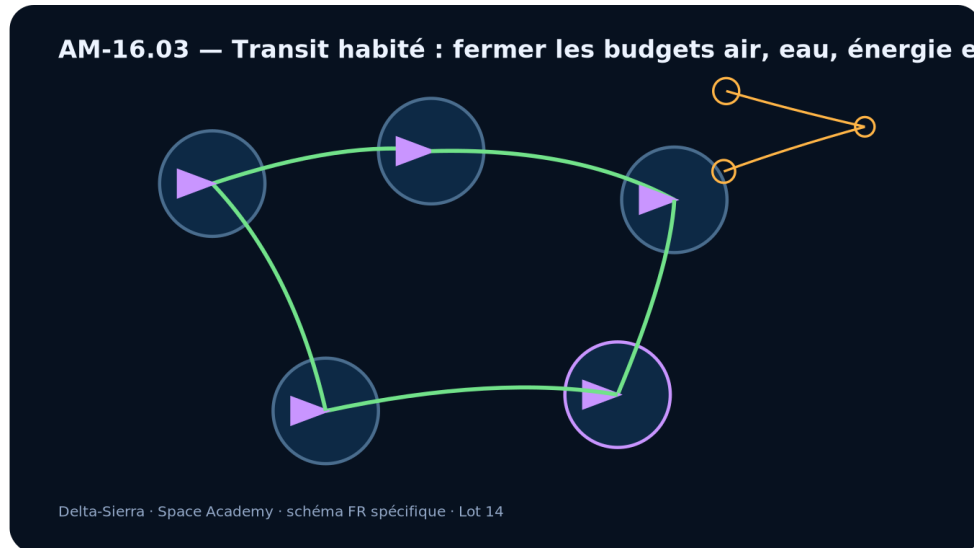


Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance

Question directrice

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



1 — Brief de mission

Vérifier que les boucles vitales tiennent la durée du transit avec pannes et 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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Pendant un transit habité, l'eau, l'énergie et la maintenance forment un système couplé. Une récupération d'eau dégradée augmente l'appoint à prélever dans les stocks ; une pompe intermittente augmente le temps de maintenance ; une intervention plus fréquente peut perturber le sommeil et la disponibilité de l'équipage. L'élève doit donc représenter ces effets croisés au lieu de traiter trois budgets indépendants. Le scénario est réussi si le mode dégradé reste tenable jusqu'à une réparation ou une redondance.

Équation - preuve - décision

$$\text{stock_net} = \text{besoin} \times \text{durée} \times (1 - \text{récupération})$$

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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance**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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Les données de scénario doivent être converties en tendances. Une consommation quotidienne ou une perte de récupération n'est utile que si elle permet d'estimer le temps avant franchissement d'un seuil. L'élève calcule plusieurs horizons : nominal, dégradé et cas pessimiste. Il distingue aussi le stock physiquement présent de la quantité réellement accessible, car une contamination, une vanne bloquée ou une poche isolée peut rendre une partie de la réserve inutilisable.

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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

5 — Calculs de départ

Perte eau scénario $24 \text{ L/j} \times 180 \text{ j} \times 0,02 = 86,4 \text{ L}$ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Énergie ECLSS $3,8 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 91,2 \text{ kWh/j}$ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Temps maintenance $2,5 \text{ h/sem} \times 26 \text{ sem} = 65 \text{ h}$ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

6 — Budget masse, énergie et temps**Tableau opérationnel**

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

Relation à relire: $\text{stock_net} = \text{besoin} \times \text{durée} \times (1 - \text{récupération})$

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.

Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance

Construisez trois tableaux séparés. Le budget de masse distingue structure, consommables, recharges 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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Le budget énergétique doit séparer la puissance nécessaire à un instant donné et l'énergie consommée sur une journée. Le calcul de 3,8 kW pendant 24 heures donne un besoin journalier, mais il ne dit pas si une pointe de puissance peut être fournie. L'élève doit donc identifier les équipements simultanés, les charges délestables et les fonctions qui ne peuvent pas être interrompues : ventilation, informatique critique, contrôle thermique ou traitement médical.

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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Le suivi d'état repose sur des mesures redondantes ou recoupables : débit, pression, humidité, conductivité, courant moteur, température et consommation de stock. Une pompe qui devient intermittente peut être détectée avant la panne totale si les tendances sont observées. Le cours demande de choisir quelles variables doivent déclencher une alarme, lesquelles servent au diagnostic et lesquelles sont seulement utiles à l'analyse terrestre après l'événement.

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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Tableau opérationnel

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

Relation à relire: $\text{stock_net} = \text{besoin} \times \text{durée} \times (1 - \text{récupération})$

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

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.

Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance

Le facteur humain est une ressource limitée. Les 65 heures de maintenance prévues dans un scénario ne peuvent pas être ajoutées aux journées de l'équipage sans vérifier les périodes de repos, les tâches scientifiques et les opérations critiques. L'élève construit un budget d'heures et définit un seuil à partir duquel une dégradation technique devient aussi un risque humain. Une solution qui maintient l'équipement au prix d'une fatigue chronique n'est pas une solution stable.

9 — Incident injecté propre à la mission

Au jour 95 du transit, la récupération d'eau baisse et une pompe devient intermittente : il faut recalculer le stock d'appoint, la maintenance et la durée admissible avant réparation. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Pour AM-16.03, la réponse doit montrer quelles grandeurs de « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance » sont recalculées, quelles hypothèses cessent d'être valides et quelle action est réversible avant de consommer une réserve irréversible.

Lorsque la récupération d'eau baisse au jour 95, la décision doit être prise avant que le stock atteigne un seuil critique. L'élève compare au moins trois réponses : augmenter l'appoint, réduire temporairement certains usages et réparer ou basculer vers une chaîne redondante. Chaque option a un coût différent en eau, énergie, temps équipage et risque. La décision retenue doit indiquer la marge restante et la condition qui imposerait un changement de stratégie.

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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

Tableau opérationnel

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

Relation à relire: $\text{stock_net} = \text{besoin} \times \text{durée} \times (1 - \text{récupération})$

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.

Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance

Le dossier final comporte une chronologie des 180 jours avec points de contrôle. À chaque point, l'élève inscrit stock d'eau, énergie disponible, maintenance accumulée et anomalies ouvertes. Cette chronologie permet de voir une dérive lente avant qu'elle devienne une urgence et montre pourquoi la survie interplanétaire dépend autant de l'observation et de la maintenance que des performances nominales du matériel.

11 — Livrables attendus

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 « Transit habité : fermer les budgets air, eau, énergie et maintenance ».

13 — Sources de référence

Sources primaires spécifiques

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

NASA — ISS Water Recovery Milestone - <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/nasa-achieves-water-recovery-milestone-on-international-space-station/>

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

NASA NTRS — Overview of Crew Operations for Transit to Mars - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20230012629>

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections: 11 — Livrables attendus ; 12 — Barème de validation ; 13 — Sources de référence

Relation à relire: $\text{stock_net} = \text{besoin} \times \text{durée} \times (1 - \text{récupération})$

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

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 11 — Livrables attendus ; 12 — Barème de validation ; 13 — Sources de référence. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.