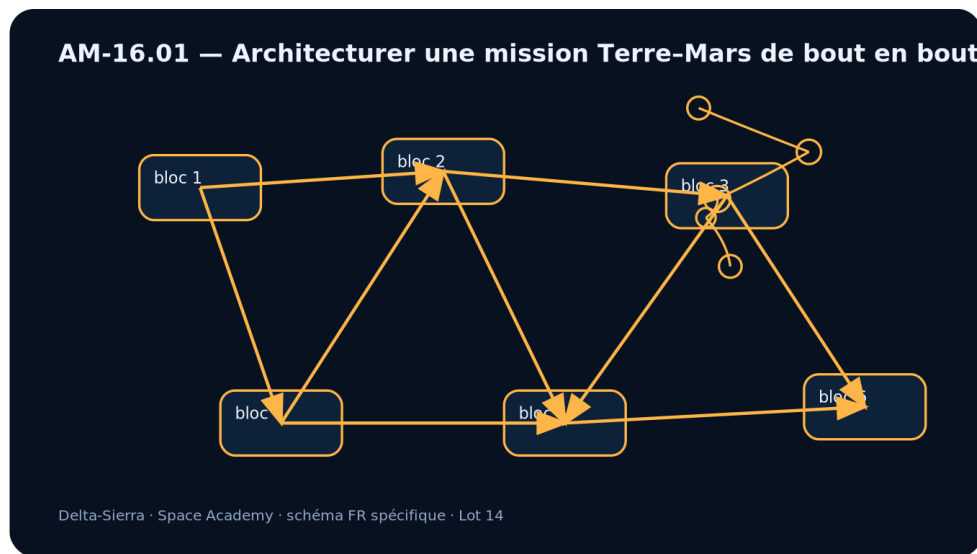


Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout

Question directrice

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



1 — Brief de mission

Construire la chaîne mission depuis la masse injectée au départ jusqu'aux réserves disponibles après l'atterrissage. 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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

La carte de mission doit montrer au minimum quatre frontières : segment de départ terrestre, transit interplanétaire, EDL martien et première phase de surface. Pour chacune, l'élève attribue une masse, une réserve, un propriétaire fonctionnel et un état de configuration. Le point difficile n'est pas d'additionner des tonnes, mais d'identifier les éléments qui traversent plusieurs frontières : protection radiologique, consommables de secours, logiciel, énergie de redémarrage et pièces de rechange. Une marge conservée au départ peut être consommée par une décision prise beaucoup plus tard.

Équation - preuve - décision

$$m_{\text{total}} = m_{\text{structure}} + m_{\text{ergols}} + m_{\text{charge}} + m_{\text{reserves}}$$

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

Les hypothèses doivent être hiérarchisées. Une masse structurelle estimée, une durée de transit, une consommation d'eau ou un rendement énergétique n'ont pas le même niveau de maturité. L'élève sépare donc données imposées, valeurs issues d'une source, choix d'architecture et marges de conception. Il réalise ensuite au moins un cas pessimiste : par exemple masse de protection plus élevée, énergie disponible plus faible ou fenêtre d'atterrissage dégradée. Le verdict de mission doit rester explicable même lorsque l'hypothèse nominale disparaît.

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

5 — Calculs de départ

Budget masse $96\text{ t} - 34\text{ t} - 28\text{ t} - 12\text{ t} = 22\text{ t}$ de marge et autres sous-systèmes Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Réserve énergie $180\text{ kWh} \times 0,25 = 45\text{ kWh}$ de réserve Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Délai aller simple $18\text{ min} \times 60 = 1\,080\text{ s}$ 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: $m_{\text{total}} = m_{\text{structure}} + m_{\text{ergols}} + m_{\text{charge}} + m_{\text{reserves}}$

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.

Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

Le budget global doit être fermé par interfaces et non par une seule somme. Une augmentation de masse peut exiger davantage d’ergols, modifier la puissance nécessaire, réduire les recharges ou déplacer un seuil EDL. L’exercice demande donc de tracer une chaîne de conséquences avant d’accepter une modification. Si les 22 tonnes résiduelles du scénario semblent confortables, elles ne sont pas automatiquement une marge libre : elles doivent encore couvrir les sous-systèmes non comptés, les réserves et les incertitudes.

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

La connaissance d’état est traitée comme un budget au même titre que la masse. Pendant le transit et l’EDL, l’équipage ou l’automatisme doit savoir quelles grandeurs sont indispensables à une décision locale : énergie restante, attitude, position, pression, taux de fuite, stock d’eau ou état d’un calculateur. Les données qui n’arrivent sur Terre qu’après plusieurs minutes ne peuvent pas constituer l’unique barrière de sécurité. Chaque fonction critique reçoit donc un capteur, une estimation de secours et un seuil d’action local.

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	7 — Navigation, communications et connaissance d’état ; 8 — Survie et facteurs humains
Relation à relire:	$m_{total} = m_{structure} + m_{ergols} + m_{charge} + m_{reserves}$
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.

Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout

La survie ne doit pas être ajoutée à la fin du dessin comme une boîte indépendante. Les choix de trajectoire, de structure et de masse conditionnent le volume habitable, le blindage, les réserves et la maintenance. L'élève doit montrer ce qui se passe si une fonction nominale disparaît pendant plusieurs heures : quelle ressource devient limitante, quel mode dégradé est activé, combien de temps il reste et quelles tâches peuvent être suspendues sans créer une seconde urgence.

9 — Incident injecté propre à la mission

À mi-conception, la masse de protection radiologique augmente de 4 t : l'élève doit reprendre le budget d'injection, vérifier l'énergie disponible et décider ce qui peut être déplacé vers le cargo précurseur. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

Pour AM-16.01, la réponse doit montrer quelles grandeurs de « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout » sont recalculées, quelles hypothèses cessent d'être valides et quelle action est réversible avant de consommer une réserve irréversible.

Après l'augmentation de 4 tonnes de protection radiologique, trois réponses sont possibles : absorber la masse dans une marge réellement disponible, réduire une autre fonction, ou modifier l'architecture. La bonne réponse n'est pas choisie par intuition. Elle est justifiée par les budgets réouverts, le risque créé par la réduction éventuelle d'une protection ou d'un rechange, et la compatibilité avec l'EDL. Toute option doit conserver un chemin de retour vers une configuration vérifiable.

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	9 — Incident injecté propre à la mission ; ; 10 — Décision et justification
Relation à relire:	$m_{total} = m_{structure} + m_{ergols} + m_{charge} + m_{reserves}$
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.

Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout

Le livrable final comprend une page de synthèse qui relie chaque décision à une preuve : calcul, source, essai, mesure ou hypothèse. L'élève doit aussi lister trois décisions qu'il refuserait de figer avant d'avoir obtenu une donnée supplémentaire. Cette liste est importante : une architecture crédible ne se reconnaît pas seulement à ce qu'elle décide, mais aussi à ce qu'elle sait encore ne pas savoir.

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 « Architecturer une mission Terre-Mars de bout en bout ».

13 — Sources de référence

Sources primaires spécifiques

NASA — Systems Engineering Handbook - <https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/>

NASA NTRS — Human Mars Entry, Descent, and Landing Architecture Study - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160011571>

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

Relation à relire: $m_{total} = m_{structure} + m_{ergols} + m_{charge} + m_{reserves}$

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.