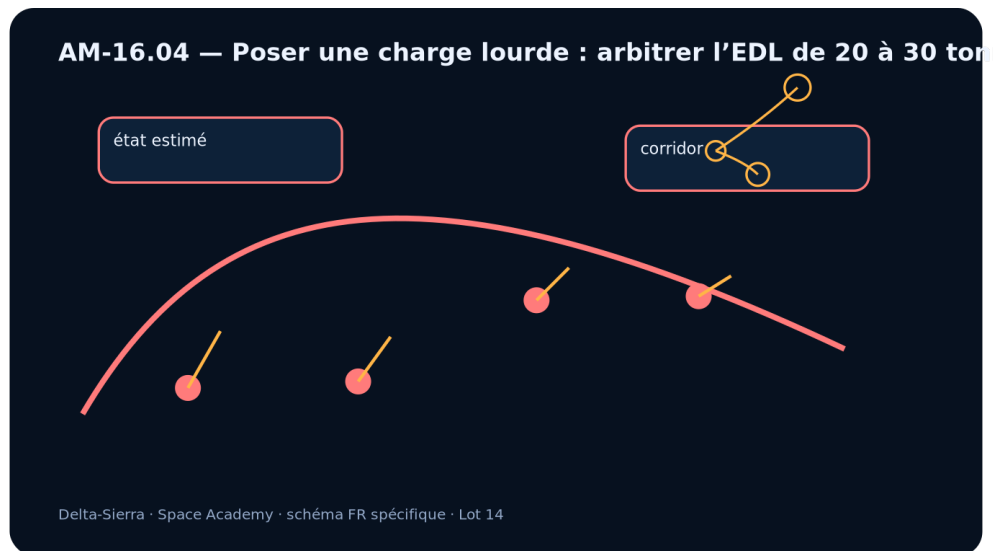


Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes

Question directrice

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



1 — Brief de mission

Comparer énergie d’arrivée, freinage, propulsion terminale et dispersion sans inventer une architecture NASA unique. 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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

L’EDL lourd doit être traité comme une chaîne de dissipation d’énergie et de réduction d’incertitude. La carte de mission distingue ce qui est dissipé par l’atmosphère, ce qui est pris en charge par la protection thermique et ce qui reste à annuler par propulsion. Une architecture de 20 à 30 tonnes ne se juge donc pas seulement à la poussée disponible : elle doit aussi supporter les dispersions atmosphériques, les délais d’allumage, la navigation et l’interaction des panaches avec le sol.

Équation - preuve - décision

$$E_k = 1/2 m v^2$$

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

Poser une charge lourde : arbitrer l'EDL de 20 à 30 tonnes

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l'EDL de 20 à 30 tonnes ».

Les hypothèses atmosphériques doivent être encadrées par une plage et non par une valeur unique. Une densité différente déplace la décélération, le chauffage et le moment où la propulsion devient efficace. L'élève construit au moins deux cas limites et indique quelle mesure embarquée permet d'identifier la trajectoire réellement suivie. Le modèle doit rester pilotable lorsque la réalité ne correspond pas exactement au profil nominal calculé au sol.

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l'EDL de 20 à 30 tonnes ».

5 — Calculs de départ

Énergie 25 t à 5,4 km/s $0,5 \times 25\,000 \times 5\,400^2 = 364,5$ GJ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Rapport de masse 25 000 kg ÷ 1 025 kg $\approx 24,4$ fois la masse du rover Perseverance Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Réserve ergols 8 000 kg $\times 0,12 = 960$ kg de réserve scénario 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: $E_k = 1/2 m v^2$

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.

Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

Le calcul d’énergie cinétique donne un ordre de grandeur utile, mais ne suffit pas pour choisir une architecture. L’élève doit ensuite répartir les responsabilités : bouclier thermique, portance éventuelle, propulsion, train d’atterrissage et réserve d’ergols. Il identifie une marge pour le déroutement et une autre pour la descente terminale ; ces marges ne doivent pas être confondues avec la masse d’ergols théoriquement restante après un profil nominal parfait.

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

La connaissance d’état est critique pendant les dernières minutes. Altitude, vitesse verticale et horizontale, attitude, position relative à la zone sûre et état des moteurs doivent être disponibles localement avec une fréquence compatible avec les décisions. L’élève décrit une stratégie de recoupement entre inertiel, radar et navigation relative au terrain, ainsi que le comportement prévu lorsqu’un capteur devient incohérent avec les autres.

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	7 — Navigation, communications et connaissance d’état ; 8 — Survie et facteurs humains
Relation à relire:	$E_k = 1/2 m v^2$
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.

Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes

Pour un équipage, la réussite ne s’arrête pas au contact avec le sol. L’atterrisseur doit rester stable, disposer d’une alimentation, contrôler son atmosphère et permettre une sortie sûre. Le scénario demande donc de réserver des ressources pour la phase post-atterrissage : diagnostic, communications, éventuelle mise à niveau thermique, vérification des fuites et préparation du chemin vers l’habitat. Une trajectoire optimale qui laisse le véhicule sans réserve opérationnelle peut être un mauvais compromis.

9 — Incident injecté propre à la mission

Pendant la descente, l’estimation de densité atmosphérique s’écarte du modèle et augmente la dispersion : il faut examiner la marge de freinage et les critères de bascule vers la phase propulsée. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

Pour AM-16.04, la réponse doit montrer quelles grandeurs de « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes » sont recalculées, quelles hypothèses cessent d’être valides et quelle action est réversible avant de consommer une réserve irréversible.

Lorsque l’estimation de densité diverge pendant la descente, l’élève doit identifier les variables qui changent réellement le verdict : vitesse au début de la rétropropulsion, altitude disponible, réserve d’ergols et ellipse accessible. Il propose un seuil de basculement vers un site secondaire ou un profil conservateur. La réponse doit montrer une logique conditionnelle, pas simplement ‘ajouter de la marge’ sans préciser où cette marge est consommée.

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	9 — Incident injecté propre à la mission ; ; 10 — Décision et justification
Relation à relire:	$E_k = 1/2 m v^2$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

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.

Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes

Le livrable final compare au moins deux architectures avec les mêmes critères : masse, énergie dissipée, complexité de guidage, nombre de modes de panne, besoins de capteurs, capacité de déroutement et état du véhicule après poser. L’objectif n’est pas de déclarer une solution universelle, mais de montrer pourquoi un choix peut être préférable pour une masse, un site et un niveau de maturité donnés.

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 « Poser une charge lourde : arbitrer l’EDL de 20 à 30 tonnes ».

13 — Sources de référence

Sources primaires spécifiques

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

NASA NTRS — Advancing Supersonic Retropropulsion Using Mars-Relevant Flight Data - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170008725>

NASA NTRS — ASPIRE Parachute Modeling and Flight Comparison - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20200002925>

NASA NTRS — Mars 2020 Terrain-Relative Navigation Performance - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20230007014>

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	11 — Livrables attendus ; 12 — Barème de validation ; 13 — Sources de référence
Relation à relire:	$E_k = 1/2 m v^2$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

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.