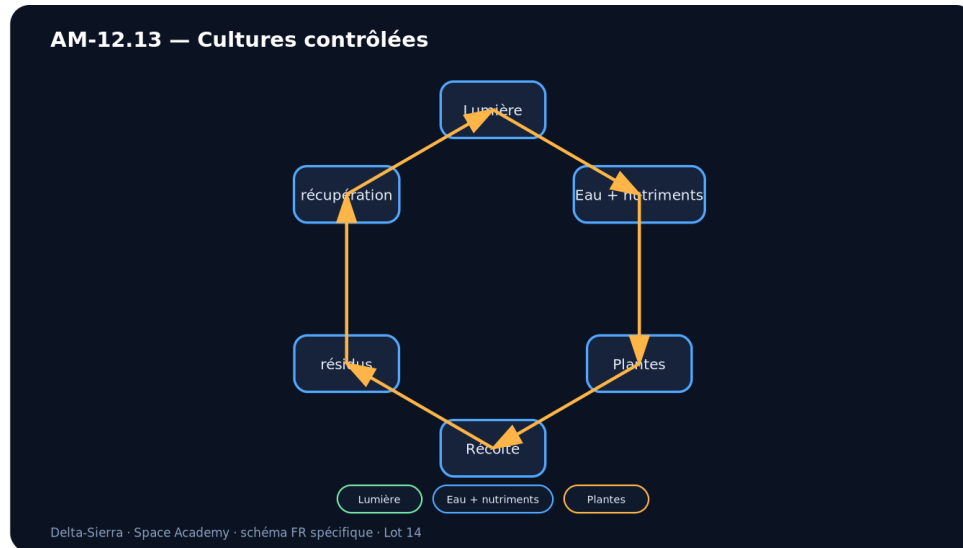


# Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique

## Question directrice

Concret → flux → capteurs → calcul → panne → refuge.



## 1 — Le phénomène réel

Produire des plantes implique lumière, surface, volume racinaire, eau, nutriments, CO<sub>2</sub>, température, contrôle sanitaire, pollinisation ou reproduction et travail humain. Les plantes peuvent fournir nourriture fraîche et bénéfiques psychologiques, et participer à des échanges d'eau et de gaz, mais une serre n'est pas une machine magique de fermeture totale. Il faut qualifier ce qu'elle fournit : masse fraîche, calories, protéines, micronutriments, oxygène ou simple variété alimentaire.

La question directrice de ce cours est : Que faut-il calculer avant d'affirmer qu'une serre "nourrira la base" ? Le raisonnement commence par la fonction physique ou opérationnelle avant d'introduire la relation mathématique. Le but n'est pas d'accumuler des mots, mais de savoir quelle grandeur change, pourquoi elle change et ce qui devient dangereux si elle sort de son domaine. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », ici, la première question est donc de reconnaître le mécanisme propre à ce sujet avant de chercher une formule ou une valeur de référence.

## 2 — Vocabulaire et frontière du problème

Dans « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », il faut distinguer le phénomène étudié, la mesure disponible, la commande éventuelle, la marge et le critère de réussite. La frontière du calcul précise ce qui est inclus et ce qui ne l'est pas ; sans cette frontière, un pourcentage, une masse ou un temps peut être exact mathématiquement mais faux comme conclusion d'ingénierie. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », la frontière retenue précise aussi ce qui serait compté deux fois ou, au contraire, oublié dans un bilan de mission.

apports énergétiques, protéines, micronutriments, masse stockée, rendement des cultures, paramètres médicaux et temps de soin

une carence, une perte de récolte, une pharmacie dégradée, un diagnostic incertain ou une ressource médicale indisponible

essais de stockage, croissance végétale contrôlée, simulations médicales et scénarios de rationnement

### Équation - preuve - décision

$$E = P \times t ; \text{rendement\_surface} = \text{production}/A$$

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », on teste notamment une carence, une perte de récolte, une pharmacie dégradée, un diagnostic incertain ou une ressource médicale indisponible. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

## Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique

### 3 — Schéma propre au cours

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique ». On y suit la chaîne cause → grandeur mesurée → décision ou réponse physique → limite. Cette représentation évite précisément de réutiliser le même dessin pour un bouclier thermique, un radar, un filtre à CO<sub>2</sub> ou une procédure d'équipage. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », la lecture graphique doit permettre de retrouver les entrées, les sorties, la grandeur mesurée et la conséquence d'une dérive sans lire le reste du module.

### 4 — Relation mathématique et lecture des symboles

Lecture orale : l'énergie électrique E égale puissance P multipliée par durée ; un rendement surfacique simple égale la production divisée par la surface cultivée.

Avant toute substitution numérique, on écrit les unités de chaque terme, on indique si la relation est une loi physique, une approximation ou un indicateur de projet, puis on vérifie l'homogénéité dimensionnelle. Cette discipline est particulièrement importante ici car « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », le choix de cette relation est justifié par le phénomène étudié ; une autre grandeur dominante conduirait à une autre équation ou à un autre modèle.

### 5 — Calculs détaillés et interprétation

$20 \text{ kW} \times 16 \text{ h} = 320 \text{ kWh/j}$  pour ce scénario

$120 \text{ kg} / 60 \text{ m}^2 = 2 \text{ kg/m}^2$  sur la période considérée

$50 \text{ kg/j} \times 90 \% = 45 \text{ kg/j}$  récupérés si la frontière de capture atteint ce taux dans cet exemple

1. 1. Éclairage  $20 \text{ kW} \times 16 \text{ h} = 320 \text{ kWh/j}$  pour ce scénario Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique ».

2. 2. Production surfacique  $120 \text{ kg} / 60 \text{ m}^2 = 2 \text{ kg/m}^2$  sur la période considérée Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique ».

3. 3. Eau transpirée récupérée  $50 \text{ kg/j} \times 90 \% = 45 \text{ kg/j}$  récupérés si la frontière de capture atteint ce taux dans cet exemple Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique ».

#### Tableau opérationnel

**Phénomènes / sections:** 3 — Schéma propre au cours ; 4 — Relation mathématique et lecture des symboles ; 5 — Calculs détaillés et interprétation

**Relation à relire:**  $E = P \times t$  ;  $\text{rendement\_surface} = \text{production}/A$

**Décision attendue:** mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

#### Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 3 — Schéma propre au cours ; 4 — Relation mathématique et lecture des symboles ; 5 — Calculs détaillés et interprétation. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

## Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique

### 6 — Ce que la formule ne contient pas

La relation «  $E = P \times t$  ; rendement\_surface = production/A » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique ». Elle ne dit pas automatiquement si le capteur est valide, si la structure vieillit, si une ressource est accessible, si une commande arrive à temps ou si une panne secondaire retire la marge. L'exemple  $20 \text{ kW} \times 16 \text{ h} = 320 \text{ kWh/j}$  pour ce scénario doit donc rester un calcul local et non une architecture complète.

Pour rendre le modèle exploitable, on ajoute explicitement les paramètres qui dominent ce thème : apports énergétiques, protéines, micronutriments, masse stockée, rendement des cultures, paramètres médicaux et temps de soin. On peut alors demander quelle variation modifie réellement le résultat, laquelle reste négligeable et laquelle oblige à changer d'architecture. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », cette limite de modèle indique précisément ce qu'un calcul correct ne permet pas encore d'affirmer sur le système réel.

### 7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données

Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », l'observabilité repose sur apports énergétiques, protéines, micronutriments, masse stockée, rendement des cultures, paramètres médicaux et temps de soin. Chaque donnée reçoit une unité, une fréquence d'acquisition, une incertitude, un horodatage et un domaine de validité. Une valeur qui arrive sans contexte peut être plus dangereuse qu'une absence de mesure parce qu'elle donne une confiance injustifiée.

La cohérence est vérifiée avec au moins une information indépendante lorsque la fonction est critique. Une tendance, un bilan physique ou un second principe de mesure permet de distinguer une vraie évolution du système d'un capteur qui dérive. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », l'instrumentation retenue doit permettre de distinguer une vraie évolution physique d'une dérive de capteur ou d'une mauvaise estimation d'état.

### 8 — Pannes propres au phénomène et récupération

La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », on teste notamment une carence, une perte de récolte, une pharmacie dégradée, un diagnostic incertain ou une ressource médicale indisponible. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

Le mode dégradé doit être défini avant la panne : fonction minimale à conserver, durée admissible, stock consommé, action équipage, condition d'abandon et critère de retour au nominal. Cette séquence est

#### Tableau opérationnel

|                               |                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Phénomènes / sections:</b> | 6 — Ce que la formule ne contient pas ; 7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération |
| <b>Relation à relire:</b>     | $E = P \times t$ ; rendement_surface = production/A                                                                                                 |
| <b>Décision attendue:</b>     | mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté                                                                                  |

#### Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 6 — Ce que la formule ne contient pas ; 7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

## Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique

### 9 — Cas NASA / cas de référence

Le cas de référence est choisi dans le corpus ECLSS, NASA-STD-3001 ou les analogues humains selon le thème. L'objectif n'est pas de copier l'ISS sur Mars, mais d'identifier ce qui a été démontré, ce qui dépend de l'environnement et ce qui doit encore être qualifié pour une mission sans ravitaillement rapide.

Ce cas n'est utilisé que dans la limite de ce qu'il démontre. Une mesure de vol, un standard humain, un essai de composant et une étude d'architecture n'ont pas le même niveau de preuve ; le texte indique donc toujours ce qui est observé, calculé, simulé ou encore prospectif. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », le cas NASA cité sert de preuve ciblée pour ce phénomène ; il n'est jamais transformé en architecture martienne universelle.

### 10 — Compromis d'architecture

Une bonne solution pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique » ne maximise pas un seul indicateur. Elle compare performance nominale, masse, énergie, simplicité, maintenance, temps équipage, dépendances communes et capacité de récupération. L'option qui améliore 120 kg / 60 m<sup>2</sup> = 2 kg/m<sup>2</sup> sur la période considérée peut être refusée si elle rend la détection de panne ou la réparation beaucoup plus difficile.

Le compromis est consigné avec ses hypothèses. Si une donnée d'environnement, une masse ou une cadence de mission change, on sait ainsi quelles conclusions doivent être recalculées au lieu de conserver silencieusement un choix devenu obsolète. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », le compromis est donc évalué avec les interfaces réellement touchées par ce thème, plutôt qu'avec une liste générique de qualités souhaitables.

### 11 — Démonstration, essais et critères de réussite

La stratégie de preuve adaptée à « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique » combine essais de stockage, croissance végétale contrôlée, simulations médicales et scénarios de rationnement. Chaque essai indique le matériel exact, le logiciel, la configuration, l'environnement, les tolérances et le critère de réussite. Une démonstration réussie hors domaine ne remplace pas une qualification dans le domaine de mission.

La preuve grandit par étapes : relation analytique, simulation, composant, sous-système, système intégré, durée et panne. Cette hiérarchie évite de présenter un seul essai spectaculaire comme validation de toute la mission. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », la démonstration doit reproduire les contraintes qui rendent ce phénomène difficile ; un essai spectaculaire mais hors domaine n'est pas suffisant.

#### Tableau opérationnel

|                               |                                                                                                                      |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Phénomènes / sections:</b> | 9 — Cas NASA / cas de référence ; 10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite |
| <b>Relation à relire:</b>     | $E = P \times t$ ; rendement_surface = production/A                                                                  |
| <b>Décision attendue:</b>     | mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté                                                   |

#### Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 9 — Cas NASA / cas de référence ; 10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

**Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique****12 — Exercice de décision**

Situation : reprenez « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique » en augmentant de 20 % la grandeur la plus pénalisante du premier exemple, tout en déclarant indisponible un moyen de mesure ou de secours.

Situation : reprenez « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique » en augmentant de 20 % la grandeur la plus pénalisante du premier exemple, tout en déclarant indisponible un moyen de mesure ou de secours. Réponse attendue : recalculer la relation, identifier la marge restante, vérifier si l'observabilité suffit encore, puis décider si le mode dégradé reste acceptable. Une simple multiplication par 1,2 ne suffit pas si la variation change aussi les interfaces ou les limites.

**13 — À retenir sans généraliser abusivement****14 — Sources primaires spécifiques au sujet**

Ces références documentent directement le phénomène, la technologie ou la contrainte humaine traitée dans ce cours. Elles ne définissent pas à elles seules une architecture martienne officielle. Pour « Cultures sur Mars : serre, hydroponie, lumière, eau et boucle biologique », la bibliographie est volontairement ciblée sur le sujet de cette page afin que le lecteur puisse remonter jusqu'au document primaire pertinent.

**Sources primaires spécifiques**

NASA NTRS — Key Gaps for Enabling Plant Growth in Future Missions - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170009945>

NASA NTRS — Life Support Baseline Values and Assumptions Document - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210024855>

NASA — Spaceflight Human-System Standard, Volume 2 - <https://www.nasa.gov/reference/nasa-std-3001v2/>

**Tableau opérationnel**

|                               |                                                                                                                       |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Phénomènes / sections:</b> | 12 — Exercice de décision ; 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet |
| <b>Relation à relire:</b>     | $E = P \times t$ ; rendement_surface = production/A                                                                   |
| <b>Décision attendue:</b>     | mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêt                                                     |

**Contrôle avant de continuer**

Expliquez sans relire : 12 — Exercice de décision ; 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.