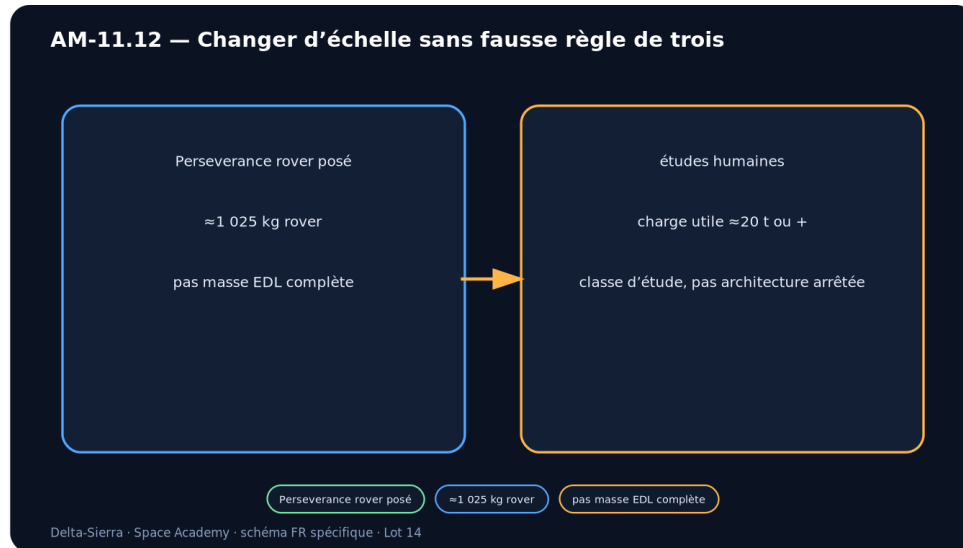


EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture

Question directrice

Concret → vocabulaire → schéma → calcul → limites → mission.



1 — Le phénomène réel

Les références martiennes robotiques prouvent des technologies extraordinaires, mais une mission humaine impose une classe de masse différente. Les synthèses NASA sur l'EDL comparent le patrimoine robotique martien, de l'ordre de la tonne posée pour Mars 2020, à des objectifs humains d'environ 20 tonnes et davantage, avec des concepts étudiés dans la classe de 26 à 36 tonnes posées. Cela ne constitue pas une architecture officielle unique : c'est une échelle de problème qui motive nouveaux boucliers, guidage, propulsion, détection du sol et campagnes d'essais.

La question directrice de ce cours est : Qu'est-ce qui cesse d'être une simple extrapolation lorsque la masse posée augmente d'un facteur supérieur à vingt ? 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », la frontière retenue précise aussi ce qui serait compté deux fois ou, au contraire, oublié dans un bilan de mission.

vitesse, énergie cinétique, altitude, décélération et état de chaque événement EDL

une mauvaise estimation d'état, un événement déclenché hors fenêtre ou une réserve de freinage insuffisante
simulation six degrés de liberté, Monte-Carlo de dispersions et répétition de séquences avec défauts injectés

Équation - preuve - décision

facteur = valeur_2 / valeur_1 ; $A \propto \text{diamètre}^2$

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », on teste notamment une mauvaise estimation d'état, un événement déclenché hors fenêtre ou une réserve de freinage insuffisante. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture**3 — Schéma propre au cours**

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture ». 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 CO₂ ou une procédure d'équipage. Pour « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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 : le facteur d'échelle est le rapport de deux valeurs ; pour une forme semblable, la surface caractéristique varie comme le carré du diamètre.

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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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

$30\,000\text{ kg} \div 1\,025\text{ kg} \approx 29,27$. Le dénominateur est la masse publiée du rover Perseverance posé ; ce calcul ne représente pas la masse de la chaîne EDL Mars 2020.

Si un diamètre caractéristique hypothétique passe de 4,52 m à 8,00 m, le rapport vaut $8,00 \div 4,52 \approx 1,77$ et l'aire d'une forme semblable varierait comme $1,77^2 \approx 3,13$. La valeur 8 m est un scénario de calcul, pas un concept NASA annoncé.

$30\,000\text{ kg} \times 0,08 = 2\,400\text{ kg}$. Les 8 % constituent ici une hypothèse de mission explicitement déclarée, pas une marge NASA universelle.

1. Masse du rover posé et scénario 30 t $30\,000\text{ kg} \div 1\,025\text{ kg} \approx 29,27$. Le dénominateur est la masse publiée du rover Perseverance posé ; ce calcul ne représente pas la masse de la chaîne EDL Mars 2020.

Interprétation : distinguer patrimoine de vol, géométrie et hypothèse de mission.

2. Géométrie — hypothèse pédagogique Si un diamètre caractéristique hypothétique passe de 4,52 m à 8,00 m, le rapport vaut $8,00 \div 4,52 \approx 1,77$ et l'aire d'une forme semblable varierait comme $1,77^2 \approx 3,13$. La valeur

Tableau opérationnel

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

Relation à relire: facteur = valeur₂ / valeur₁ ; $A \propto \text{diamètre}^2$

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.

EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture

3. Réserve de masse — scénario $30\,000\text{ kg} \times 0,08 = 2\,400\text{ kg}$. Les 8 % constituent ici une hypothèse de mission explicitement déclarée, pas une marge NASA universelle. Interprétation : distinguer patrimoine de vol, géométrie et hypothèse de mission.

6 — Ce que la formule ne contient pas

La relation « facteur = valeur_2 / valeur_1 ; $A \propto \text{diamètre}^2$ » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture ». 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. Le calcul $30\,000\text{ kg} \div 1\,025\text{ kg} \approx 29,27$ compare explicitement un scénario de charge utile de 30 t à la masse du rover Perseverance posé ; il ne compare pas deux systèmes EDL complets.

Pour rendre le modèle exploitable, on ajoute explicitement les paramètres qui dominent ce thème : vitesse, énergie cinétique, altitude, décélération et état de chaque événement EDL. On peut alors demander quelle variation modifie réellement le résultat, laquelle reste négligeable et laquelle oblige à changer d'architecture. Pour « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », l'observabilité repose sur vitesse, énergie cinétique, altitude, décélération et état de chaque événement EDL. 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », on teste notamment une mauvaise estimation d'état, un événement déclenché hors fenêtre ou une réserve de freinage insuffisante. Le diagnostic demande quels

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	6 — Ce que la formule ne contient pas ; 7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération
Relation à relire:	facteur = valeur_2 / valeur_1 ; $A \propto \text{diamètre}^2$
Décision attendue:	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.

EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture

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 différente pour chaque cours et ne peut pas être remplacée par un paragraphe universel sur la redondance. Pour « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », le mode dégradé est défini autour de la fonction minimale spécifique à ce thème, avec un seuil d'abandon et une condition de retour au nominal.

9 — Cas NASA / cas de référence

La comparaison d'échelle est désormais libellée correctement : la masse publiée d'environ 1 025 kg concerne le rover Perseverance posé, et non toute la chaîne EDL Mars 2020. Les études humaines parlent de charges utiles posées d'environ 20 tonnes ou davantage selon les concepts ; elles ne définissent pas un unique « futur atterrisseur NASA ».

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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », le cas NASA cité sert de preuve ciblée pour ce phénomène ; il n'est jamais transformé en architecture martienne universelle.

10 — Compromis d'architecture

Le compromis d'échelle n'est pas résumé par un diamètre unique. Un véhicule plus grand modifie simultanément surface aérodynamique, masse de protection, rigidité, propulsion, contrôle, zone d'atterrissage et interaction des panaches ; toute valeur de dimension doit donc être rattachée à une étude ou explicitement marquée comme scénario.

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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture » combine simulation six degrés de liberté, Monte-Carlo de dispersions et répétition de séquences avec défauts injectés. 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

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	9 — Cas NASA / cas de référence ; 10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite
Relation à relire:	$\text{facteur} = \text{valeur}_2 / \text{valeur}_1$; $A \propto \text{diamètre}^2$
Décision attendue:	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.

EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture

La preuve grandit par étages : 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », la démonstration doit reproduire les contraintes qui rendent ce phénomène difficile ; un essai spectaculaire mais hors domaine n'est pas suffisant.

12 — Exercice de décision

Situation : reprenez « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture » 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture » 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 « EDL humain lourd : pourquoi passer de 1 tonne à plus de 20 tonnes change l'architecture », 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 — Human Mars Entry, Descent, and Landing Architecture Study -
<https://ntrs.nasa.gov/citations/20160011571>

NASA NTRS — Mid Lift-to-Drag Ratio Vehicle Performance for Human Mars EDL -
<https://ntrs.nasa.gov/citations/20200000240>

NASA NTRS — A Rigid Mid-Lift-to-Drag Ratio Approach to Human Mars EDL -
<https://ntrs.nasa.gov/citations/20160014035>

JPL — Mars 2020 Launch Quick Facts -
https://www.jpl.nasa.gov/news/press_kits/mars_2020/launch/quick_facts/

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	12 — Exercice de décision ; 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet
Relation à relire:	$\text{facteur} = \text{valeur}_2 / \text{valeur}_1$; $A \propto \text{diamètre}^2$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

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.