

Mobilité de surface, flotte de rovers et opérations logistiques



Convoi de rovers pressurisés et utilitaires circulant sur le terrain martien.

Concevoir les véhicules martiens comme une flotte: rayon d'action, énergie, **disponibilité**, secours, routes, cargaisons et **autonomie**.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Mobilité de surface, flotte de rovers et opérations logistiques: comment « Comprendre avant de calculer » agit-il sur « autonomie de rover », et quel repère issu de « convoi » permet de vérifier la décision?

Intuition. Un convoi doit transporter équipage, pièces et énergie entre l'habitat et un site scientifique éloigné tout en conservant une capacité de retour après panne.



Comprendre avant de calculer

Un convoi doit transporter équipage, pièces et énergie entre l'habitat et un site scientifique éloigné tout en conservant une capacité de retour après panne.



autonomie de rover

Définition sans prérequis.



convoi

Définition sans prérequis.

Repère concret. L'autonomie de rover est la distance ou durée réalisable avant recharge, ravitaillement ou autre contrainte limitante, avec une réserve définie.

- Comprendre avant de calculer — Un convoi doit transporter équipage, pièces et énergie entre l'habitat et un site scientifique éloigné tout en conservant une capacité de retour après panne.
- autonomie de rover — Définition sans prérequis.
- convoi — Définition sans prérequis.

Préparation du module 49: modules 00 à 46 selon le sujet. Le module 49 revient sur les grandeurs qui conditionnent directement « Mobilité de surface, flotte de rovers et opérations logistiques ».

RAMPE ZÉRO PRÉREQUIS · MODULE 49

Comprendre avant de calculer

Un convoi doit transporter équipage, pièces et énergie entre l'habitat et un site scientifique éloigné tout en conservant une capacité de retour après panne.

Progression du module — autonomie de rover; convoi; charge utile; réserve de retour.

autonomie de rover

Définition sans prérequis. L'**autonomie de rover** est la distance ou durée réalisable avant recharge, ravitaillement ou autre contrainte limitante, avec une réserve définie.

Scène concrète. Une autonomie nominale de 100 km ne signifie pas qu'une mission peut viser un point à 100 km: il faut retour, détour, chauffage et **marge** de secours.

Contrôle mental. Convertissez énergie disponible et consommation en distance ou durée avec une réserve de retour; l'autonomie nominale ne doit jamais être utilisée intégralement pour l'aller.

Piège à éviter. Un chiffre de catalogue sans terrain, **température**, charge utile et profil de vitesse est insuffisant.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **autonomie de rover** » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

Exercice guidé — autonomie de rover

Situation à reconnaître. Une autonomie nominale de 100 km ne signifie pas qu'une mission peut viser un point à 100 km: il faut retour, détour, chauffage et marge de secours.

Vérification demandée. Convertissez énergie disponible et consommation en distance ou durée avec une réserve de retour; l'autonomie nominale ne doit jamais être utilisée intégralement pour l'aller.

Erreur à écarter. Un chiffre de catalogue sans terrain, température, charge utile et profil de vitesse est insuffisant.

Corrigé raisonné

Sens précis

L'autonomie de rover est la distance ou durée réalisable avant recharge, ravitaillement ou autre contrainte limitante, avec une réserve définie.

Test du cas

Convertissez énergie disponible et consommation en distance ou durée avec une réserve de retour; l'autonomie nominale ne doit jamais être utilisée intégralement pour l'aller.

Piège exclu

Un chiffre de catalogue sans terrain, température, charge utile et profil de vitesse est insuffisant.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « autonomie de rover » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

convoi

Définition sans prérequis. Un **convoi** coordonne plusieurs véhicules afin de partager ressources, **redondance**, **navigation** et secours.

Scène concrète. Deux rovers peuvent voyager avec séparation contrôlée afin qu'une panne de terrain n'immobilise pas les deux au même endroit.

Contrôle mental. La vitesse et l'itinéraire du groupe sont contraints par l'élément le plus lent ou le plus vulnérable; une **moyenne** de performances peut masquer ce goulot d'étranglement.

Piège à éviter. Rouler côte à côte en permanence peut créer une **cause commune** face à une crevasse ou une zone instable.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « convoi » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

Exercice guidé — convoi

Situation à reconnaître. Deux rovers peuvent voyager avec séparation contrôlée afin qu'une panne de terrain n'immobilise pas les deux au même endroit.

Vérification demandée. La vitesse et l'itinéraire du groupe sont contraints par l'élément le plus lent ou le plus vulnérable; une moyenne de performances peut masquer ce goulot d'étranglement.

Erreur à écarter. Rouler côte à côte en permanence peut créer une cause commune face à une crevasse ou une zone instable.

Corrigé raisonné

Sens précis	Un convoi coordonne plusieurs véhicules afin de partager ressources, redondance, navigation et secours.
Test du cas	La vitesse et l'itinéraire du groupe sont contraints par l'élément le plus lent ou le plus vulnérable; une moyenne de performances peut masquer ce goulot d'étranglement.
Piège exclu	Rouler côte à côte en permanence peut créer une cause commune face à une crevasse ou une zone instable.
Conséquence opérationnelle	Dans ce module, une erreur sur « convoi » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

Termes du corrigé. [vérification](#) · [observation](#)

Quantification

convoi: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

charge utile

Définition sans prérequis. La **charge utile** est la **masse** ou le volume transporté pour accomplir la mission, distinct des systèmes nécessaires au véhicule lui-même.

Scène concrète. Ajouter un équipement scientifique réduit parfois l'énergie disponible ou augmente l'usure et la distance de freinage.

Contrôle mental. Masse, volume, centre de gravité, fixation et énergie doivent tous rester dans les limites du véhicule; respecter seulement la masse maximale ne suffit pas.

Piège à éviter. La masse disponible n'est pas le seul critère: centre de gravité, volume, puissance et fixation comptent.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **charge utile** » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

Exercice guidé — charge utile

Situation à reconnaître. Ajouter un équipement scientifique réduit parfois l'énergie disponible ou augmente l'usure et la distance de freinage.

Vérification demandée. Masse, volume, centre de gravité, fixation et énergie doivent tous rester dans les limites du véhicule; respecter seulement la masse maximale ne suffit pas.

Erreur à écarter. La masse disponible n'est pas le seul critère: centre de gravité, volume, puissance et fixation comptent.

Corrigé raisonné

Sens précis	La charge utile est la masse ou le volume transporté pour accomplir la mission, distinct des systèmes nécessaires au véhicule lui-même.
Test du cas	Masse, volume, centre de gravité, fixation et énergie doivent tous rester dans les limites du véhicule; respecter seulement la masse maximale ne suffit pas.
Piège exclu	La masse disponible n'est pas le seul critère: centre de gravité, volume, puissance et fixation comptent.
Conséquence opérationnelle	Dans ce module, une erreur sur « charge utile » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

Quantification

charge utile: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

charge utile: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

réserve de retour

Définition sans prérequis. La **réserve de retour** est la quantité d'énergie ou de ressource conservée pour garantir le repli selon des règles prédéfinies.

Scène concrète. Une mission peut imposer demi-tour lorsque l'énergie restante atteint un seuil calculé pour le trajet retour plus marge.

Contrôle mental. À chaque point de la sortie, la ressource restante doit permettre le retour selon le scénario dégradé retenu; si la réserve n'existe qu'à l'arrivée, elle n'est pas une réserve opérationnelle.

Piège à éviter. Consommer la réserve parce que le trajet aller s'est bien passé détruit précisément la protection contre l'imprévu.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « réserve de retour » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

Exercice guidé — réserve de retour

Situation à reconnaître. Une mission peut imposer demi-tour lorsque l'énergie restante atteint un seuil calculé pour le trajet retour plus marge.

Vérification demandée. À chaque point de la sortie, la ressource restante doit permettre le retour selon le scénario dégradé retenu; si la réserve n'existe qu'à l'arrivée, elle n'est pas une réserve opérationnelle.

Erreur à écarter. Consommer la réserve parce que le trajet aller s'est bien passé détruit précisément la protection contre l'imprévu.

Corrigé raisonné

Sens précis

La réserve de retour est la quantité d'énergie ou de ressource conservée pour garantir le repli selon des règles prédéfinies.

Test du cas

À chaque point de la sortie, la ressource restante doit permettre le retour selon le scénario dégradé retenu; si la réserve n'existe qu'à l'arrivée, elle n'est pas une réserve opérationnelle.

Piège exclu

Consommer la réserve parce que le trajet aller s'est bien passé détruit précisément la protection contre l'imprévu.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « réserve de retour » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé.

Étude intégrée — Mobilité de surface, flotte de rovers et opérations logistiques

Situation à analyser. Un convoi doit transporter équipage, pièces et énergie entre l'habitat et un site scientifique éloigné tout en conservant une capacité de retour après panne.

- **autonomie de rover:** Une autonomie nominale de 100 km ne signifie pas qu'une mission peut viser un point à 100 km: il faut retour, détour, chauffage et marge de secours. Contrôle attendu: Convertissez énergie disponible et consommation en distance ou durée avec une réserve de retour; l'autonomie nominale ne doit jamais être utilisée intégralement pour l'aller.
- **convoi:** Deux rovers peuvent voyager avec séparation contrôlée afin qu'une panne de terrain n'immobilise pas les deux au même endroit. Contrôle attendu: La vitesse et l'itinéraire du groupe sont contraints par l'élément le plus lent ou le plus vulnérable; une moyenne de performances peut masquer ce goulot d'étranglement.
- **charge utile:** Ajouter un équipement scientifique réduit parfois l'énergie disponible ou augmente l'usure et la distance de freinage. Contrôle attendu:

Masse, volume, centre de gravité, fixation et énergie doivent tous rester dans les limites du véhicule; respecter seulement la masse maximale ne suffit pas.

- **réserve de retour:** Une mission peut imposer demi-tour lorsque l'énergie restante atteint un seuil calculé pour le trajet retour plus marge. Contrôle attendu: À chaque point de la sortie, la ressource restante doit permettre le retour selon le scénario dégradé retenu; si la réserve n'existe qu'à l'arrivée, elle n'est pas une réserve opérationnelle.

Le diagnostic ne doit pas confondre « autonomie de rover » et « convoi ». Le premier se reconnaît ici par le cas suivant: Une autonomie nominale de 100 km ne signifie pas qu'une mission peut viser un point à 100 km: il faut retour, détour, chauffage et marge de secours. Le second doit être contrôlé autrement: La vitesse et l'itinéraire du groupe sont contraints par l'élément le plus lent ou le plus vulnérable; une moyenne de performances peut masquer ce goulot d'étranglement.

Une seconde vérification croise « charge utile » et « réserve de retour ». Gardez comme alerte « La masse disponible n'est pas le seul critère: centre de gravité, volume, puissance et fixation comptent. »; pour « réserve de retour », utilisez plutôt ce test: À chaque point de la sortie, la ressource restante doit permettre le retour selon le scénario dégradé retenu; si la réserve n'existe qu'à l'arrivée, elle n'est pas une réserve opérationnelle.

Exercice de synthèse

Dans la situation de « Mobilité de surface, flotte de rovers et opérations logistiques », classez les indices selon « autonomie de rover » (Convertissez énergie disponible et consommation en distance ou durée avec une réserve de retour; l'autonomie nominale ne doit jamais être utilisée intégralement pour l'aller.), « convoi » (La vitesse et l'itinéraire du groupe sont contraints par l'élément le plus lent ou le plus vulnérable; une moyenne de performances peut masquer ce goulot d'étranglement.), « charge utile » (Masse, volume, centre de gravité, fixation et énergie doivent tous rester dans les limites du véhicule; respecter seulement la masse maximale ne suffit pas.), « réserve de retour » (À chaque point de la sortie, la ressource restante doit permettre le

retour selon le scénario dégradé retenu; si la réserve n'existe qu'à l'arrivée, elle n'est pas une réserve opérationnelle.) Décision suspendue si un contrôle échoue.

Corrigé de synthèse

Pour autonomie de rover, Dans ce module, une erreur sur « autonomie de rover » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé. Le garde-fou principal est: Un chiffre de catalogue sans terrain, température, charge utile et profil de vitesse est insuffisant. Pour convoi, Dans ce module, une erreur sur « convoi » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé. Le garde-fou principal est: Rouler côte à côte en permanence peut créer une cause commune face à une crevasse ou une zone instable. Pour charge utile, Dans ce module, une erreur sur « charge utile » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé. Le garde-fou principal est: La masse disponible n'est pas le seul critère: centre de gravité, volume, puissance et fixation comptent. Pour réserve de retour, Dans ce module, une erreur sur « réserve de retour » peut immobiliser un équipage hors base si l'énergie, la charge ou la réserve de retour sont calculées sans scénario dégradé. Le garde-fou principal est: Consommer la réserve parce que le trajet aller s'est bien passé détruit précisément la protection contre l'imprévu.

énergie de mission = distance × consommation moyenne par

distance + charges fixes

Question de départ

Dans «Corrigé de synthèse», quelle valeur cumulée énergie de mission résulte des termes de «énergie de mission = distance × consommation moyenne par distance + charges fixes»?

Lecture à voix haute

Prononcer ainsi: «énergie de mission égale distance multiplié par consommation moyenne par distance plus charges fixes».

Symboles, prononciation et sens

énergie de mission: énergie totale requise par le trajet;

distance: longueur parcourue; consommation moyenne par

distance: énergie consommée par unité de distance; charges

fixes: énergie consommée indépendamment de la distance pendant la mission.

Unités

Si distance est en km et consommation moyenne en kWh/km, leur produit est en kWh; charges fixes doivent alors aussi être en kWh. En SI, $m \times J/m = J$.

Origine et statut des valeurs

Pour chaque entrée, conserver son origine et son statut. Une constante référencée, une mesure et une hypothèse pédagogique ne portent pas le même niveau de preuve. La traçabilité locale renvoie à: les distances, énergie, vitesse et disponibilité de la flotte.

Pourquoi cette opération

distance × consommation par distance donne l'énergie de traction liée au trajet; on y ajoute les charges fixes de même unité énergétique.

Substitution et calcul

Associer une valeur sourcée à chaque terme, convertir sur une unité commune et effectuer l'addition sans compléter les données manquantes.

Saisie sur calculatrice

Une saisie robuste calcule les contributions séparément, puis les additionne; conserver plusieurs chiffres avant l'arrondi de énergie de mission.

Estimation mentale

Comparer mentalement le nombre de termes et leur taille typique pour prévoir l'échelle de énergie de mission; le total ne doit pas contredire cette estimation.

Contrôle indépendant

Contrôle de fermeture: énergie de mission-charges fixes, divisée par distance non nulle, doit redonner la consommation moyenne par distance.

Interprétation physique ou opérationnelle

Une sortie de calcul tirée de «énergie de mission = distance × consommation moyenne par distance + charges fixes» n'est pas une conclusion automatique. Dans «Corrigé de synthèse», on la rapporte à son unité, à son périmètre et aux conditions de validité du modèle.

Traduction en français courant

La formule dit simplement «mettre ensemble toutes les contributions indiquées» afin d'obtenir énergie de mission.

Variation / sensibilité

Chaque variation additive d'une contribution se transmet au total; tester les termes dominants en priorité mesure la robustesse de énergie de mission.

Limite / hypothèse

Avant de sommer, s'assurer que les contributions sont distinctes, simultanément applicables et exprimées sur la même frontière.

Progression de maîtrise

1. autonomie de rover: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
2. convoi: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
3. charge utile: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
4. réserve de retour: appliquez le contrôle concret de sa fiche.

5. Synthèse de « Mobilité de surface, flotte de rovers et opérations logistiques » : confrontez « autonomie de rover » à « convoi » ; choisissez le contrôle prioritaire.

Vérification de maîtrise

Validation 49 — autonomie de rover, convoi, charge utile, réserve de retour. Pour chaque notion: un indice et un contrôle.

Objectifs de maîtrise

- Distinguer les observations, les hypothèses et les inconnues lorsqu'on étudie « Comprendre avant de calculer ».
- Quantifier au moins une grandeur nécessaire à « autonomie de rover » sans masquer les conversions.
- Expliquer ce qui invaliderait le raisonnement retenu pour « convoi ».
- Relier « charge utile » aux contraintes concrètes du module 49.

1. La mobilité est une infrastructure

Un rover n'est pas seulement un véhicule. Il relie habitat, zone scientifique, [ISRU](#), [atelier](#), dépôt et site d'atterrissage. Sa disponibilité influence donc l'ensemble de l'architecture. Une colonie qui dépend d'un seul véhicule polyvalent possède un point de [défaillance](#) majeur. La flotte doit être pensée en fonctions: transport d'équipage, fret, remorquage, excavation, reconnaissance et secours.

Les capacités rovers du Johnson Space Center relient mobilité, essais et opérations de surface.
[NASA JSC — Rovers](#)

2. Rayon d'action et réserve de retour

La distance maximale ne se calcule pas avec toute l'énergie disponible. Il faut conserver une réserve, prévoir détour et ralentissement, puis imposer une capacité de retour après dégradation. Pour un équipage, un rayon sûr peut être limité par l'autonomie du [scaphandre](#) ou la possibilité de venir chercher un véhicule immobilisé avant d'être limité par la batterie du rover.

3. Traction, pente et terrain

La mobilité dépend de l'interaction roue-[sol](#). Une pente augmente l'effort, un terrain meuble augmente le risque de patinage et un obstacle peut imposer un détour. L'autonomie énergétique doit donc utiliser un coût par kilomètre variable selon le terrain plutôt qu'une valeur unique. Les cartes de mobilité deviennent des produits opérationnels continuellement mis à jour.

4. Flotte et disponibilité

Une flotte se gère par disponibilité, non par nombre nominal. Trois véhicules dont un attend une pièce et un autre est réservé au secours n'offrent qu'un véhicule réellement planifiable. Il faut donc suivre état, [maintenance](#) due, charge batterie, pneus/roues, consommables, outils embarqués et restrictions. L'état de flotte est affiché comme une ressource opérationnelle au même titre que l'énergie ou l'eau.

5. Logistique: faire circuler du fret sans mobiliser l'équipage

Les robots et rovers autonomes peuvent déplacer eau, pièces et échantillons pendant que l'équipage réalise d'autres tâches. Mais l'autonomie ajoute des besoins de navigation, détection d'obstacle, communications et [récupération](#) après immobilisation. Une mission de fret réussie n'est pas celle qui arrive vite, mais celle qui arrive sans consommer une quantité disproportionnée de temps de supervision humaine.

6. Secours et récupération

Toute sortie lointaine pose la question: que se passe-t-il si le rover ne repart pas? Les réponses peuvent être redondance de véhicule, capacité de remorquage, abri d'urgence, véhicule de secours prêt, itinéraires compatibles ou limitation du rayon. Le plan doit tenir compte d'un blessé et d'une mobilité réduite. Une stratégie qui suppose que l'équipage marchera 20 km en scaphandre est rarement crédible.

7. Recharge et énergie distribuée

Une flotte peut se recharger à l'habitat, sur des dépôts éloignés ou via des remorques énergétiques. Les points de recharge réduisent la masse batterie embarquée mais créent de nouvelles dépendances. Leur disponibilité, connectique, protection [poussière](#) et puissance simultanée doivent être planifiées. Un dépôt vide ou indisponible peut rendre inaccessible un secteur pourtant situé dans le rayon géométrique du rover.

8. Données, journaux et maintenance prédictive

Chaque trajet produit des données: courant moteur, glissement, température, vibrations, consommation par kilomètre et erreurs de navigation. Ces tendances permettent de repérer une roue qui consomme davantage ou un roulement qui chauffe. La maintenance prédictive n'exige pas une intelligence artificielle magique: elle commence par des mesures fiables et un historique de flotte correctement conservé.

Approfondissement: coût réel d'un kilomètre

Le coût d'un trajet comprend énergie, usure, temps équipage, risque et consommation de capacité de maintenance. Une route plus longue mais régulière peut être préférable à un raccourci rocheux qui accélère l'usure des roues. Les données de flotte permettent progressivement d'estimer un coût par segment. Ce modèle aide à choisir emplacement des dépôts et des installations industrielles en fonction de la logistique réelle plutôt que de la seule distance sur la carte.

Approfondissement: planification multi-véhicules

Lorsque plusieurs véhicules partagent routes, chargeurs et atelier, le planning devient un problème de ressources. Deux missions peuvent être individuellement possibles mais incompatibles si elles exigent la même remorque énergétique ou le même technicien. La planification doit donc représenter les dépendances de support, pas seulement réserver le rover lui-même. Un tableau de flotte indique qui utilise quel véhicule, quand il doit charger, quand sa maintenance est due et quelle capacité de secours doit rester libre.

Approfondissement: politique de mise hors service

Un rover ne doit pas être utilisé jusqu'à la panne totale par défaut. Des critères de mise hors service temporaire protègent l'équipage: dérive de consommation, défaut de frein, perte de redondance de communication ou usure d'une roue. Cette discipline paraît réduire la flotte disponible, mais elle évite qu'un véhicule déjà dégradé devienne la cause d'une opération de secours. Le retour en service exige une cause comprise, une réparation et un essai adapté.

9. Exemple calculé: rayon énergétique avec réserve

Un rover possède 120 kWh utilisables. La mission impose 25 % de réserve finale. Sur le terrain prévu, la consommation moyenne est 3,2 kWh/km. L'énergie planifiable vaut $120 \times 0,75 = 90$ kWh, donc la distance totale aller-retour maximale vaut $90 \div 3,2 \approx 28,1$ km. Pour un trajet symétrique, le rayon théorique est environ 14 km, avant marge météo, détour et vieillissement batterie.

Étude de cas calculée: énergie minimale d'une mission à deux rovers

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une route logistique fait 42 km. Chaque rover consomme en moyenne 0,9 kWh/km et doit conserver 25 % de réserve énergétique par rapport au besoin calculé.

On note d la distance, en km; c la consommation, en kWh/km; E le besoin sans réserve, en kWh; r la réserve, sans unité; E_r le besoin par rover avec réserve.

$E = d \times c = 42 \times 0,9 = 37,8 \text{ kWh}$. $E_r = 37,8 \times 1,25 = 47,25 \text{ kWh}$ par rover. Pour deux rovers:
 $E_2 = 2 \times 47,25 = 94,5 \text{ kWh}$.

Le total de 94,5 kWh ne signifie pas qu'une batterie de cette taille suffit: température, terrain, vieillissement et secours peuvent modifier le besoin. Le calcul rend simplement explicite la réserve avant départ.

10. Exercice

Comparer deux itinéraires vers un dépôt situé à 9 km: route A de 9 km à 3 kWh/km, route B de 12 km à 2,1 kWh/km. Ajouter 20 % de réserve et déterminer lequel consomme le moins d'énergie aller-retour. Discuter temps, risque et secours.

11. Solution raisonnée

Route A: $18 \times 3 = 54 \text{ kWh}$. Route B: $24 \times 2,1 = 50,4 \text{ kWh}$. La route B consomme moins d'énergie malgré sa longueur, mais sa durée et son exposition peuvent être supérieures. Le choix final dépend donc de plusieurs contraintes, pas du seul kilométrage.

12. Mini-projet de validation

Définir une flotte pour une base de 30 personnes: véhicules équipage, fret, secours et chantier, règles de disponibilité, maintenance, batteries, routes, dépôts de recharge, politique d'immobilisation et tableau de bord quotidien.

Mobilité de surface : une mission rover se dimensionne aussi pour le retour et le secours

Le coût d'un déplacement martien combine distance, terrain, énergie, auxiliaires, charge utile, température, communications et capacité de récupération. Une flotte robuste ne planifie donc jamais une sortie sur l'autonomie nominale seule.

La réserve de retour est une barrière, pas une suggestion

Une mission doit définir une énergie ou une autonomie minimale à partir de laquelle elle cesse l'activité et revient. Cette limite dépend du trajet retour, du terrain, de la météo, des auxiliaires et de l'incertitude du modèle.

L'interopérabilité transforme plusieurs véhicules en flotte

Interfaces de charge, remorquage, énergie, données, roues, pièces et outillage communs facilitent secours et cannibalisation. Sans standards, plusieurs rovers différents peuvent rester plusieurs systèmes isolés.

Le dispatch doit inclure l'énergie auxiliaire et l'incertitude

Chauffage, informatique, éclairage, pompes, communications et arrêts prolongés consomment de l'énergie même sans avancer. Le calcul ci-dessous sépare le trajet de l'énergie auxiliaire et applique un facteur d'incertitude.

Budget énergétique de dispatch

$$E_{\text{dispatch}} = (d_{\text{aller}} \times c_{\text{aller}} + d_{\text{retour}} \times c_{\text{retour}} + E_{\text{aux}}) \times k_{\text{inc}}$$

où d est la distance, c la consommation énergétique par unité de distance, E_{aux} l'énergie des auxiliaires et k_{inc} un facteur de marge supérieur à 1. Ce modèle pédagogique doit être recalibré sur les données réelles de la flotte.

► Exercice — conserver une voie de retour

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA JSC — Rovers](#) et [NASA — Moon to Mars Architecture Components](#).

Sources primaires et passerelles

- [NASA JSC — Rovers](#)
- [NASA — Moon to Mars Architecture Components](#)