

Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes



Grande implantation martienne protégée avec espaces intérieurs et infrastructures souterraines.

Visualisation conceptuelle — passer à 100 habitants modifie la topologie des réseaux, les effectifs, les stocks, la maintenance, la gouvernance et les conséquences des pannes.

Changer d'échelle sans simplement multiplier par trois: énergie, eau, habitat, nourriture, santé, maintenance, logistique et **gouvernance** d'une implantation de 100 habitants.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes: comment « Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols » agit-il sur « Point de départ à 30 habitants », et quel repère issu de « Trajectoire démographique » permet de vérifier la décision?

Intuition. 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.



Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols

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.



Point de départ à 30 habitants

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.



Trajectoire démographique

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.

Repère concret. L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

- Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols — Méthode de lecture: pour chaque phase ci-dessous, suivre cinq colonnes mentales: fonction recherchée, capacité nominale, capacité réellement disponible, mode dégradé, preuve...
- Point de départ à 30 habitants — Méthode de lecture: pour chaque phase ci-dessous, suivre cinq colonnes mentales: fonction recherchée, capacité nominale, capacité réellement disponible, mode dégradé, preuve...
- Trajectoire démographique — Méthode de lecture: pour chaque phase ci-dessous, suivre cinq colonnes mentales: fonction recherchée, capacité nominale, capacité réellement disponible, mode dégradé, preuve...

CARTE DE MAÎTRISE · MODULE 58

Quatre repères à maîtriser — Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes

Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols

Définition

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.

Intuition ou cas concret

L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Repère quantitatif

La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Limite ou critère de vigilance

La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Exercice guidé — Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols

Cas « Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Corrigé raisonné — Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols

Point de départ

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.

Indice du cas

La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Réserve à appliquer

La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Conclusion

Enfin, la colonie de cent personnes doit apprendre à se corriger.

Point de départ à 30 habitants

Définition

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.

Intuition ou cas concret

L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Repère quantitatif

La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Limite ou critère de vigilance

La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Exercice guidé — Point de départ à 30 habitants

Cas « Point de départ à 30 habitants » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle,

pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Corrigé raisonné — Point de départ à 30 habitants

Point de départ	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.
Indice du cas	La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Réserve à appliquer	La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.
Conclusion	Enfin, la colonie de cent personnes doit apprendre à se corriger.

Trajectoire démographique

Définition	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.
Intuition ou cas concret	L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.
Repère quantitatif	La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Limite ou critère de vigilance	La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Exercice guidé — Trajectoire démographique

Cas « Trajectoire démographique » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Corrigé raisonné — Trajectoire démographique

Point de départ	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.
Indice du cas	La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Réserve à appliquer	La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.
Conclusion	Enfin, la colonie de cent personnes doit apprendre à se corriger.

Énergie à l'échelle 100

Définition	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.
-------------------	--

Intuition ou cas concret

L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Repère quantitatif

La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Limite ou critère de vigilance

La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100

Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Corrigé raisonné — Énergie à l'échelle 100**Point de départ**

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.

Indice du cas

La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Réserve à appliquer

La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Conclusion

Enfin, la colonie de cent personnes doit apprendre à se corriger.

Repères avant de commencer: modules 00 à 52 selon le sujet. Si une notion antérieure devient bloquante pour « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes », son rôle est rappelé dans le raisonnement plutôt que supposé connu.

Objectifs de maîtrise

- Construire une chaîne cause → **observation** → mesure pour « Changer d'échelle n'est pas multiplier par 3,33 ».
- Refaire manuellement la **vérification** la plus utile à « Croissance par paliers ».
- Décrire la panne, **l'incertitude** ou la limite qui menace « Habitat et compartimentage ».
- Expliquer comment « Eau et atmosphère » modifie l'architecture ou les opérations.

1. Changer d'échelle n'est pas multiplier par 3,33

Certaines consommations croissent presque avec le nombre d'habitants, comme une partie de l'eau ou des calories. D'autres fonctions bénéficient de mutualisation: laboratoire, bloc médical, centre de **contrôle** ou **atelier** lourd. À l'inverse, de nouveaux besoins apparaissent: plusieurs équipes de travail, quartiers séparés, capacité de secours plus grande, stockage distribué et gouvernance plus formelle. Le projet doit identifier ces changements de régime.

2. Croissance par paliers

Passer directement de 30 à 100 personnes rend les erreurs difficiles à corriger. Le scénario choisit des paliers, par exemple 30 → 60 → 100, avec critères d'autorisation avant chaque arrivée: **puissance** disponible, réserve d'eau, capacité **ECLSS**, lits refuge, production alimentaire, stocks médicaux, véhicules et nombre de techniciens qualifiés. Les personnes ne partent de la Terre que lorsque le palier précédent est démontré.

3. Habitat et compartimentage

Une population de 100 habitants ne doit pas dépendre d'un seul grand volume pressurisé. Le plan répartit dortoirs, travail, refuge, soins, agriculture et stockage en zones isolables. Les connexions permettent circulation quotidienne mais peuvent être fermées en cas d'incendie, contamination ou perte de pression. Le nombre de places refuge doit être cohérent avec les scénarios d'indisponibilité d'un quartier entier.

4. Eau et atmosphère

Les débits augmentent, mais surtout les conséquences d'une contamination. Les boucles sont divisées en trains ou zones, avec possibilités de prélèvement, purge et alimentation croisée contrôlée. Les grands réservoirs sont utiles pour tamponner, mais répartir une partie du stock évite qu'un seul incident rende toute la réserve indisponible.

5. Énergie et micro-réseaux

À 100 habitants, un réseau unique peut devenir une source de propagation. Le projet prévoit plusieurs bus ou micro-réseaux capables de se soutenir sans être totalement couplés. Les charges vitales possèdent une autonomie locale. Les grandes charges industrielles participent au délestage et sont planifiées selon production, stockage et maintenance.

6. Nourriture et agriculture

La production locale peut couvrir une fraction croissante des calories, mais l'augmentation de surface cultivée ajoute lumière, eau, nutriments, travail et chaleur. Les stocks importés restent une assurance contre maladie végétale ou perte énergétique. Le projet mesure la couverture en calories et nutriments, pas seulement la masse de récolte.

7. Santé et population

Une population plus grande augmente la **fréquence** des événements rares. Il faut donc élargir compétences médicales, pharmacie, diagnostic et espaces de soins. Certaines capacités peuvent être mutualisées; d'autres doivent être redondantes, notamment alimentation du bloc médical, **oxygène**, stérilisation et communications. La santé publique et la gestion d'épidémie prennent aussi plus d'importance.

8. Maintenance et spécialisation

Avec 100 habitants, davantage de spécialistes existent mais les équipements sont aussi plus nombreux. L'organisation doit garantir la relève: aucune fonction vitale ne dépend d'une seule personne. Les équipes maintenance gèrent **configuration**, inspections, pièces et travaux planifiés tout en conservant une capacité d'intervention d'urgence.

Approfondissement: logistique d'une population croissante

Le manifeste ne transporte plus seulement des consommables: il doit préparer la prochaine **phase**. Les cargos apportent machines, structures, pièces et matières qui permettent d'augmenter la production locale avant l'arrivée du nouveau groupe. Un palier de croissance mal séquencé peut créer plusieurs mois où la population a augmenté mais pas l'infrastructure.

Approfondissement: gouvernance et services communs

À 100 personnes, les décisions quotidiennes ne peuvent pas toutes remonter à un seul commandant. Les responsabilités se structurent par fonctions et quartiers, avec règles communes de sécurité et d'urgence. La gouvernance doit gérer horaires, maintenance, allocation de ressources et désaccords sans transformer chaque arbitrage technique en crise politique.

9. Exemple calculé: réserve d'eau de croissance

À 3,5 L de besoin potable/alimentaire direct par personne et par jour, 100 habitants représentent 350 L/j. Un stock de 21 jours exige $350 \times 21 = 7\,350$ L. Si le projet veut pouvoir isoler un réservoir sans perdre plus de la moitié du stock, deux réservoirs de 3 675 L ne suffisent pas à conserver 21 jours après perte de l'un; il faut soit davantage de volume total, soit une autre source disponible. Le dimensionnement de **redondance** ne se résume donc pas au volume nominal.

Étude de cas calculée: passer de 30 à 100 habitants sans multiplier simplement par trois

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une infrastructure possède 60 kW de charges fixes, indépendantes du nombre d'habitants, et 4 kW de charges variables par personne. On ajoute 30 % de **marge** de contingence au stade 100 personnes.

On note P_f la charge fixe, en kW; p la charge variable, en kW/personne; N la population; $P(N)$ la puissance avant marge; r la marge, sans **unité**.

À 30 personnes: $P(30) = P_f + p \times 30 = 60 + 4 \times 30 = 180$ kW. À 100 personnes: $P(100) = 60 + 4 \times 100 = 460$ kW. Avec 30 % de marge: $P_{\text{plan}} = 460 \times 1,30 = 598$ kW.

La croissance n'est pas un simple facteur $100 \div 30$, car une partie de l'infrastructure est fixe et une autre varie avec la population. Cette distinction oblige à identifier ce qui se mutualise avant de dimensionner l'extension.

10. Exercice intégrateur

Une base de 60 personnes dispose de 900 kW moyens et veut accueillir 40 personnes supplémentaires. Chaque nouvel habitant ajoute en **moyenne** 4 kW de charge directe et indirecte lors du palier considéré. Calculer la nouvelle charge et la marge si la production disponible reste limitée à 1,15 MW. Identifier ensuite pourquoi ce seul calcul ne suffit pas à autoriser l'arrivée.

11. Solution raisonnée

Quarante nouveaux habitants ajoutent $40 \times 4 = 160$ kW. La charge passe à 1 060 kW, laissant 90 kW de marge sur 1 150 kW, soit environ 7,8 % de la capacité. Cette marge peut être insuffisante face à maintenance, [poussière](#), vieillissement ou pointes. Il faut aussi vérifier stockage, eau, ECLSS, lits refuge, nourriture, santé, mobilité et compétences avant décision.

12. Dossier final

Produire le plan de croissance $30 \rightarrow 60 \rightarrow 100$ avec architecture des zones, capacités de chaque palier, critères de go/no-go, budgets masse/énergie/eau/nourriture, stratégie médicale, organisation maintenance, gouvernance et dix dépendances résiduelles à la Terre. Le dossier doit également démontrer ce qui se passe si un cargo de croissance est perdu.

Approfondissement du module 58: comprendre, calculer, vérifier et décider

Objectif du module — faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

1. Trajectoire démographique et capacité

Dans ce module, trajectoire démographique et capacité sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$\text{Croissance} = (\text{N_fin} - \text{N_début}) / \text{durée}$

Question de départ

Pour «1. Trajectoire démographique et capacité», combien vaut Croissance lorsque $(\text{N_fin} - \text{N_début})$ est divisé par durée?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Croissance égale $(\text{N indice fin} - \text{N indice début})$ divisé par durée».

Symboles, prononciation et sens

Croissance («Croissance»): croissance démographique moyenne;
N_fin («N fin»): nombre de fin; N_début («N début»): nombre de début; durée («durée»): intervalle de temps sur lequel le calcul est effectué

Unités

croissance démographique moyenne → personnes par unité de temps;
N fin → compte; N début → compte; durée → durée exprimée dans l'unité du scénario.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

Le rôle de $(\text{N_fin} - \text{N_début})$ est celui du numérateur; durée sert de référence au dénominateur. La division $(\text{N_fin} - \text{N_début}) \div \text{durée}$ produit Croissance, alors que $\text{durée} \div (\text{N_fin} - \text{N_début})$ répondrait à une autre question.

Substitution et calcul

Prendre uniquement les valeurs disponibles pour $(\text{N_fin} - \text{N_début})$ et durée, harmoniser leurs unités ou leur période, puis former le quotient qui donne Croissance.

Saisie sur calculatrice

Saisir les parenthèses de $(\text{N_fin} - \text{N_début})$, la touche $\div$, puis les parenthèses de durée. Vérifier l'ordre affiché avant de valider Croissance.

Estimation mentale

Estimer combien de fois durée «tient» dans $(\text{N_fin} - \text{N_début})$; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Croissance avant le calcul précis.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Vérification par remontée:
(Croissance)×(durée) doit reconstituer (N_fin - N_début). Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de «Croissance = (N_fin - N_début) / durée» appartient au contexte «1. Trajectoire démographique et capacité». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: Croissance mesure la quantité de (N_fin - N_début) rapportée à chaque unité de durée pour «1. Trajectoire démographique et capacité».

Variation / sensibilité

Si seul (N_fin - N_début) varie, Croissance varie dans la même proportion. Si seule durée augmente de 10 %, Croissance devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

Limite / hypothèse

Condition de validité: aucune division par zéro pour durée; les périmètres de (N_fin - N_début) et durée doivent aussi être comparables dans «1. Trajectoire démographique et capacité».

On injecte maintenant l'événement suivant: la croissance démographique devance le logement.

2. Énergie et micro-réseaux à l'échelle 100

Dans ce module, énergie et micro-réseaux à l'échelle 100 sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$$\text{Capacité_req} = \text{Demande} \times (1 + \text{marge}) / A$$

Question de départ

Pour «2. Énergie et micro-réseaux à l'échelle 100», combien vaut Capacité_req lorsque Demande × (1 + marge) est divisé par A?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Capacité indice req égale Demande multiplié par (1 plus marge) divisé par A».

Symboles, prononciation et sens

Capacité_req («capacité requise»): capacité installée nécessaire; Demande («demande»): besoin nominal à satisfaire; marge («marge»): marge de dimensionnement sans dimension; A («a»): disponibilité du système, fraction sans dimension comprise entre 0 et 1.

Unités

Une même unité de capacité ou de puissance selon le sous-système doit servir à Capacité_req et Demande; marge et A sans dimension. La division par A ne change donc pas l'unité.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

On majore d'abord la demande par le facteur $1 + \text{marge}$, puis on divise par la disponibilité: une capacité installée plus grande est nécessaire lorsque le système n'est pas disponible 100 % du temps.

Substitution et calcul

Prendre uniquement les valeurs disponibles pour $\text{Demande} \times (1 + \text{marge})$ et A, harmoniser leurs unités ou leur période, puis former le quotient qui donne Capacité_req.

Saisie sur calculatrice

Saisir les parenthèses de $\text{Demande} \times (1 + \text{marge})$, la touche $\div$, puis les parenthèses de A. Vérifier l'ordre affiché avant de valider Capacité_req.

Estimation mentale

Estimer combien de fois A «tient» dans $\text{Demande} \times (1 + \text{marge})$; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Capacité_req avant le calcul précis.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Capacité_req} \times A / (1 + \text{marge})$ doit redonner Demande. Pour $A = 1$ et $\text{marge} = 0$, Capacité_req doit égaler Demande.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de «Capacité_req = Demande × (1 + marge) / A» appartient au contexte «2. Énergie et micro-réseaux à l'échelle 100». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Dit sans notation, on majore d'abord la demande par le facteur 1+marge, puis on divise par la disponibilité: une capacité installée plus grande est nécessaire lorsque le système n'est pas disponible 100 % du temps.

Variation / sensibilité

À demande et marge fixes, +10 % relatif de A divise Capacité_req par 1,10; à A fixe, +10 % de Demande augmente Capacité_req de 10 %.

Limite / hypothèse

A est ici une disponibilité et non une aire. A doit être strictement positif et défini sur la même période que la demande et la capacité.

On injecte maintenant l'événement suivant: la capacité de rejet thermique devient limitante.

3. Eau, assainissement et stockage

Dans ce module, eau, assainissement et stockage sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$$\text{Stock_eau} = Q_{\text{jour}} \times \text{autonomie}$$

Question de départ

Quelle valeur de Stock_eau résulte du produit indiqué par «Stock_eau = Q_jour × autonomie»?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Stock indice eau égale Q indice jour multiplié par autonomie».

Symboles, prononciation et sens

Stock_eau («stock eau»): quantité d'eau à stocker; Q_jour («Q jour»): consommation ou besoin net d'eau par jour pour la colonie; autonomie («autonomie»): nombre de jours ou de sols que le stock doit couvrir.

Unités

Q_jour en L/j ou kg/j; autonomie en jours sur la même base; Stock_eau en L ou kg. Si l'autonomie est exprimée en sols, convertir Q_jour sur une base par sol ou convertir la durée.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

Un débit journalier multiplié par le nombre de jours à couvrir donne la quantité totale à stocker.

Substitution et calcul

Préparer séparément les valeurs correspondant à $Q_{\text{jour}} \times$ autonomie, avec leurs conversions visibles, puis former leur produit pour obtenir Stock_eau.

Saisie sur calculatrice

Saisir chaque facteur préparé de $Q_{\text{jour}} \times$ autonomie séparément si nécessaire, puis utiliser «x» entre leurs valeurs; arrondir Stock_eau à la dernière étape.

Estimation mentale

Avant la valeur exacte, arrondir chaque facteur de $Q_{\text{jour}} \times$ autonomie à un chiffre significatif et former le produit. Cette approximation situe Stock_eau dans la bonne décade.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Stock_eau} / \text{autonomie}$ doit redonner Q_{jour} .
Contrôle dimensionnel: $\text{L/j} \times \text{j} = \text{L}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de « $\text{Stock_eau} = Q_{\text{jour}} \times \text{autonomie}$ » appartient au contexte «3. Eau, assainissement et stockage». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: pour obtenir Stock_eau, on prend les quantités de $Q_{\text{jour}} \times \text{autonomie}$ ensemble sous forme de produit, conformément au modèle de «3. Eau, assainissement et stockage».

Variation / sensibilité

La sensibilité est multiplicative: doubler un seul facteur de $Q_{\text{jour}} \times \text{autonomie}$ double Stock_eau si les autres ne changent pas; modifier deux facteurs compose leurs variations.

Limite / hypothèse

Validité: le modèle «Stock_eau = $Q_{\text{jour}} \times \text{autonomie}$ » doit rester applicable sur le domaine étudié. Si deux facteurs de $Q_{\text{jour}} \times \text{autonomie}$ ne sont pas indépendants au sens supposé, leur produit simple peut être insuffisant.

— « Eau, assainissement et stockage ».

On injecte maintenant l'événement suivant: un flux importé critique est retardé.

4. Nourriture et sécurité des stocks

Dans ce module, nourriture et sécurité des stocks sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$$\text{Stock}_{\text{nourriture}} = N \times q_{\text{food}} \times t \times (1 + \text{marge})$$

Question de départ

Quelle valeur de Stock_nourriture résulte du produit indiqué par «Stock_nourriture = $N \times q_{\text{food}} \times t \times (1 + \text{marge})$ »?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Stock indice nourriture égale N multiplié par q indice food multiplié par t multiplié par (1 plus marge)».

Symboles, prononciation et sens

Stock_nourriture: masse totale de nourriture à prévoir; N: nombre de personnes; q_{food} : consommation alimentaire par personne et par unité de temps; t: durée couverte; marge: fraction supplémentaire de sécurité.

Unités

N en personnes; q_food par exemple en kg/(personne·j); t en jours dans ce cas; marge sans dimension; Stock_nourriture en kg.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

$N \times q_food \times t$ transforme une consommation individuelle journalière en masse totale pour toute la population et toute la durée; $1 + \text{marge}$ ajoute une réserve proportionnelle.

Substitution et calcul

Préparer séparément les valeurs correspondant à $N \times q_food \times t \times (1 + \text{marge})$, avec leurs conversions visibles, puis former leur produit pour obtenir Stock_nourriture.

Saisie sur calculatrice

Saisir chaque facteur préparé de $N \times q_food \times t \times (1 + \text{marge})$ séparément si nécessaire, puis utiliser «x» entre leurs valeurs; arrondir Stock_nourriture à la dernière étape.

Estimation mentale

Avant la valeur exacte, arrondir chaque facteur de $N \times q_food \times t \times (1 + \text{marge})$ à un chiffre significatif et former le produit. Cette approximation situe Stock_nourriture dans la bonne décade.

Contrôle indépendant

Contrôle dimensionnel: personnes $\times$ kg/(personne·j) $\times$ j $\times$ sans dimension = kg.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de «Stock_nourriture = $N \times q_food \times t \times (1 + \text{marge})$ » appartient au contexte «4. Nourriture et sécurité des stocks». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: pour obtenir Stock_nourriture, on prend les quantités de $N \times q_food \times t \times (1 + \text{marge})$ ensemble sous forme de produit, conformément au modèle de «4. Nourriture et sécurité des stocks».

Variation / sensibilité

La sensibilité est multiplicative: doubler un seul facteur de $N \times q_{\text{food}} \times t \times (1 + \text{marge})$ double $\text{Stock}_{\text{nourriture}}$ si les autres ne changent pas; modifier deux facteurs compose leurs variations.

Limite / hypothèse

Validité: le modèle « $\text{Stock}_{\text{nourriture}} = N \times q_{\text{food}} \times t \times (1 + \text{marge})$ » doit rester applicable sur le domaine étudié. Si deux facteurs de $N \times q_{\text{food}} \times t \times (1 + \text{marge})$ ne sont pas indépendants au sens supposé, leur produit simple peut être insuffisant.

On injecte maintenant l'événement suivant: l'atelier local ne peut pas qualifier une pièce vitale.

5. Habitat, zonage et refuges

Dans ce module, habitat, zonage et refuges sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$$V_{\text{refuge}} = N \times v_{\text{refuge_pc}}$$

Question de départ

Quelle valeur de V_{refuge} résulte du produit indiqué par « $V_{\text{refuge}} = N \times v_{\text{refuge_pc}}$ »?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «V indice refuge égale N multiplié par v indice refuge indice pc».

Symboles, prononciation et sens

V_{refuge} («vé refuge»): volume total nécessaire au refuge; N («enne»): nombre de personnes; $v_{\text{refuge_pc}}$ («vé refuge par personne»): volume prévu par personne dans le refuge.

Unités

V_{refuge} en m^3 ; N comme compte; $v_{\text{refuge_pc}}$ en $\text{m}^3/\text{personne}$.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

Pour obtenir V_{refuge} , la relation combine multiplicativement $N \times v_{\text{refuge_pc}}$. Chaque facteur apporte son unité ou son coefficient; le produit final doit être dimensionnellement compatible avec le membre gauche.

Substitution et calcul

Préparer séparément les valeurs correspondant à $N \times v_{\text{refuge_pc}}$, avec leurs conversions visibles, puis former leur produit pour obtenir V_{refuge} .

Saisie sur calculatrice

Saisir chaque facteur préparé de $N \times v_{\text{refuge_pc}}$ séparément si nécessaire, puis utiliser «x» entre leurs valeurs; arrondir V_{refuge} à la dernière étape.

Estimation mentale

Avant la valeur exacte, arrondir chaque facteur de $N \times v_{\text{refuge_pc}}$ à un chiffre significatif et former le produit. Cette approximation situe V_{refuge} dans la bonne décade.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Vérification croisée: retirer un facteur du produit de $N \times v_{\text{refuge_pc}}$; V_{refuge} divisé par ce facteur doit reconstituer la combinaison de tous les autres.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de « $V_{\text{refuge}} = N \times v_{\text{refuge_pc}}$ » appartient au contexte «5. Habitat, zonage et refuges». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: pour obtenir V_{refuge} , on prend les quantités de $N \times v_{\text{refuge_pc}}$ ensemble sous forme de produit, conformément au modèle de «5. Habitat, zonage et refuges».

Variation / sensibilité

La sensibilité est multiplicative: doubler un seul facteur de $N \times v_{\text{refuge_pc}}$ double V_{refuge} si les autres ne changent pas; modifier deux facteurs compose leurs variations.

Limite / hypothèse

Validité: le modèle « $V_{\text{refuge}} = N \times v_{\text{refuge_pc}}$ » doit rester applicable sur le domaine étudié. Si deux facteurs de $N \times v_{\text{refuge_pc}}$ ne sont pas indépendants au sens supposé, leur produit simple peut être insuffisant.

On injecte maintenant l'événement suivant: le système de santé est saturé par un incident.

6. Industrie et maintenance locale

Dans ce module, industrie et maintenance locale sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$f_{\text{local}} = \text{Masse_locale} / \text{Masse_totale}$

Question de départ

Pour «6. Industrie et maintenance locale», combien vaut f_{local} lorsque Masse_locale est divisé par Masse_totale ?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «f indice local égale Masse indice locale divisé par Masse indice totale».

Symboles, prononciation et sens

f_{local} : fraction de la masse totale fournie localement;
 Masse_locale : masse produite ou extraite localement sur le périmètre; Masse_totale : masse totale correspondante, locale plus importée selon la définition du bilan.

Unités

Les deux masses dans la même unité; f_{local} sans dimension entre 0 et 1.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

Le quotient mesure la part massique couverte localement.

Substitution et calcul

Prendre uniquement les valeurs disponibles pour Masse_locale et Masse_totale, harmoniser leurs unités ou leur période, puis former le quotient qui donne f_local.

Saisie sur calculatrice

Saisir les parenthèses de Masse_locale, la touche ÷, puis les parenthèses de Masse_totale. Vérifier l'ordre affiché avant de valider f_local.

Estimation mentale

Estimer combien de fois Masse_totale «tient» dans Masse_locale; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de f_local avant le calcul précis.

Contrôle indépendant

$f_local \times Masse_totale$ doit redonner Masse_locale.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de « $f_local = Masse_locale / Masse_totale$ » appartient au contexte «6. Industrie et maintenance locale». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: f_local mesure la quantité de Masse_locale rapportée à chaque unité de Masse_totale pour «6. Industrie et maintenance locale».

Variation / sensibilité

Si seul Masse_locale varie, f_local varie dans la même proportion. Si seul Masse_totale augmente de 10 %, f_local devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

Limite / hypothèse

Condition de validité: aucune division par zéro pour Masse_totale; les périmètres de Masse_locale et Masse_totale doivent aussi être comparables dans «6. Industrie et maintenance locale».

On injecte maintenant l'événement suivant: une extension électrique réduit la marge de réserve.

7. Mobilité et logistique de surface

Dans ce module, mobilité et logistique de surface sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$$\text{Capacité_flotte} = N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire} \times A$$

Question de départ

Quelle valeur de Capacité_flotte résulte du produit indiqué par «Capacité_flotte = $N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire} \times A$ »?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Capacité indice flotte égale N indice véhicules multiplié par capacité indice unitaire multiplié par A».

Symboles, prononciation et sens

Capacité_flotte («capacité flotte»): capacité utile totale réellement disponible; $N_{\text{véhicules}}$ («N véhicules»): nombre de véhicules de la flotte; capacité_unitaire («capacité unitaire»): capacité utile d'un véhicule; A («a»): disponibilité moyenne de la flotte, fraction sans dimension.

Unités

$N_{\text{véhicules}}$ est un compte sans dimension; capacité_unitaire et Capacité_flotte ont la même unité de capacité; A est sans dimension. Le produit conserve l'unité de capacité.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

$N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire}$ donne la capacité nominale totale; multiplier par la disponibilité A estime la part réellement accessible.

Substitution et calcul

Préparer séparément les valeurs correspondant à $N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire} \times A$, avec leurs conversions visibles, puis former leur produit pour obtenir Capacité_flotte.

Saisie sur calculatrice

Saisir chaque facteur préparé de $N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire} \times A$ séparément si nécessaire, puis utiliser « $\times$ » entre leurs valeurs; arrondir Capacité_flotte à la dernière étape.

Estimation mentale

Avant la valeur exacte, arrondir chaque facteur de $N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire} \times A$ à un chiffre significatif et former le produit. Cette approximation situe Capacité_flotte dans la bonne décade.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse:

$\text{Capacité_flotte} / (N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire})$ doit redonner A. Avec $A = 1$, la capacité utile doit retrouver la capacité nominale de la flotte.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de « $\text{Capacité_flotte} = N_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire} \times A$ » appartient au contexte «7. Mobilité et logistique de surface». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Dans ce calcul, $n_{\text{véhicules}} \times \text{capacité_unitaire}$ donne la capacité nominale totale; multiplier par la disponibilité A estime la part réellement accessible.

Variation / sensibilité

À capacité unitaire et disponibilité fixes, ajouter 10 % de véhicules ajoute 10 % de capacité. À flotte fixe, la capacité utile varie linéairement avec A.

Limite / hypothèse

A est une disponibilité, pas une surface. Une disponibilité moyenne ne représente pas nécessairement les corrélations de pannes ou les indisponibilités simultanées.

On injecte maintenant l'événement suivant: la croissance démographique devance le logement. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Mobilité et logistique de surface ». Mobilité et logistique de surface »: la preuve demandée doit rester cohérente avec

l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

8. Santé et organisation des soins

Dans ce module, santé et organisation des soins sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$\text{Charge_soins} = \text{Heures_soins} / \text{Heures_soignants}$

Question de départ

Pour «8. Santé et organisation des soins», combien vaut Charge_soins lorsque Heures_soins est divisé par Heures_soignants?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Charge indice soins égale Heures indice soins divisé par Heures indice soignants».

Symboles, prononciation et sens

Charge_soins («Charge soins»): fraction des heures soignantes mobilisée par les soins; Heures_soins («Heures soins»): durée totale de soins à fournir sur la période; Heures_soignants («Heures soignants»): durée de travail soignant disponible sur la période

Unités

Charge soins → sans dimension, souvent exprimé en fraction ou en %; Heures soins → h; Heures soignants → h.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

Le rôle de Heures_soins est celui du numérateur; Heures_soignants sert de référence au dénominateur. La division $\text{Heures_soins} \div \text{Heures_soignants}$ produit Charge_soins, alors que $\text{Heures_soignants} \div \text{Heures_soins}$ répondrait à une autre question.

Substitution et calcul

Prendre uniquement les valeurs disponibles pour Heures_soins et Heures_soignants, harmoniser leurs unités ou leur période, puis former le quotient qui donne Charge_soins.

Saisie sur calculatrice

Saisir les parenthèses de Heures_soins, la touche $\div$, puis les parenthèses de Heures_soignants. Vérifier l'ordre affiché avant de valider Charge_soins.

Estimation mentale

Estimer combien de fois Heures_soignants «tient» dans Heures_soins; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Charge_soins avant le calcul précis.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Vérification par remontée:
 $(\text{Charge_soins}) \times (\text{Heures_soignants})$ doit reconstituer Heures_soins. Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de « $\text{Charge_soins} = \text{Heures_soins} / \text{Heures_soignants}$ » appartient au contexte «8. Santé et organisation des soins». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: Charge_soins mesure la quantité de Heures_soins rapportée à chaque unité de Heures_soignants pour «8. Santé et organisation des soins».

Variation / sensibilité

Si seul Heures_soins varie, Charge_soins varie dans la même proportion. Si seul Heures_soignants augmente de 10 %, Charge_soins devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

Limite / hypothèse

Condition de validité: aucune division par zéro pour Heures_soignants; les périmètres de Heures_soins et Heures_soignants doivent aussi être comparables dans «8. Santé et organisation des soins».

— « Santé et organisation des soins ».

On injecte maintenant l'événement suivant: la capacité de rejet thermique devient limitante. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Santé et organisation des soins ». Santé et organisation des soins »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

9. Gouvernance et spécialisation des rôles

Dans ce module, gouvernance et spécialisation des rôles sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$\text{Charge_rôles} = \text{Heures_tâches} / \text{Heures_disponibles}$

Question de départ

Pour «9. Gouvernance et spécialisation des rôles», combien vaut Charge_rôles lorsque Heures_tâches est divisé par Heures_disponibles?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Charge indice rôles égale Heures indice tâches divisé par Heures indice disponibles».

Symboles, prononciation et sens

Charge_rôles («Charge rôles»): fraction du temps disponible mobilisée par les tâches assignées; Heures_tâches («Heures tâches»): durée cumulée requise par les tâches considérées; Heures_disponibles («Heures disponibles»): durée totale disponible pour accomplir les tâches

Unités

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

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

Le rôle de Heures_tâches est celui du numérateur; Heures_disponibles sert de référence au dénominateur. La division $\text{Heures_tâches} \div \text{Heures_disponibles}$ produit Charge_rôles, alors que $\text{Heures_disponibles} \div \text{Heures_tâches}$ répondrait à une autre question.

Substitution et calcul

Prendre uniquement les valeurs disponibles pour Heures_tâches et Heures_disponibles, harmoniser leurs unités ou leur période, puis former le quotient qui donne Charge_rôles.

Saisie sur calculatrice

Saisir les parenthèses de Heures_tâches, la touche $\div$, puis les parenthèses de Heures_disponibles. Vérifier l'ordre affiché avant de valider Charge_rôles.

Estimation mentale

Estimer combien de fois Heures_disponibles «tient» dans Heures_tâches; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Charge_rôles avant le calcul précis.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Vérification par remontée:
 $(\text{Charge_rôles}) \times (\text{Heures_disponibles})$ doit reconstituer Heures_tâches. Ce produit teste le quotient par l'opération inverse.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de « $\text{Charge_rôles} = \text{Heures_tâches} / \text{Heures_disponibles}$ » appartient au contexte «9. Gouvernance et spécialisation des rôles». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: Charge_rôles mesure la quantité de Heures_tâches rapportée à chaque unité de Heures_disponibles pour «9. Gouvernance et spécialisation des rôles».

Variation / sensibilité

Si seul Heures_tâches varie, Charge_rôles varie dans la même proportion. Si seul Heures_disponibles augmente de 10 %, Charge_rôles devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

Limite / hypothèse

Condition de validité: aucune division par zéro pour Heures_disponibles; les périmètres de Heures_tâches et Heures_disponibles doivent aussi être comparables dans «9. Gouvernance et spécialisation des rôles».

On injecte maintenant l'événement suivant: un flux importé critique est retardé. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Gouvernance et spécialisation des rôles ». Gouvernance et spécialisation des rôles »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

10. Science, production et priorités

Dans ce module, science, production et priorités sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

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

Question de départ

Dans «10. Science, production et priorités», comment additionner les contributions indexées de «Score_priorité = $\sum (w_i \times s_i)$ » pour reconstruire Score_priorité?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «score de priorité égale la somme, sur tous les critères i, du poids w indice i multiplié par la note s indice i».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; Score_priorité classe une action de croissance ou de sécurisation. w_i («w indice i») exprime l'importance d'une dépendance; s_i («s indice i») décrit la situation de l'action sur ce critère. Les critères peuvent couvrir criticité, autonomie gagnée, délai et capacité locale.

Unités

Le score, les poids et les notes sont sans dimension. Les bilans physiques de la colonie - puissance, masse, jours de stock ou cadence de production - doivent être convertis par des seuils documentés avant d'être transformés en notes.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration.

Pourquoi cette opération

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

Substitution et calcul

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

Saisie sur calculatrice

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

Estimation mentale

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

Contrôle indépendant

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

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de «Score_priorité = $\Sigma(w_i \times s_i)$ » appartient au contexte «10. Science, production et priorités». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

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

Variation / sensibilité

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

Limite / hypothèse

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

On injecte maintenant l'événement suivant: l'atelier local ne peut pas qualifier une pièce vitale. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Science, production et priorités ». Science, production et priorités »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

11. Dépendance Terre et autonomie progressive

Dans ce module, dépendance terre et autonomie progressive sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

Dépendance = Masse_importée / Masse_totale_consommée

Question de départ

Pour «11. Dépendance Terre et autonomie progressive», combien vaut Dépendance lorsque Masse_importée est divisé par Masse_totale_consommée?

Lecture à voix haute

Prononciation complète: «Dépendance égale Masse indice importée divisé par Masse indice totale indice consumée».

Symboles, prononciation et sens

Dépendance («dépendance»): fraction de la masse totale consommée qui doit être importée; Masse_importée («masse importée»): masse provenant de l'extérieur de la colonie sur la période; Masse_totale_consommée («masse totale consommée»): masse totale consommée sur la même période et le même périmètre.

Unités

Masse_importée et Masse_totale_consommée doivent utiliser une échelle commune de masse commune, par exemple kg; Dépendance sans dimension, souvent exprimée en pourcentage.

Origine et statut des valeurs

Chaque nombre utilisé garde un statut explicite – mesure, constante, valeur de mission ou hypothèse d'exercice – afin de ne pas confondre réel et démonstration. Le cours rattache ces entrées à: les besoins, capacités, marges et bilans du scénario 100 personnes.

Pourquoi cette opération

Diviser la masse importée par la masse totale consommée donne la part de la consommation qui dépend des importations.

Substitution et calcul

Prendre uniquement les valeurs disponibles pour Masse_importée et Masse_totale_consommée, harmoniser leurs unités ou leur période, puis former le quotient qui donne Dépendance.

Saisie sur calculatrice

Saisir les parenthèses de Masse_importée, la touche ÷, puis les parenthèses de Masse_totale_consommée. Vérifier l'ordre affiché avant de valider Dépendance.

Estimation mentale

Estimer combien de fois Masse_totale_consommée «tient» dans Masse_importée; cette estimation donne immédiatement l'échelle attendue de Dépendance avant le calcul précis.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Dépendance} \times \text{Masse_totale_consommée}$ doit redonner Masse_importée.

Interprétation physique ou opérationnelle

L'interprétation de « $\text{Dépendance} = \text{Masse_importée} / \text{Masse_totale_consommée}$ » appartient au contexte «11. Dépendance Terre et autonomie progressive». Il faut relier le nombre obtenu à son unité, à la frontière de calcul et aux conditions sous lesquelles la relation reste valable.

Traduction en français courant

Lecture courante: Dépendance mesure la quantité de Masse_importée rapportée à chaque unité de Masse_totale_consommée pour «11. Dépendance Terre et autonomie progressive».

Variation / sensibilité

Si seule Masse_importée varie, Dépendance varie dans la même proportion. Si seule Masse_totale_consommée augmente de 10 %, Dépendance devient environ 0,909 fois sa valeur initiale.

Limite / hypothèse

Les deux masses doivent couvrir la même période et la même frontière matérielle. Une dépendance par masse ne décrit pas nécessairement la dépendance en criticité ou en valeur.

On injecte maintenant l'événement suivant: le système de santé est saturé par un incident. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 11 — « Dépendance Terre et autonomie progressive ». Dépendance Terre et autonomie progressive »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

12. Croissance prudente contre croissance accélérée

Dans ce module, croissance prudente contre croissance accélérée sert directement à faire passer une implantation de 30 à 100 habitants en transformant les systèmes de mission en infrastructures capables de croître, d'être maintenues et de supporter des activités nouvelles.

$$g = (N_{\text{fin}} / N_{\text{début}})^{(1 / t)} - 1$$

Question de départ

Quel taux de croissance composé par période relie $N_{\text{début}}$ à N_{fin} en t périodes ?

Lecture à voix haute

Lecture : « g égale le rapport N_{fin} sur $N_{\text{début}}$, élevé à la puissance un sur t , moins un ».

Symboles, prononciation et sens

g (« gé ») : taux de croissance composé par période ; N_{fin} : effectif final ; $N_{\text{début}}$: effectif initial ; t (« té ») : nombre de périodes de même durée. La puissance $1/t$ correspond à la racine t -ième du rapport global.

Unités

N_{fin} et $N_{début}$ utilisent la même unité de comptage, donc leur rapport est sans dimension. t est un nombre de périodes. g est sans dimension par période et s'exprime souvent en pourcentage par période.

Origine et statut des valeurs

Les effectifs et la durée viennent du scénario démographique étudié. Les périodes doivent avoir une durée homogène – par exemple des années – et cette durée doit être annoncée.

Pourquoi cette opération

Le rapport $N_{fin}/N_{début}$ mesure le facteur de croissance total. Prendre la puissance $1/t$ cherche le facteur identique qui, répété t fois, reproduit ce facteur total. Soustraire 1 transforme enfin ce facteur périodique en taux g .

Substitution et calcul

Ordre obligatoire : 1) calculer le rapport $N_{fin}/N_{début}$; 2) élever ce rapport à la puissance $1/t$, ou prendre sa racine t -ième ; 3) soustraire 1. Le résultat est le taux composé par période.

Saisie sur calculatrice

Saisir $(N_{fin} / N_{début})^{(1 / t)} - 1$ avec les parenthèses. Vérifier séparément le rapport et l'exposant $1/t$ avant la puissance, puis convertir g en pourcentage si nécessaire.

Estimation mentale

Si $N_{fin} > N_{début}$, g doit être positif ; s'ils sont égaux, $g=0$; si $N_{fin} < N_{début}$, g est négatif. Pour une même croissance totale, répartir le changement sur davantage de périodes réduit le taux par période.

Contrôle indépendant

Reconstruire l'effectif final avec $N_{début} \times (1+g)^t$. Le résultat doit retrouver N_{fin} à l'arrondi près.

Interprétation physique ou opérationnelle

g décrit un rythme composé constant équivalent. Il ne signifie pas que la population réelle doit croître exactement du même pourcentage à chaque période.

Traduction en français courant

On cherche le même facteur de croissance répété à chaque période qui permet de passer de l'effectif initial à l'effectif final.

Variation / sensibilité

À t fixé, augmenter $N_{fin}/N_{début}$ augmente g . Pour un rapport supérieur à 1, augmenter t diminue le taux nécessaire par période, puisque la croissance totale est répartie sur davantage de périodes.

Limite / hypothèse

Il faut $N_{début} > 0$, $N_{fin} > 0$ et $t > 0$. Le modèle décrit un taux composé équivalent et ne capture pas les variations irrégulières, capacités limites ou événements discrets.

On injecte maintenant l'événement suivant: une extension électrique réduit la marge de réserve. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 12 — « Croissance prudente contre croissance accélérée ». Croissance prudente contre croissance accélérée »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Exercices progressifs avec corrigés 1:1

Exercice 1: Trajectoire démographique et capacité

Analysez trajectoire démographique et capacité. Relation à tester: « $Capacité_{req} = Demande \times (1 + marge) / A$ ». Cas dégradé: la capacité de rejet thermique devient limitante. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 1: Trajectoire démographique et capacité

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation	Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Raisonnement	Corrigé — Exercice 1: Trajectoire démographique et capacité
Résultat	Corrigé — Exercice 1: Trajectoire démographique et capacité

Exercice 2: Énergie et micro-réseaux à l'échelle 100

Analysez énergie et micro-réseaux à l'échelle 100. Relation à tester: « Croissance = $(N_{fin} - N_{début}) / durée$ ». Cas dégradé: un flux importé critique est retardé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 2: Énergie et micro-réseaux à l'échelle 100

Données du cas	Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.
Relation	Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Raisonnement	Corrigé — Exercice 2: Énergie et micro-réseaux à l'échelle 100
Résultat	Corrigé — Exercice 2: Énergie et micro-réseaux à l'échelle 100

Exercice 3: Eau, assainissement et stockage

Analysez eau, assainissement et stockage. Relation à tester: « Charge_{pc} = Charge_{totale} / N ». Cas dégradé: l'atelier local ne peut pas qualifier une pièce vitale. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 3: Eau, assainissement et stockage

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 3: Eau, assainissement et stockage

Résultat

Corrigé — Exercice 3: Eau, assainissement et stockage

Exercice 4: Nourriture et sécurité des stocks

Analysez nourriture et sécurité des stocks. Relation à tester: « Dépendance = $\text{Masse_importée} / \text{Masse_totale_consommée}$ ». Cas dégradé: le système de santé est saturé par un incident. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 4: Nourriture et sécurité des stocks

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 4: Nourriture et sécurité des stocks

Résultat

Corrigé — Exercice 4: Nourriture et sécurité des stocks

Repères numériques conservés. 40%.

Exercice 5: Habitat, zonage et refuges

Analysez habitat, zonage et refuges. Relation à tester: « $\text{Capacité_req} = \text{Demande} \times (1 + \text{marge}) / A$ ». Cas dégradé: une extension électrique réduit la marge de réserve. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 5: Habitat, zonage et refuges

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 5: Habitat, zonage et refuges

Résultat

Corrigé — Exercice 5: Habitat, zonage et refuges

Exercice 6: Industrie et maintenance locale

Analysez industrie et maintenance locale. Relation à tester: « $\text{Croissance} = (\text{N_fin} - \text{N_début}) / \text{durée}$ ». Cas dégradé: la croissance démographique devance le logement. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 6: Industrie et maintenance locale

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 6: Industrie et maintenance locale

Résultat

Corrigé — Exercice 6: Industrie et maintenance locale

Exercice 7: Mobilité et logistique de surface

Analysez mobilité et logistique de surface. Relation à tester: « $\text{Charge_pc} = \text{Charge_totale} / N$ ». Cas dégradé: la capacité de rejet thermique devient limitante. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 7: Mobilité et logistique de surface**Données du cas**

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 7: Mobilité et logistique de surface

Résultat

Corrigé — Exercice 7: Mobilité et logistique de surface

Exercice 8: Santé et organisation des soins

Analysez santé et organisation des soins. Relation à tester: « Dépendance = $\text{Masse_importée} / \text{Masse_totale_consommée}$ ». Cas dégradé: un flux importé critique est retardé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 8: Santé et organisation des soins

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 8: Santé et organisation des soins

Résultat

Corrigé — Exercice 8: Santé et organisation des soins

Repères numériques conservés. 40%.

Exercice 9: Gouvernance et spécialisation des rôles

Analysez gouvernance et spécialisation des rôles. Relation à tester: « Capacité_req = $\text{Demande} \times (1 + \text{marge}) / A$ ». Cas dégradé: l'atelier local ne peut pas qualifier une pièce vitale. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 9: Gouvernance et spécialisation des rôles

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Raisonnement

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Résultat

Corrigé — Exercice 9: Gouvernance et spécialisation des rôles

Corrigé — Exercice 9: Gouvernance et spécialisation des rôles

Exercice 10: Science, production et priorités

Analysez science, production et priorités. Relation à tester: « Croissance = $(N_{\text{fin}} - N_{\text{début}}) / \text{durée}$ ». Cas dégradé: le système de santé est saturé par un incident. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 10: Science, production et priorités**Données du cas**

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.
Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 10: Science, production et priorités

Résultat

Corrigé — Exercice 10: Science, production et priorités

Exercice 11: Dépendance Terre et autonomie progressive

Analysez dépendance terre et autonomie progressive. Relation à tester: « $\text{Charge_pc} = \text{Charge_totale} / N$ ». Cas dégradé: une extension électrique réduit la marge de réserve. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 11: Dépendance Terre et autonomie progressive

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 11: Dépendance Terre et autonomie progressive

Résultat

Corrigé — Exercice 11: Dépendance Terre et autonomie progressive

Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée

Analysez croissance prudente contre croissance accélérée. Relation à tester: « $\text{Dépendance} = \text{Masse_importée} / \text{Masse_totale_consommée}$ ». Cas dégradé: la croissance démographique devance le logement. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée

Données du cas

Exercice guidé — Énergie à l'échelle 100 — Cas « Énergie à l'échelle 100 » — L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance.

Relation

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.
Réserve: La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Raisonnement

Repère: La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30.

Résultat

Corrigé — Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée

Corrigé — Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée

Repères numériques conservés. 40%.

Dossier solution de référence: croissance de 30 à 100 personnes sur 1000 sols

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. Point de départ à 30 habitants

L'architecture initiale est considérée comme un système existant avec ses limites et sa dette de maintenance. La croissance commence donc par un audit de capacité résiduelle, pas par une multiplication automatique par 100/30. Le premier passage consiste à dresser les interfaces: quelle ressource entre, quelle ressource sort, quelle commande agit, quelle donnée confirme l'état et quel autre sous-système dépend du résultat. La cartographie de « Point de départ à 30 habitants » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour point de départ à 30 habitants, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Point de départ à 30 habitants », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Point de départ à 30 habitants », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Point de départ à 30 habitants », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Point de départ à 30 habitants » 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 « Point de départ à 30 habitants », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Point de départ à 30 habitants » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel.

Pour « Point de départ à 30 habitants », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Point de départ à 30 habitants », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Point de départ à 30 habitants » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie.

Pour « Point de départ à 30 habitants », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Point de départ à 30 habitants », 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. Trajectoire démographique

Les arrivées sont regroupées en vagues. Chaque vague doit être précédée d'un jalon de capacité sur l'habitat, l'énergie, l'eau, la nourriture, les soins et le temps humain. Une place libre dans un dortoir ne prouve pas que la colonie peut absorber un habitant de plus. Pour « Trajectoire démographique », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Trajectoire démographique » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

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

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

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

3. Énergie à l'échelle 100

Le réseau devient multi-source et multi-usage. Les pointes industrielles, les charges vitales et le stockage sont gérés par priorités. Le dossier mesure la réserve après perte de la plus grande source crédible. Pour « Énergie à l'échelle 100 », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Énergie à l'échelle 100 » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour énergie à l'échelle 100, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Énergie à l'échelle 100 », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Énergie à l'échelle 100 », un nombre sans unité ou horizon temporel est incomplet. Pour « Énergie à l'échelle 100 », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Énergie à l'échelle 100 » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Énergie à l'échelle 100 », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Énergie à l'échelle 100 », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Énergie à l'échelle 100 » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel.

Pour « Énergie à l'échelle 100 », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Énergie à l'échelle 100 », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Énergie à l'échelle 100 » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie.

Pour « Énergie à l'échelle 100 », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Énergie à l'échelle 100 », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Énergie à l'échelle 100 » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation.

4. Thermique comme limite de croissance

Plus d'énergie utilisée signifie plus de chaleur à évacuer. Les radiateurs, boucles et échangeurs deviennent une infrastructure à part entière. Une extension peut être retardée parce que la capacité thermique est insuffisante même si la production électrique paraît abondante. Pour « Thermique comme limite de croissance », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Thermique comme limite de croissance » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

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

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

Thermique comme limite de croissance » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie.

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

5. Eau et assainissement urbain

Les boucles ne sont plus seulement celles d'un habitat mais d'un petit réseau. On sépare zones, stockages, lignes de traitement et capacités d'isolement. Une contamination locale ne doit pas condamner toute la réserve. Pour « Eau et assainissement urbain », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Eau et assainissement urbain » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

Le jalon « Eau et assainissement urbain » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Eau et assainissement urbain », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Eau et assainissement urbain », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Eau et assainissement urbain » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 5 — « Eau et assainissement urbain ». Eau et assainissement urbain »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

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

stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 5 — « Eau et assainissement urbain ». Eau et assainissement urbain »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Eau et assainissement urbain », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Eau et assainissement urbain », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Eau et assainissement urbain » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 5 — « Eau et assainissement urbain ». Eau et assainissement urbain »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

6. Nourriture et stocks

La production locale réduit certains imports mais ajoute énergie, eau, nutriments, main-d'œuvre et risque biologique. Le plan suit calories, diversité, pertes, stocks de sécurité et capacité de cuisine et de stockage. Pour « Nourriture et stocks », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Nourriture et stocks » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

Le jalon « Nourriture et stocks » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Nourriture et stocks », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Nourriture et stocks », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Nourriture et stocks » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 6 — « Nourriture et stocks ». Nourriture et stocks »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Nourriture et stocks », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Nourriture et stocks », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Nourriture et stocks » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 6 — « Nourriture et stocks ». Nourriture et stocks »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Nourriture et stocks », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Nourriture et stocks », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Nourriture et stocks » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 6 — « Nourriture et stocks ». Nourriture et stocks »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

7. Habitat, urbanisme et refuge

Le zonage sépare vie, industrie, stockage dangereux, science, mobilité et refuges. Les distances commencent à coûter du temps et de l'énergie. Le plan de croissance réserve des corridors et des interfaces avant que le terrain ne soit saturé. Pour « Habitat, urbanisme et refuge », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Habitat, urbanisme et refuge » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

Le jalon « Habitat, urbanisme et refuge » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Habitat, urbanisme et refuge », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Habitat, urbanisme et refuge », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé «

Habitat, urbanisme et refuge » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Habitat, urbanisme et refuge ». Habitat, urbanisme et refuge »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Habitat, urbanisme et refuge », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Habitat, urbanisme et refuge », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Habitat, urbanisme et refuge » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Habitat, urbanisme et refuge ». Habitat, urbanisme et refuge »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Habitat, urbanisme et refuge », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Habitat, urbanisme et refuge », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Habitat, urbanisme et refuge » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 7 — « Habitat, urbanisme et refuge ». Habitat, urbanisme et refuge »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

8. Industrie et qualification

À 100 habitants, la question n'est plus seulement de fabriquer mais de garantir répétabilité, métrologie, matériau, procédure et traçabilité. Une pièce locale non qualifiée peut être utile pour un meuble et inadmissible pour une fonction vitale. Pour « Industrie et qualification », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Industrie et qualification » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

Pour industrie et qualification, le corrigé impose un tableau séparant besoin, capacité, marge et unité. Pour « Industrie et qualification », retranchez de la capacité nominale indisponibilités, réserves et contraintes de simultanéité. Dans « Industrie et qualification », un nombre sans unité

ou horizon temporel est incomplet. Pour « Industrie et qualification », une estimation à un chiffre significatif précède le calcul précis.

Le jalon « Industrie et qualification » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Industrie et qualification », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Industrie et qualification », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Industrie et qualification » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Industrie et qualification ». Industrie et qualification »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Industrie et qualification », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Industrie et qualification », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Industrie et qualification » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Industrie et qualification ». Industrie et qualification »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Industrie et qualification », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Industrie et qualification », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Industrie et qualification » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 8 — « Industrie et qualification ». Industrie et qualification »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

9. Santé et spécialisation

Le nombre de rôles augmente mais la colonie reste vulnérable aux compétences rares. Le dossier définit redondance de compétences, formation croisée, capacité de diagnostic et charge de garde sans supposer un hôpital terrestre complet. Pour « Santé et spécialisation », dressez

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

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

Le jalon « Santé et spécialisation » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Santé et spécialisation », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Santé et spécialisation », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Santé et spécialisation » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Santé et spécialisation ». Santé et spécialisation »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Santé et spécialisation », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Santé et spécialisation », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Santé et spécialisation » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Santé et spécialisation ». Santé et spécialisation »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Santé et spécialisation », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Santé et spécialisation », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Santé et spécialisation » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 9 — « Santé et spécialisation ». Santé et spécialisation »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

10. Gouvernance et institutions

La croissance crée des conflits de ressources, des règles plus nombreuses et la nécessité de déléguer. Les processus d'urgence, d'appel, de journalisation et de revue sont dimensionnés pour une communauté qui ne peut plus décider de tout en assemblée permanente. Pour « Gouvernance et institutions », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Gouvernance et institutions » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

Le jalon « Gouvernance et institutions » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Gouvernance et institutions », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Gouvernance et institutions », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Gouvernance et institutions » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Gouvernance et institutions ». Gouvernance et institutions »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Gouvernance et institutions », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Gouvernance et institutions », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Gouvernance et institutions » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Gouvernance et institutions ». Gouvernance et institutions »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Gouvernance et institutions », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Gouvernance et institutions », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé

« Gouvernance et institutions » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 10 — « Gouvernance et institutions ». Gouvernance et institutions »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

11. Dépendance Terre

L'autonomie est mesurée par fonction, pas par slogan. La colonie peut produire son eau et rester dépendante d'un composant électronique ou d'un médicament. La matrice de dépendance distingue masse importée et criticité importée. Pour « Dépendance Terre », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Dépendance Terre » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

Le jalon « Dépendance Terre » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Dépendance Terre », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Dépendance Terre », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Dépendance Terre » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 11 — « Dépendance Terre ». Dépendance Terre »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Dépendance Terre », retirez une capacité utile et recalculez l'horizon de décision. Dans « Dépendance Terre », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Dépendance Terre » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 11 — « Dépendance Terre ». Dépendance Terre »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Dépendance Terre », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Dépendance Terre », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Dépendance Terre » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 11 — « Dépendance Terre ». Dépendance Terre »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

12. Deux trajectoires de croissance

La variante prudente construit les marges avant les arrivées; la variante accélérée accepte davantage de dette de capacité. La correction compare non seulement vitesse de croissance mais réversibilité, stock, charge humaine et sensibilité aux retards logistiques. Pour « Deux trajectoires de croissance », dressez d'abord les interfaces: ressources, commandes, données et dépendances. La cartographie de « Deux trajectoires de croissance » sert à révéler les dépendances et chemins de propagation de panne.

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

Le jalon « Deux trajectoires de croissance » exige une preuve annoncée: mesure, test, inventaire, inspection ou démonstration. Pour « Deux trajectoires de croissance », une télémétrie unique ne suffit pas si un biais commun est plausible. Pour « Deux trajectoires de croissance », cherchez une confirmation indépendante ou une cohérence physique avec une autre grandeur. Le corrigé « Deux trajectoires de croissance » précise ce qui serait observé si l'état supposé était réel. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 12 — « Deux trajectoires de croissance ». Deux trajectoires de croissance »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Deux trajectoires de croissance », retirez une capacité utile et recalculez l’horizon de décision. Dans « Deux trajectoires de croissance », préservez fonctions vitales et options réversibles plutôt que le plan initial à tout prix. Le mode dégradé de « Deux trajectoires de croissance » chiffre charges supprimées, stocks, durée, réparation et seuil de changement de stratégie. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 12 — « Deux trajectoires de croissance ». Deux trajectoires de croissance »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Pour « Deux trajectoires de croissance », refusez une optimisation locale dont les effets sur les autres fonctions ne sont pas chiffrés. Dans « Deux trajectoires de croissance », une économie de masse doit être comparée à ses coûts de maintenance, secours, énergie et thermique. Le corrigé « Deux trajectoires de croissance » demande donc un bilan des conséquences croisées avant d'accepter une optimisation. Dans le module 58, ce point doit être relu depuis la section « 12 — « Deux trajectoires de croissance ». Deux trajectoires de croissance »: la preuve demandée doit rester cohérente avec l'objectif « Projet intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 personnes » et avec les marges réellement disponibles dans ce scénario.

Tableau maître des budgets et preuves

Budget	Question à fermer	Preuve attendue	Mode dégradé à étudier
Population	Quel besoin de population 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.	Recalculer population après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Habitat	Quel besoin de habitat 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 habitat.	Recalculer habitat après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Énergie	Quel besoin de énergie 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.	Recalculer énergie après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Thermique	Quel besoin de 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 thermique.	Recalculer thermique après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.

Budget	Question à fermer	Preuve attendue	Mode dégradé à étudier
Eau	Quel besoin de eau 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.	Recalculer eau après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Assainissement	Quel besoin de 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 assainissement.	Recalculer assainissement après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Nourriture	Quel besoin de nourriture 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 nourriture.	Recalculer nourriture après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.
Industrie	Quel besoin de industrie 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 industrie.	Recalculer industrie 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.
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.
Temps humain	Quel besoin de 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 temps humain.	Recalculer temps humain 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.
Stocks stratégiques	Quel besoin de stocks stratégiques 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 stocks stratégiques.	Recalculer stocks stratégiques après retrait d'une capacité et annoncer le temps avant franchissement du seuil.

Budget	Question à fermer	Preuve attendue	Mode dégradé à étudier
Gouvernance	Quel besoin de gouvernance 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 gouvernance.	Recalculer gouvernance 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 58 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 intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 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 58. 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 intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 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 58, 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 intégrateur: faire passer une colonie martienne de 30 à 100 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.

Maturation de la colonie: passer de la capacité technique à une organisation durable

À cent habitants, la difficulté n'est plus seulement de dimensionner des machines. La colonie doit être capable de détecter qu'une règle, une compétence ou une chaîne logistique devient un goulet d'étranglement. Le dossier de référence ajoute donc un registre de maturité pour chaque fonction: dépendance à une personne unique, dépendance à une pièce importée, capacité de mesure locale, capacité de formation d'un remplaçant et temps nécessaire pour rétablir la fonction après incident. Une autonomie crédible n'est pas l'absence d'importations; c'est la connaissance précise de ce qui reste importé, du temps que l'on peut tenir et des options disponibles si cette importation est retardée.

La croissance doit aussi préserver la réversibilité. Une extension rapide peut utiliser toute la réserve électrique, occuper le dernier volume de refuge ou saturer l'atelier. Le corrigé demande donc un jalon avant chaque vague d'arrivée: vérifier la réserve après perte de la plus grande source crédible, l'autonomie eau/nourriture, la capacité de soins, le temps humain de maintenance et la capacité de mettre un nouveau quartier en sécurité. Si un indicateur est rouge, l'arrivée suivante est reportée, même si les places physiques existent. Ce principe transforme la démographie en décision d'ingénierie et empêche de confondre population désirée et population soutenable.

Enfin, la colonie de cent personnes doit apprendre à se corriger. Chaque incident alimente une revue de conception: quelles hypothèses étaient fausses, quel signal précurseur n'a pas été lu, quelle barrière a réellement limité la propagation, quel stock a été consommé et quelle modification réduit le risque de récurrence? Le résultat est intégré au plan de maintenance, aux formations et au prochain budget cargo. Le succès du capstone n'est donc pas une ville martienne parfaite sur le papier; c'est un système capable de mesurer ses écarts, de conserver des marges, de ralentir sa croissance lorsqu'il le faut et d'améliorer sa propre compréhension après chaque campagne.

Mini-projet intégrateur et dossier de référence

Comparer deux trajectoires sur 1000 sols: croissance prudente et accélérée. Fermer énergie, eau, nourriture, habitat, industrie, santé, mobilité, gouvernance, maintenance, dépendance Terre, puis injecter des événements et expliquer pourquoi une trajectoire reste

réversible ou devient fragile.

« Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée » — hypothèses, budget, marges.

« Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée » — interfaces et causes communes.

« Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée » — calculs, limites, critères.

Verification de maîtrise du module 58

- « Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée » — unités et ordre de grandeur.
- « Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée » — cas dégradé.
- « Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée » — marge décisionnelle.
- « Exercice 12: Croissance prudente contre croissance accélérée » — mesure de contrôle.

Repères du passage: état

Repères du passage: disponibilité · substitution

Repères du passage: ordre de grandeur · validation

Repères du passage: Mode dégradé

Repères du passage: robustesse

Repères du passage: flux

Repères du passage: autonomie

Repères du passage: zonage

Repères du passage: sous-système

Repères du passage: télémétrie

Repères du passage: optimisation

Repères du passage: vitesse

QUARTIERS

repos · travail · refuge

TRONCS REDONDANTS

énergie · eau · données

SERVICES COMMUNS

santé · logistique ·
industrie

GOUVERNANCE

responsabilités ·
priorités · reprise

Composite pédagogique : à 100 habitants, la colonie devient un réseau de quartiers et de services avec troncs redondants et responsabilités de maintenance explicites.

Projet 100 personnes : changer de topologie, pas multiplier mécaniquement une petite base

À cent habitants apparaissent districts, réseaux structurants, équipes spécialisées, santé publique, quarts, logistique interne, gouvernance plus formelle et dette de maintenance. Certaines fonctions gagnent en efficacité d'échelle, d'autres deviennent plus vulnérables parce qu'un même tronc ou service partagé affecte davantage de personnes.

La capacité de population doit être vérifiée par ressource

La population autorisable est limitée par la ressource ou fonction dont la capacité vérifiée par personne est la plus faible. Une moyenne entre eau, énergie, refuges et santé n'a aucun sens physique.

Les réseaux de distribution deviennent des systèmes de premier rang

Eau, puissance, données, chaleur et logistique doivent permettre d'isoler un district sans arrêter toute la colonie. Les interconnexions offrent des chemins alternatifs mais peuvent aussi propager un défaut ; leur reconfiguration doit être mesurée et contrôlée.

La spécialisation crée de nouvelles dépendances humaines

Une population plus grande permet des compétences profondes mais peut transformer un expert unique en point de défaillance. Chaque discipline critique a besoin d'une capacité principale, d'une relève, de procédures et d'un suivi de qualification.

La santé publique apparaît avant l'hôpital

Surveillance respiratoire et digestive, qualité de l'eau et des aliments, isolement, ventilation et continuité du travail deviennent des variables de population. L'architecture médicale s'étend donc de la clinique individuelle à une fonction de santé collective.

L'industrie locale doit fermer les boucles les plus rentables en autonomie

Tout fabriquer localement peut coûter davantage d'énergie, d'outillage et de compétences que l'import. On priorise les productions par criticité, masse logistique, durée de stockage, faisabilité et conséquence d'une rupture.

Population supportée par la contrainte la plus faible

$$N_{\text{supportée}} = \text{floor}[\min_j(C_j, \text{vérifiée} / q_j, \text{personne})]$$

Pour chaque ressource ou fonction j , $C_j, \text{vérifiée}$ est la capacité démontrée et $q_j, \text{personne}$ le besoin de conception par personne. La fonction floor évite de compter une fraction de personne comme capacité disponible.

► Exercice final — refuser une croissance pourtant soutenue par les moyennes

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA — Moon to Mars Architecture Components](#) 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-STD-3001 Volume 2](#)