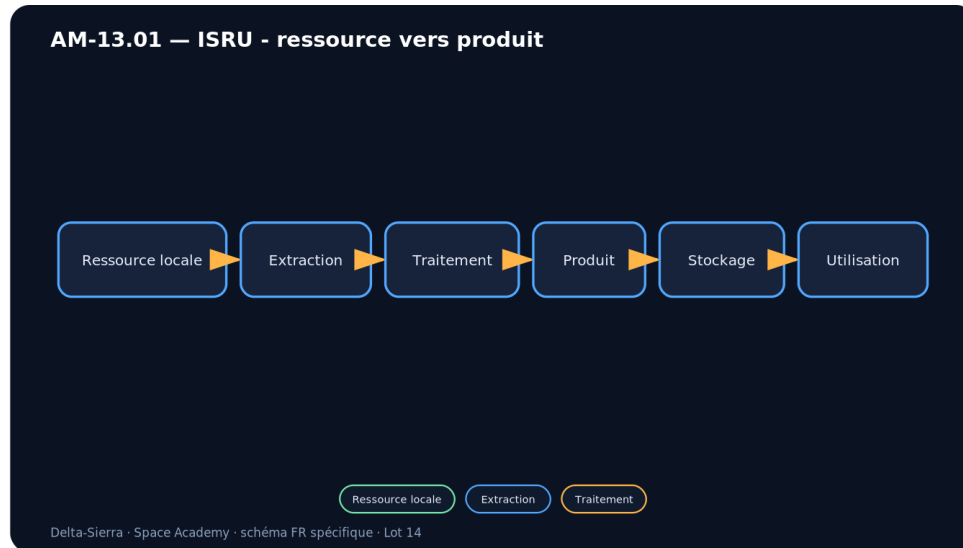


AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre

Question directrice

□ MESURÉ · □ CONVENTION · □ CALCULÉ · □ HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE · □ DONNÉE DE MISSION · △ APPROXIMATION



1 — Le phénomène réel

ISRU vient de l'anglais In-Situ Resource Utilization. On peut le traduire par « utilisation des ressources sur place ». L'idée est simple : au lieu d'apporter depuis la Terre toute l'eau, tout l'oxygène, tous les matériaux et éventuellement certains ergols, on cherche à produire une partie de ces besoins avec les ressources disponibles à destination.

La question directrice de ce cours est : Comment transformer une ressource locale en eau, oxygène, matériau ou autre produit réellement utilisable ? 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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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 « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », la frontière retenue précise aussi ce qui serait compté deux fois ou, au contraire, oublié dans un bilan de mission.

débit extrait, pureté, énergie spécifique, disponibilité machine, usure, stocks intermédiaires et rendement de conversion

une ressource moins riche que prévu, une machine d'excavation indisponible, un filtre colmaté ou un produit hors spécification

campagnes longues sur simulateurs, bilans matière-énergie, maintenance répétée et contrôle qualité du produit

Équation - preuve - décision

relation propre au cours

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », on teste notamment une ressource moins riche que prévu, une machine d'excavation indisponible, un filtre colmaté ou un produit hors spécification. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre

3 — Schéma propre au cours

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre ». 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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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

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 « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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. Exemple relation numérique du cours Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre ».

6 — Ce que la formule ne contient pas

La relation « relation propre au cours » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre ». 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 relation numérique du cours 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 : débit extrait, pureté, énergie spécifique, disponibilité machine, usure, stocks intermédiaires et rendement de conversion. On peut alors demander quelle variation modifie réellement le résultat, laquelle reste négligeable et laquelle oblige à changer d'architecture. Pour « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », cette limite de modèle indique précisément ce qu'un calcul

Tableau opérationnel

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

AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre**7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données**

Pour « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », l'observabilité repose sur débit extrait, pureté, énergie spécifique, disponibilité machine, usure, stocks intermédiaires et rendement de conversion. 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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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 « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », on teste notamment une ressource moins riche que prévu, une machine d'excavation indisponible, un filtre colmaté ou un produit hors spécification. 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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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

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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les

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:	relation propre au cours
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.

AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre**10 — Compromis d'architecture**

Une bonne solution pour « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre » 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 relation numérique du cours 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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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 « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre » combine campagnes longues sur simulants, bilans matière-énergie, maintenance répétée et contrôle qualité du produit. 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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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 « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre » 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 « ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre » 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.

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite ; 12 — Exercice de décision
Relation à relire:	relation propre au cours
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.

AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre

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 « AM-13.01 — ISRU : utiliser les ressources locales au lieu de tout apporter de la Terre », 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 — Current NASA Plans for Mars In-Situ Resource Utilization - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20180002086>

NASA NTRS — Integration of ISRU into Lunar/Mars Exploration - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20100021362>

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

NASA NTRS — Current NASA Plans for Mars In-Situ Resource Utilization - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20180002086>

NASA NTRS — Integration of ISRU into Lunar/Mars Exploration - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20100021362>

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

Tableau opérationnel	
Phénomènes / sections:	13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet ; Sources primaires spécifiques
Relation à relire:	relation propre au cours
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.	