice ne produise Dépendance_Terre.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une fraction mal saisie, utiliser «(Masse_importée) / (Masse_consommée)» avec parenthèses explicites. L'arrondi de Dépendance_Terre intervient en dernier.

Estimation mentale

Le test mental porte sur la taille relative de Masse_importée et Masse_consommée. Une réponse située du mauvais côté de 1, lorsque les deux termes sont positifs, révèle souvent une inversion.

Contrôle indépendant

Dépendance_Terre×Masse_consommée doit redonner Masse_importée.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour «Dépendance_Terre = Masse_importée / Masse_consommée» dans «11. Dépendance Terre et stocks», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

On peut lire Dépendance_Terre comme «Masse_importée par Masse_consommée», à condition de conserver le même périmètre que celui défini dans «11. Dépendance Terre et stocks».

Variation / sensibilité

La sensibilité sépare les rôles: Masse_importée renforce directement Dépendance_Terre; Masse_consommée l'atténue parce qu'il se trouve au dénominateur.

Limite / hypothèse

Validité: Masse_consommée doit être non nul, et la fenêtre de mesure de Masse_importée doit correspondre à celle de Masse_consommée. Ces conditions précèdent toute interprétation de Dépendance_Terre.

On injecte maintenant l'événement suivant: un rover majeur est immobilisé.

12. Commissioning et montée en puissance

Dans ce module, commissioning et montée en puissance sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les interfaces et la chronologie de montée en puissance sont explicitement fermées.

```
t_mise_service = max(t_chemins_critiques)
```

Question de départ

Au passage «12. Commissioning et montée en puissance», quelle branche de `t_mise_service = max(t_chemins_critiques)` devient contraignante et fixe `t_mise_service`?

Lecture à voix haute

La relation se lit: «t indice mise indice service égale max(t indice chemins indice critiques)».

Symboles, prononciation et sens

t_mise_service («té mise en service»): durée minimale avant laquelle tout le système ne peut pas être déclaré opérationnel;
t_chemins_critiques («té chemins critiques»): ensemble des durées des chemins candidats nécessaires à la mise en service.

Unités

Pour t_mise_service et tous les t_chemins_critiques, choisir une unité de durée identique.

Origine et statut des valeurs

La qualité du calcul dépend aussi de la provenance des entrées: citer ou qualifier chaque valeur et signaler sans ambiguïté toute hypothèse construite pour apprendre. Le cours donne comme provenance: les besoins, marges, disponibilité et bilans du scénario 30 personnes.

Pourquoi cette opération

La fonction max retient la plus grande durée candidate: l'ensemble ne peut pas être prêt avant que le chemin le plus long soit terminé.

Substitution et calcul

Exemple local déjà donné dans le cours: On injecte maintenant l'événement suivant: la capacité médicale doit absorber un incident long.

Saisie sur calculatrice

Calculer tous les candidats séparément, puis comparer leurs valeurs; min/max n'est appliqué qu'après cette comparaison.

Estimation mentale

Avant le calcul exact, repérer la branche manifestement la plus petite ou la plus grande; si min/max sélectionne l'opposé, vérifier unités et saisies.

Contrôle indépendant

Contrôle de branche active: t_mise_service doit être supérieur ou égal à chaque durée candidate et égal à au moins l'une d'elles. Une valeur plus petite qu'un chemin candidat est impossible.

Interprétation physique ou opérationnelle

La lecture opérationnelle commence après l'arithmétique: pour « $t_{\text{mise_service}} = \max(t_{\text{chemins_critiques}})$ » dans «12.

Commissioning et montée en puissance», préciser ce que mesure le résultat, où il s'applique et quelles conditions le rendent pertinent.

Traduction en français courant

En langage courant, la fonction max retient la plus grande durée candidate: l'ensemble ne peut pas être prêt avant que le chemin le plus long soit terminé.

Variation / sensibilité

Modifier un chemin non dominant ne change pas $t_{\text{mise_service}}$ tant qu'il reste inférieur au maximum; augmenter le chemin actif augmente directement la date de mise en service.

Limite / hypothèse

Les chemins comparés doivent décrire des durées cohérentes. Des dépendances non représentées ou un réseau de tâches mal construit rendent le simple max insuffisant.

On injecte maintenant l'événement suivant: la capacité médicale doit absorber un incident long.
— module 52 · Commissioning et montée en · Mode dégradé.

Exercices progressifs avec corrigés 1:1

Exercice 1: Hypothèses de population et mission

Analysez hypothèses de population et mission. Relation à tester: « $\text{Besoin_total} = N \times \text{besoin_pc}$ ». Cas dégradé: une boucle eau perd 20 % de récupération. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 1: Hypothèses de population et mission

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une

implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 1: Hypothèses de population et mission

Résultat

Corrigé — Exercice 1: Hypothèses de population et mission

Interprétation

Corrigé — Exercice 1: Hypothèses de population et mission

Exercice 2: Phasage cargo et équipage

Analysez phasage cargo et équipage. Relation à tester: « $\text{Capacité_req} = \text{Besoin} \times (1 + \text{marge}) / \text{disponibilité}$ ». Cas dégradé: une source électrique tombe indisponible. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 2: Phasage cargo et équipage

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 2: Phasage cargo et équipage

Résultat

Corrigé — Exercice 2: Phasage cargo et équipage

Exercice 3: Habitat, volume et refuge

Analysez habitat, volume et refuge. Relation à tester: « $\text{Stock} = \text{Débit_net} \times \text{autonomie}$ ». Cas dégradé: deux spécialistes sont simultanément indisponibles. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 3: Habitat, volume et refuge

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 3: Habitat, volume et refuge

Résultat

Corrigé — Exercice 3: Habitat, volume et refuge

Exercice 4: Eau, air et nourriture

Analysez eau, air et nourriture. Relation à tester: « $\text{Charge_humaine} = \Sigma \text{heures_tâches} / \text{heures_disponibles}$ ». Cas dégradé: un rover majeur est immobilisé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 4: Eau, air et nourriture

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses

de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 4: Eau, air et nourriture

Résultat

Corrigé — Exercice 4: Eau, air et nourriture

Exercice 5: Micro-réseau énergétique

Relation à tester: « $\text{Besoin_total} = N \times \text{besoin_pc}$ ». Cas dégradé: la capacité médicale doit absorber un incident long. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 5: Micro-réseau énergétique

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 5: Micro-réseau énergétique

Résultat

Corrigé — Exercice 5: Micro-réseau énergétique

Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Analysez mobilité et rayon de secours. Relation à tester: « $\text{Capacité_req} = \text{Besoin} \times (1 + \text{marge}) / \text{disponibilité}$ ». Cas dégradé: un cargo de pièces est retardé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Résultat

Corrigé — Exercice 6: Mobilité et rayon de secours

Exercice 7: Maintenance, pièces et atelier

Analysez maintenance, pièces et atelier. Relation à tester: « $\text{Stock} = \text{Débit}_{\text{net}} \times \text{autonomie}$ ». Cas dégradé: une boucle eau perd 20 % de récupération. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 7: Maintenance, pièces et atelier

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 7: Maintenance, pièces et atelier

Résultat

Corrigé — Exercice 7: Maintenance, pièces et atelier

Exercice 8: Médical et continuité des soins

Analysez médical et continuité des soins. Relation à tester: « $\text{Charge_humaine} = \Sigma \text{heures_tâches} / \text{heures_disponibles}$ ». Cas dégradé: une source électrique tombe indisponible. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 8: Médical et continuité des soins

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 8: Médical et continuité des soins

Résultat

Corrigé — Exercice 8: Médical et continuité des soins

Exercice 9: Science et première industrie

Analysez science et première industrie. Relation à tester: « $\text{Besoin_total} = N \times \text{besoin_pc}$ ». Cas dégradé: deux spécialistes sont simultanément indisponibles. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 9: Science et première industrie

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses

Raisonnement

Résultat

de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Corrigé — Exercice 9: Science et première industrie

Corrigé — Exercice 9: Science et première industrie

Exercice 10: Gouvernance, postes et temps humain

Analysez gouvernance, postes et temps humain. Relation à tester: « $\text{Capacité_req} = \text{Besoin} \times (1 + \text{marge}) / \text{disponibilité}$ ». Cas dégradé: un rover majeur est immobilisé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 10: Gouvernance, postes et temps humain

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 10: Gouvernance, postes et temps humain

Résultat

Corrigé — Exercice 10: Gouvernance, postes et temps humain

Exercice 11: Dépendance Terre et stocks

Analysez dépendance terre et stocks. Relation à tester: « $\text{Stock} = \text{Débit_net} \times \text{autonomie}$ ». Cas dégradé: la capacité médicale doit absorber un incident long. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 11: Dépendance Terre et stocks

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 11: Dépendance Terre et stocks

Résultat

Corrigé — Exercice 11: Dépendance Terre et stocks

Exercice 12: Commissioning et montée en puissance

Analysez commissioning et montée en puissance. Relation à tester: « $\text{Charge_humaine} = \Sigma \text{heures_tâches} / \text{heures_disponibles}$ ». Cas dégradé: un cargo de pièces est retardé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 12: Commissioning et montée en puissance

Données du cas

Exercice guidé — Habitat, volume et refuge — Cas « Habitat, volume et refuge » — Dans ce module, hypothèses de population et mission sert directement à concevoir une implantation de 30 personnes comme un système intégré dont les capacités, les marges, les... Repère: À 30 personnes et 3 unités/personne/j, la charge atteint 90 unités/j — « Hypothèses de population et mission ». Réserve: La multiplication est simple; l'enjeu consiste ensuite à définir l'unité, la variabilité et la marge — « Hypothèses de population et mission ».

Raisonnement

Corrigé — Exercice 12: Commissioning et montée en puissance

Résultat

Corrigé — Exercice 12: Commissioning et montée en puissance

Dossier solution de référence: implantation de 30 personnes

Méthode de lecture: pour chaque phase ci-dessous, suivre cinq colonnes mentales: fonction recherchée, capacité nominale, capacité réellement disponible, mode dégradé, preuve permettant de revenir au nominal. Cette méthode évite de confondre présence d'un équipement et disponibilité d'une fonction.

1. Hypothèses et fonctions

Le dossier commence par la population, la durée, les objectifs scientifiques et industriels, le niveau de dépendance Terre et les critères de survie. Chaque chiffre ultérieur doit pouvoir être rattaché à cette page d'hypothèses. Pour « Hypothèses et fonctions », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Hypothèses et fonctions » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour hypothèses et fonctions, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Hypothèses et fonctions », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Hypothèses et fonctions », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Hypothèses et fonctions », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Hypothèses et fonctions » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Une télémétrie unique n'est pas une preuve suffisante lorsqu'un biais commun est possible. Pour « Hypothèses et fonctions », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Hypothèses et fonctions » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel.

Pour « Hypothèses et fonctions », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Hypothèses et fonctions », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Hypothèses et fonctions » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie.

Pour « Hypothèses et fonctions », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Hypothèses et fonctions », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation.

2. Phasage des cargos

Les cargaisons sont ordonnées selon les dépendances. Une capacité qui nécessite un atelier, une alimentation ou un engin de manutention doit arriver après ou avec ses prérequis. Le phasage est donc un graphe de dépendances, pas une liste de masses. Pour « Phasage des cargos », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Phasage des cargos » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour phasage des cargos, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Phasage des cargos », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Phasage des cargos », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Phasage des cargos », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Phasage des cargos » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Phasage des cargos », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Phasage des cargos », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Phasage des cargos » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel.

Pour « Phasage des cargos », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Phasage des cargos », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Phasage des cargos » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie.

Pour « Phasage des cargos », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Phasage des cargos », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Phasage des cargos » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation.

3. Habitat et refuges

Le volume habitable est séparé des fonctions vitales, des zones bruyantes, du médical, du sommeil, de la maintenance et du refuge. Le dossier décrit ce qui reste utilisable après l'isolement d'un compartiment. Pour « Habitat et refuges », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Habitat et refuges » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour habitat et refuges, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Habitat et refuges », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Habitat et refuges », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Habitat et refuges », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Habitat et refuges » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Habitat et refuges », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Habitat et refuges », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Habitat et refuges » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel.

Pour « Habitat et refuges », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Habitat et refuges », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Habitat et refuges » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie.

Pour « Habitat et refuges », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Habitat et refuges », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Habitat et refuges » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation.

4. Eau, air et nourriture

Les consommations brutes sont distinguées des consommations nettes après récupération. Les stocks tampons sont calculés pour des interruptions réalistes et les boucles sont reliées à l'énergie, aux consommables et à la maintenance. Pour « Eau, air et nourriture », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Eau, air et nourriture » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour eau, air et nourriture, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Eau, air et nourriture », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Eau, air et nourriture », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Eau, air et nourriture », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Eau, air et nourriture » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Eau, air et nourriture », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Eau, air et nourriture », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Eau, air et nourriture » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel.

Pour « Eau, air et nourriture », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Eau, air et nourriture », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Eau, air et nourriture » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie.

Pour « Eau, air et nourriture », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Eau, air et nourriture », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Eau, air et nourriture » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation.

5. Énergie et thermique

Le profil de charge combine habitat, production, laboratoire, mobilité, soins et industrie. Le rejet thermique est calculé en parallèle: ajouter 100 kW électriques à un procédé signifie souvent ajouter une charge thermique comparable à évacuer. Pour « Énergie et thermique »,

dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Énergie et thermique » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour énergie et thermique, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Énergie et thermique », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Énergie et thermique », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Énergie et thermique », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Énergie et thermique » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Énergie et thermique », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Énergie et thermique », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Énergie et thermique » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 5 — « Énergie et thermique ». Énergie et thermique »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Énergie et thermique », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Énergie et thermique », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Énergie et thermique » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 5 — « Énergie et thermique ». Énergie et thermique »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Énergie et thermique », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Énergie et thermique », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Énergie et thermique » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 5 — « Énergie et thermique ». Énergie et thermique »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

6. Mobilité et logistique

La flotte est dimensionnée par missions: fret, science, maintenance, secours. L'autonomie et le rayon de secours sont plus importants que la vitesse maximale. La panne d'un véhicule ne doit pas immobiliser toute la chaîne. Pour « Mobilité et logistique », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Mobilité et logistique » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour mobilité et logistique, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Mobilité et logistique », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Mobilité et logistique », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Mobilité et logistique », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Mobilité et logistique » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Mobilité et logistique », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Mobilité et logistique », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Mobilité et logistique » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 6 — « Mobilité et logistique ». Mobilité et logistique »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Mobilité et logistique », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Mobilité et logistique », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Mobilité et logistique » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 6 — « Mobilité et logistique ». Mobilité et logistique »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Mobilité et logistique », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Mobilité et logistique », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Mobilité et logistique » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 6 — « Mobilité et

logistique ». Mobilité et logistique »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

7. Maintenance et industrie

Les pièces sont classées par criticité, délai d'importation, probabilité de panne et possibilité de fabrication locale. L'atelier est évalué sur sa capacité à mesurer et qualifier, pas seulement à produire une forme. Pour « Maintenance et industrie », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Maintenance et industrie » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour maintenance et industrie, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Maintenance et industrie », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Maintenance et industrie », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Maintenance et industrie », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Maintenance et industrie » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Maintenance et industrie », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Maintenance et industrie », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Maintenance et industrie » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Maintenance et industrie ». Maintenance et industrie »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Maintenance et industrie », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Maintenance et industrie », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Maintenance et industrie » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Maintenance et industrie ». Maintenance et industrie »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Maintenance et industrie », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Maintenance et industrie », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Maintenance et industrie » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Maintenance et industrie ». Maintenance et industrie »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

8. Santé et organisation humaine

Le dossier relie risques de mission, compétences disponibles, diagnostic, isolation, soins, charge de travail et continuité des rôles. Il ne suppose jamais qu'un spécialiste unique sera toujours disponible. Pour « Santé et organisation humaine », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Santé et organisation humaine » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour santé et organisation humaine, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Santé et organisation humaine », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Santé et organisation humaine », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Santé et organisation humaine », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Santé et organisation humaine » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Santé et organisation humaine », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Santé et organisation humaine », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Santé et organisation humaine » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Santé et organisation humaine ». Santé et organisation humaine »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Santé et organisation humaine », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Santé et organisation humaine », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Santé et organisation

humaine » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Santé et organisation humaine ». Santé et organisation humaine »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Santé et organisation humaine », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Santé et organisation humaine », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Santé et organisation humaine » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Santé et organisation humaine ». Santé et organisation humaine »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

9. Gouvernance et opérations

Les droits de décision, règles d'urgence, journaux et priorités de ressources sont définis avant la crise. La gouvernance doit aussi prévoir la fin de l'état d'urgence et le retour à une règle normale. Pour « Gouvernance et opérations », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Gouvernance et opérations » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour gouvernance et opérations, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Gouvernance et opérations », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Gouvernance et opérations », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Gouvernance et opérations », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Gouvernance et opérations » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Gouvernance et opérations », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Gouvernance et opérations », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Gouvernance et opérations » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Gouvernance et opérations ».

Gouvernance et opérations »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Gouvernance et opérations », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Gouvernance et opérations », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Gouvernance et opérations » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Gouvernance et opérations ».

Gouvernance et opérations »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Gouvernance et opérations », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Gouvernance et opérations », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Gouvernance et opérations » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Gouvernance et opérations ». Gouvernance et opérations »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

10. Commissioning et montée en puissance

La base n'est pas à 100 % au premier sol. Une séquence explicite ouvre progressivement habitat, laboratoire, production locale et science après vérification des fonctions critiques. Pour « Commissioning et montée en puissance », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Commissioning et montée en puissance » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour commissioning et montée en puissance, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Commissioning et montée en puissance », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Commissioning et montée en puissance », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Commissioning et montée en puissance », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Commissioning et montée en puissance » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Commissioning et montée en puissance », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Commissioning et montée en puissance », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Commissioning et montée en puissance » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Commissioning et montée en puissance ». Commissioning et montée en puissance »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario — module 52 · Commissioning et montée en · Vérification.

Pour « Commissioning et montée en puissance », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Commissioning et montée en puissance », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Commissioning et montée en puissance » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Commissioning et montée en puissance ». Commissioning et montée en puissance »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario — module 52 · Commissioning et montée en · Mode dégradé · étape 2.

Pour « Commissioning et montée en puissance », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Commissioning et montée en puissance », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Commissioning et montée en puissance » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 52, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Commissioning et montée en puissance ». Commissioning et montée en puissance »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario — module 52 · Commissioning et montée en · Erreur classique.

Tableau maître des budgets et preuves

Budget	Question à fermer	Preuve attendue	Mode dégradé à étudier
Population et temps humain	Quel besoin de population et temps humain est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de population et temps humain.	Recalculer population et temps humain après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Masse cargo	Quel besoin de masse cargo est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de masse cargo.	Recalculer masse cargo après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Énergie et puissance	Quel besoin de énergie et puissance est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de énergie et puissance.	Recalculer énergie et puissance après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Rejet thermique	Quel besoin de rejet thermique est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de rejet thermique.	Recalculer rejet thermique après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Eau et assainissement	Quel besoin de eau et assainissement est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de eau et assainissement.	Recalculer eau et assainissement après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Air et gaz	Quel besoin de air et gaz est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de air et gaz.	Recalculer air et gaz après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Alimentation	Quel besoin de alimentation est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de alimentation.	Recalculer alimentation après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Mobilité	Quel besoin de mobilité est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de mobilité.	Recalculer mobilité après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Maintenance	Quel besoin de maintenance est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de maintenance.	Recalculer maintenance après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.

Budget	Question à fermer	Preuve attendue	Mode dégradé à étudier
Médical	Quel besoin de médical est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de médical.	Recalculer médical après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Science	Quel besoin de science est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de science.	Recalculer science après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Dépendance terre	Quel besoin de dépendance Terre est simultané au scénario défavorable et quelle marge reste après indisponibilité?	Tableau d'hypothèses, unité, mesure ou test qui permet de confirmer la capacité de dépendance Terre.	Recalculer dépendance Terre après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.

Chronologie de six événements injectés

T0: l'anomalie est détectée et consignée. T+1: caractérisez « retard logistique » avec au moins deux indices qui ne partagent pas la même source d'erreur. T+2: redistribuez les charges ou les tâches pour empêcher la propagation de l'incident. T+3: mettez à jour le tableau de ressources du module 52 avec la capacité réellement restante. T+4: confrontez ce nouvel état au seuil de sécurité et au temps nécessaire pour atteindre une solution stable. T+5: la configuration nominale n'est restaurée qu'après démonstration de la fonction et enregistrement du retour d'expérience.

Événement 2: perte partielle de production électrique. T0: l'anomalie est détectée et consignée. T+1: confirmez « perte partielle de production électrique » avec une donnée indépendante avant de modifier la configuration. T+2: isolez la fonction touchée par « perte partielle de production électrique » et conservez en priorité les fonctions vitales. T+3: recalculez l'autonomie disponible dans l'état créé par « perte partielle de production électrique ». T+4: comparez cette autonomie au seuil de décision défini dans projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes. T+5: le retour au nominal n'est autorisé qu'après un essai montrant que la cause de « perte partielle de production électrique » est maîtrisée.

Événement 3: dérive d'un capteur de fonction vitale. T0: l'anomalie est détectée et consignée. T+1: pour « dérive d'un capteur de fonction vitale », cherchez d'abord une seconde mesure qui ne dépende pas du même capteur ou de la même chaîne. T+2: basculez vers la ressource ou la procédure de secours pertinente au module 52. T+3: établissez le nouveau bilan de temps, de

stock et de capacité après cette bascule. T+4: décidez à partir de la marge restante, pas à partir du désir de poursuivre le plan initial. T+5: documentez le test de récupération de « dérive d'un capteur de fonction vitale » avant de réarmer la fonction.

Événement 4: immobilisation d'un moyen de mobilité. T0: l'anomalie est détectée et consignée. T+1: qualifiez « immobilisation d'un moyen de mobilité » en séparant symptôme, mesure et cause supposée. T+2: réduisez immédiatement les activités qui aggraveraient cette anomalie dans projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes. T+3: vérifiez quelles redondances restent réellement disponibles après l'incident. T+4: appliquez le critère d'abandon ou de poursuite associé à la ressource devenue limitante. T+5: réintégrez la fonction seulement lorsque le contrôle contradictoire ne reproduit plus « immobilisation d'un moyen de mobilité ».

Événement 5: indisponibilité temporaire d'une compétence clé. T0: l'anomalie est détectée et consignée. T+1: ouvrez une fiche d'anomalie pour « indisponibilité temporaire d'une compétence clé » et confirmez l'écart par une observation distincte. T+2: placez l'équipage et les équipements dans la configuration sûre prévue pour ce type d'écart. T+3: chiffrez la conséquence de l'incident sur la durée, la puissance, les consommables ou la mobilité concernés. T+4: si la marge calculée franchit le seuil du module 52, déclenchez le scénario dégradé sans attendre. T+5: fermez l'anomalie uniquement après essai, lecture stable et validation croisée.

Événement 6: perte d'une capacité de communication ou de coordination. T0: l'anomalie est détectée et consignée. T+1: face à « perte d'une capacité de communication ou de coordination », interrompez l'interprétation intuitive et recherchez une preuve qui pourrait la contredire. T+2: sécurisez la fonction la plus difficile à remplacer dans projet final: concevoir une implantation martienne de 30 personnes. T+3: projetez l'état dégradé jusqu'au prochain point où une ressource, un délai ou une capacité devient critique. T+4: choisissez l'action qui préserve cette marge critique, même si elle sacrifie un objectif secondaire. T+5: avant reprise, refaites la mesure qui avait révélé « perte d'une capacité de communication ou de coordination » et comparez-la à une référence saine.

Grille de soutenance du dossier

- Hypothèses: 15 points.
- Budgets et unités: 20 points.
- Interfaces: 15 points.

- Modes dégradés: 15 points.
- Preuves et vérification: 10 points.
- Chronologie et opérations: 10 points.
- Analyse de sensibilité: 10 points.
- Clarté et traçabilité: 5 points.

Mini-projet intégrateur et dossier de référence

Produire le dossier de référence d'une implantation de 30 personnes sur 500 sols: tableaux de besoins, capacités, stocks, emplois du temps, interfaces, risques et deux variantes. Chaque variante doit expliquer son coût en masse, énergie, temps humain et dépendance Terre.

« Exercice 12: Commissioning et montée en puissance » — hypothèses, budget, marges.

« Exercice 12: Commissioning et montée en puissance » — interfaces et causes communes.

« Exercice 12: Commissioning et montée en puissance » — calculs, limites, critères.

Vérification de maîtrise du module 52

- « Exercice 12: Commissioning et montée en puissance » — unités et ordre de grandeur.
- « Exercice 12: Commissioning et montée en puissance » — cas dégradé.
- « Exercice 12: Commissioning et montée en puissance » — marge décisionnelle.
- « Exercice 12: Commissioning et montée en puissance » — mesure de contrôle.

Repères du passage: [contrôle](#)

Repères du passage: [recyclage](#)

Repères du passage: [débit](#)

Repères du passage: [unité](#)

Repères du passage: [télémétrie](#)

Repères du passage: [optimisation](#)

Repères du passage: [masses](#)

Repères du passage: [vitesse](#)

LIVRAISON

masse · pièces ·
matières

HABITAT

pression · refuge ·
zonage

UTILITÉS

énergie · eau ·
thermique

ACCEPTATION

marges mesurées ·
go/no-go

Composite pédagogique : mettre en service une colonie de 30 personnes exige de démontrer une chaîne de dépendances, pas seulement de livrer du matériel.

Projet 30 personnes : valider la capacité démontrée avant d'accepter une population

Un projet intégrateur doit rendre visibles les marges de chaque fonction critique, les interfaces et les chemins de récupération. Le critère n'est pas que la moyenne globale semble confortable, mais que chaque fonction vitale dispose d'une capacité vérifiée face à sa demande de conception.

Les marges se calculent fonction par fonction

Eau, oxygène, puissance, thermique, nourriture, refuges et compétences n'ont pas la même unité. Une forte marge énergétique ne compense pas l'absence de capacité médicale ou une conduite d'eau unique.

La mise en service précède l'occupation

Chaque sous-système doit être testé seul, puis avec ses interfaces et enfin dans des scénarios dégradés. Ajouter des habitants avant de terminer la mise en service transforme les nouveaux résidents en charge de test.

Les dépendances humaines doivent apparaître dans l'architecture

Une fonction critique qui exige une seule personne qualifiée constitue une vulnérabilité. Le plan doit relier équipements, procédures, pièces et compétences, puis prévoir formation croisée et relève.

Marge de capacité d'une fonction j

$$M_j = (C_{j,\text{vérifiée}} - D_{j,\text{conception}}) / D_{j,\text{conception}}$$

Une marge positive indique une capacité vérifiée supérieure à la demande de conception. La colonie reste néanmoins limitée par la fonction présentant la plus petite marge crédible.

► Exercice — refuser une croissance malgré une moyenne favorable

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA — Moon to Mars Architecture](#) et [NASA — Environmental Control and Life Support Systems](#).

Sources primaires et passerelles

- [NASA — Moon to Mars Architecture Components](#)
- [NASA — Environmental Control and Life Support Systems](#)
- [NASA JSC — Rovers](#)