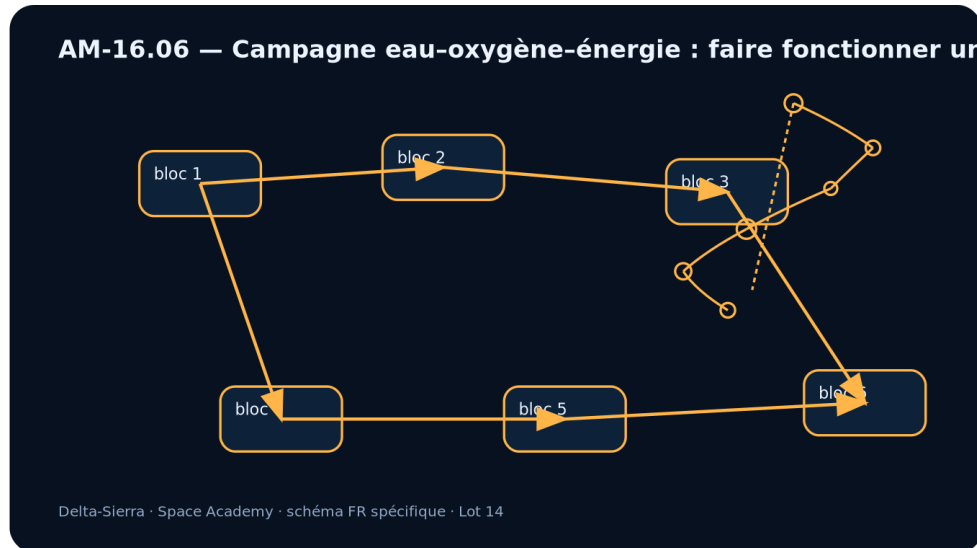


Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner un mini-industrie

Question directrice

Concret → interfaces → mesure → calcul → panne → récupération.



1 — Brief de mission

Relier extraction de glace, purification, électrolyse, stockage et énergie avec maintenance.

Cette mission finale oblige à utiliser plusieurs modules à la fois. Une réponse n'est considérée complète que si elle ferme les budgets physiques, décrit les capteurs et les actions, conserve une marge, prévoit une panne crédible et explique ce qui est demandé à l'équipage. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

2 — Carte du système

On commence par dessiner les flux de masse, énergie, information et autorité. Une flèche sans unité ou sans responsable est considérée incomplète. Cette carte sert ensuite à repérer les dépendances communes et les interfaces qui peuvent propager une panne. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

La mini-industrie eau-oxygène-énergie est une chaîne de procédé. L'extraction ne vaut rien si la purification limite le débit ; la purification ne sert pas si le stockage est saturé ; l'électrolyse ne peut pas fonctionner si l'énergie est indisponible. La carte doit donc représenter les stocks intermédiaires et les capacités maximales de chaque étape. Le débit global est fixé par le goulet d'étranglement, pas par la machine la plus rapide prise isolément.

Équation - preuve - décision

$$m_{\text{produit}} = \text{débit} \times \text{temps} \times \text{rendement}$$

Panne à tester : Vérifiez air, eau, thermique, radiation, nourriture, médecine et charge de travail uniquement lorsqu'ils sont pertinents pour cette mission. L'objectif est d'éviter le faux « tout va bien » d'un calcul technique qui oublierait le temps de sommeil, la capacité à enfiler un scaphandre ou la nécessité d'un second équipier pour une opération critique. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-

Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie**3 — Données et hypothèses**

Les nombres fournis sont des données de scénario pédagogique. L'élève doit les recopier avec leurs unités, ajouter les hypothèses manquantes et marquer séparément ce qui vient d'une source NASA. Toute valeur qui change le verdict doit faire l'objet d'une analyse de sensibilité. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

Les hypothèses de qualité de la glace sont essentielles. Un débit brut de 120 kg/j ne devient pas automatiquement 120 kg/j d'eau utilisable. L'élève distingue masse extraite, fraction récupérable, pertes de purification et qualité requise selon l'usage. L'eau destinée à l'électrolyse, à la boisson ou au nettoyage peut imposer des contrôles différents. Les rejets et concentrats doivent aussi apparaître dans le bilan afin de ne pas créer une disparition artificielle de masse.

4 — Relation directrice

La formule n'est qu'un point d'entrée. Elle doit être reliée à un budget, à une mesure disponible et à un seuil de décision. Si une unité ne se simplifie pas correctement, le calcul s'arrête avant d'utiliser une calculatrice. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

5 — Calculs de départ

Eau nette $120 \text{ kg/j} \times 0,85 = 102 \text{ kg/j}$ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Oxygène scénario $20 \text{ kg eau} \times 0,888 \approx 17,8 \text{ kg O}_2$ théorique avant pertes Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Énergie $45 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 360 \text{ kWh}$ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

6 — Budget masse, énergie et temps

Construisez trois tableaux séparés. Le budget de masse distingue structure, consommables, rechanges et marge. Le budget énergétique distingue puissance instantanée et énergie accumulée. Le budget temps inclut opérations, maintenance, repos et délais de communication. Une marge positive dans un tableau ne compense pas automatiquement un déficit dans un autre. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections: 3 — Données et hypothèses ; 4 — Relation directrice ; 5 — Calculs de départ

Relation à relire: $m_{\text{produit}} = \text{débit} \times \text{temps} \times \text{rendement}$

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

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 3 — Données et hypothèses ; 4 — Relation directrice ; 5 — Calculs de départ. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie

Le budget énergétique est construit par plages horaires. Une charge de 45 kW pendant huit heures représente 360 kWh, mais le système peut préférer produire à un autre moment si la puissance solaire, le stockage ou les autres besoins de la base changent. L'élève propose un ordonnancement qui protège les fonctions vitales, évite les pointes simultanées et utilise les réservoirs d'eau ou d'oxygène comme tampons opérationnels.

7 — Navigation, communications et connaissance d'état

Indiquez quelles variables doivent être connues localement, lesquelles peuvent être reconstruites plus tard par la Terre et quelle précision est nécessaire pour chaque décision. Le délai radio impose que la mise en sécurité et le diagnostic initial puissent être réalisés sans attendre une réponse terrestre. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

La qualité du produit est une grandeur d'état au même titre que le débit. Conductivité, contamination, pression, température ou pureté doivent être mesurées à des points définis de la chaîne. L'élève indique quelles mesures autorisent le transfert vers un réservoir propre, lesquelles déclenchent une recirculation et lesquelles imposent l'arrêt. Cela évite qu'une panne de capteur ou un lot contaminé propage le problème dans toute l'installation.

8 — Survie et facteurs humains

Vérifiez air, eau, thermique, radiation, nourriture, médecine et charge de travail uniquement lorsqu'ils sont pertinents pour cette mission. L'objectif est d'éviter le faux « tout va bien » d'un calcul technique qui oublierait le temps de sommeil, la capacité à enfiler un scaphandre ou la nécessité d'un second équipier pour une opération critique. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

Les opérations de maintenance doivent être prévues dans la cadence industrielle. Filtres, joints, pompes et surfaces exposées aux poussières n'ont pas une disponibilité infinie. Le plan réserve donc des heures, des rechanges et un volume de stockage permettant d'arrêter une ligne sans supprimer immédiatement la ressource vitale. L'autonomie consiste autant à savoir interrompre proprement une production qu'à atteindre un débit nominal élevé.

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections: 7 — Navigation, communications et connaissance d'état ; 8 — Survie et facteurs humains

Relation à relire: $m_{\text{produit}} = \text{débit} \times \text{temps} \times \text{rendement}$

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

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 7 — Navigation, communications et connaissance d'état ; 8 — Survie et facteurs humains. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie

9 — Incident injecté propre à la mission

La glace extraite contient davantage d'impuretés que prévu et le débit de purification chute : la production d'oxygène et le stockage d'eau doivent être replanifiés avec l'énergie disponible. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

Pour AM-16.06, la réponse doit montrer quelles grandeurs de « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie » sont recalculées, quelles hypothèses cessent d'être valides et quelle action est réversible avant de consommer une réserve irréversible.

Lorsque la teneur en impuretés réduit le débit de purification, la première décision est de mesurer le nouveau goulet d'étranglement. L'élève peut réduire l'extraction, augmenter le temps de traitement, mobiliser une seconde chaîne ou utiliser le stock tampon. Chaque réponse doit préserver une marge d'eau et d'oxygène tout en respectant la puissance disponible. Le plan indique le seuil à partir duquel la production industrielle non vitale est arrêtée.

10 — Décision et justification

Terminez par une décision explicite : poursuivre, retarder, reconfigurer, abandonner une activité ou passer en mode refuge. Citez les trois grandeurs qui commandent cette décision et la marge restante. Une conclusion sans critère numérique ou opérationnel est considérée comme une opinion, pas comme une décision d'ingénierie. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

Le livrable final est un tableau de production sur plusieurs sols : matière entrante, eau conforme, oxygène produit, énergie consommée, stock de sécurité et heures de maintenance. Une colonne 'non expliqué' doit rester à zéro ou être justifiée. Cette discipline transforme une démonstration de procédé en véritable exploitation industrielle, où chaque kilogramme et chaque kilowattheure ont une destination vérifiable.

11 — Livrables attendus

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections: 9 — Incident injecté propre à la mission ; ; 10 — Décision et justification

Relation à relire: $m_{\text{produit}} = \text{débit} \times \text{temps} \times \text{rendement}$

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

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 9 — Incident injecté propre à la mission ; ; 10 — Décision et justification. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie

12 — Barème de validation

40 % : cohérence des calculs et unités ; 20 % : traitement des interfaces ; 15 % : marges et mode dégradé ; 15 % : facteurs humains et procédure ; 10 % : qualité des sources et séparation entre données, hypothèses et scénarios. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Campagne eau-oxygène-énergie : faire fonctionner une mini-industrie ».

13 — Sources de référence

Sources primaires spécifiques

NASA NTRS — Current NASA Plans for Mars In-Situ Resource Utilization - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20180002086>

NASA NTRS — Integration of ISRU into Lunar/Mars Exploration - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20100021362>

NASA NTRS — Advanced Exploration Systems Life Support Systems Project Overview - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210015025>

NASA-STD-8729.1A — Reliability and Maintainability Standard - <https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-87291>

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	12 — Barème de validation ; 13 — Sources de référence ; Sources primaires spécifiques
Relation à relire:	$m_{produit} = débit \times temps \times rendement$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêt

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 12 — Barème de validation ; 13 — Sources de référence ; Sources primaires spécifiques. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.