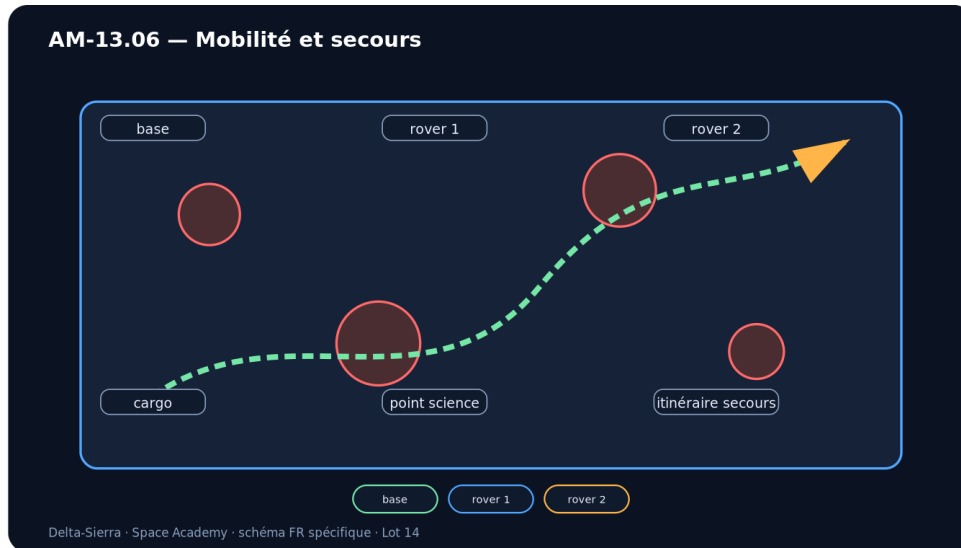


Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours

Question directrice

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



1 — Le phénomène réel

La mobilité relie habitat, zones d'atterrissage, ressources, science et chantiers. Il faut dimensionner autonomie énergétique, charge utile, vitesse, redondance, communications, navigation, capacité de récupération et conditions de retour. Un véhicule rapide mais impossible à secourir n'est pas un système robuste.

La question directrice de ce cours est : Comment transformer un rover en élément fiable d'un système logistique martien ? 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », la frontière retenue précise aussi ce qui serait compté deux fois ou, au contraire, oublié dans un bilan de mission.

distance, débit des réseaux, puissance, volume pressurisé, temps de trajet, état des interfaces et capacité de secours une rupture de conduite, un trajet logistique bloqué, une zone isolée, une interface incompatible ou une capacité de secours concentrée au même endroit

maquettes d'implantation, essais de réseau segmenté, campagnes rover et exercices de reconfiguration

Équation - preuve - décision

$$E_{\text{trajet}} = e_{\text{km}} \times d$$

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », on teste notamment une rupture de conduite, un trajet logistique bloqué, une zone isolée, une interface incompatible ou une capacité de secours concentrée au même endroit. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours**3 — Schéma propre au cours**

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours ». 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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 : l'énergie du trajet égale la consommation énergétique par kilomètre multipliée par la distance.

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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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

$$1,8 \text{ kWh/km} \times 24 \text{ km} = 43,2 \text{ kWh}$$

$$60 \text{ kWh disponibles} - 43,2 \text{ kWh} = 16,8 \text{ kWh}$$

$$6 \text{ voyages} \times 450 \text{ kg} = 2\,700 \text{ kg transportés}$$

1. 1. Énergie $1,8 \text{ kWh/km} \times 24 \text{ km} = 43,2 \text{ kWh}$ Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours ».

2. 2. Marge retour $60 \text{ kWh disponibles} - 43,2 \text{ kWh} = 16,8 \text{ kWh}$ Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours ».

3. 3. Fret $6 \text{ voyages} \times 450 \text{ kg} = 2\,700 \text{ kg transportés}$ Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours ».

6 — Ce que la formule ne contient pas**Tableau opérationnel**

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

Relation à relire: $E_{\text{trajet}} = e_{\text{km}} \times d$

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.

Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours

La relation « $E_{\text{trajet}} = e_{\text{km}} \times d$ » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours ». 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. L'exemple $1,8 \text{ kWh/km} \times 24 \text{ km} = 43,2 \text{ kWh}$ doit donc rester un calcul local et non une architecture complète.

Pour rendre le modèle exploitable, on ajoute explicitement les paramètres qui dominent ce thème : distance, débit des réseaux, puissance, volume pressurisé, temps de trajet, état des interfaces et capacité de secours. On peut alors demander quelle variation modifie réellement le résultat, laquelle reste négligeable et laquelle oblige à changer d'architecture. Pour « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », l'observabilité repose sur distance, débit des réseaux, puissance, volume pressurisé, temps de trajet, état des interfaces et capacité de secours. 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », on teste notamment une rupture de conduite, un trajet logistique bloqué, une zone isolée, une interface incompatible ou une capacité de secours concentrée au même endroit. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », le mode dégradé est défini autour de

9 — Cas NASA / cas de référence

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération ; 9 — Cas NASA / cas de référence
Relation à relire:	$E_{\text{trajet}} = e_{\text{km}} \times d$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération ; 9 — Cas NASA / cas de référence. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours

Le cas opérationnel est traité comme une chaîne de production ou de service : ressource d'entrée, machine, stockage intermédiaire, contrôle qualité, maintenance et utilisateur final. Les travaux NASA sur ISRU, autonomie et fabrication servent à séparer une démonstration technologique d'une usine martienne réellement disponible.

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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », le cas NASA cité sert de preuve ciblée pour ce phénomène ; il n'est jamais transformé en architecture martienne universelle.

10 — Compromis d'architecture

Une bonne solution pour « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours » ne maximise pas un seul indicateur. Elle compare performance nominale, masse, énergie, simplicité, maintenance, temps équipage, dépendances communes et capacité de récupération. L'option qui améliore 60 kWh disponibles – 43,2 kWh = 16,8 kWh peut être refusée si elle rend la détection de panne ou la réparation beaucoup plus difficile.

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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours » combine maquettes d'implantation, essais de réseau segmenté, campagnes rover et exercices de reconfiguration. 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 remplace pas une qualification dans le domaine de mission.

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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite ; 12 — Exercice de décision
Relation à relire:	$E_{\text{trajet}} = e_{\text{km}} \times d$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite ; 12 — Exercice de décision. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours

Situation : reprenez « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours » 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 « Mobilité de surface : rovers, fret, itinéraires et secours », 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 — Autonomous Systems & Robotics for Surface Infrastructure - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210024326>

NASA NTRS — Human Exploration of Mars: Preliminary Lists of Crew Tasks - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190001401>

NASA TechPort — NASA Platform for Autonomous Systems - <https://techport.nasa.gov/projects/94884>

NASA NTRS — Autonomous Systems & Robotics for Surface Infrastructure - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210024326>

NASA NTRS — Human Exploration of Mars: Preliminary Lists of Crew Tasks - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190001401>

NASA TechPort — NASA Platform for Autonomous Systems - <https://techport.nasa.gov/projects/94884>

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections: 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet ; Sources primaires spécifiques

Relation à relire: $E_{\text{trajet}} = e_{\text{km}} \times d$

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

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet ; Sources primaires spécifiques. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.