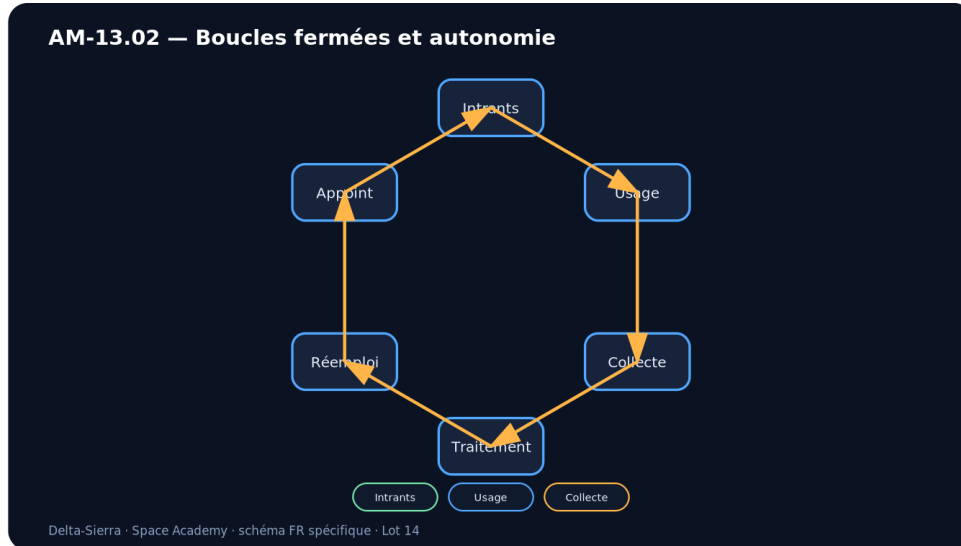


AM-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome

Question directrice

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



1 — Le phénomène réel

Une boucle fermée est un système qui récupère une matière après usage, la traite, puis la réutilise au lieu de la jeter. L'image mentale la plus simple est celle d'un réservoir d'eau : l'équipage utilise de l'eau, une partie devient urine, vapeur d'humidité, eau de lavage ou eau contenue dans des déchets ; le système tente d'en récupérer le maximum, la purifie puis la renvoie vers les usages autorisés.

La question directrice de ce cours est : Pourquoi une boucle très performante peut-elle rester dépendante de la Terre ? 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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 « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », la frontière retenue précise aussi ce qui serait compté deux fois ou, au contraire, oublié dans un bilan de mission.

débits, conductivité, carbone organique, pression, température, taux de récupération et volume de stock une membrane encrassée, un capteur qualité faux, une contamination croisée ou un stock tampon sous-dimensionné essais longue durée avec eaux représentatives, bilans massiques et analyses microbiologiques/chimiques

Équation - preuve - décision

relation propre au cours

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », on teste notamment une membrane encrassée, un capteur qualité faux, une contamination croisée ou un stock tampon sous-dimensionné. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

AM-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome**3 — Schéma propre au cours**

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome ». 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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 « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « AM-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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 « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome ».

6 — Ce que la formule ne contient pas

La relation « relation propre au cours » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome ». 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 : débits, conductivité, carbone organique, pression, température, taux de récupération et volume de stock. On peut alors demander quelle variation modifie réellement le résultat, laquelle reste négligeable et laquelle oblige à changer d'architecture. Pour « AM-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », cette limite de modèle indique précisément ce qu'un calcul correct ne permet 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:	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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome**7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données**

Pour « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », l'observabilité repose sur débits, conductivité, carbone organique, pression, température, taux de récupération et volume de stock. 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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 « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », on teste notamment une membrane encrassée, un capteur qualité faux, une contamination croisée ou un stock tampon sous-dimensionné. 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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-13.02 — Boucles fermées :

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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome**10 — Compromis d'architecture**

Une bonne solution pour « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome » 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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 « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome » combine essais longue durée avec eaux représentatives, bilans massiques et analyses microbiologiques/chimiques. 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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 « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome » 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 « Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome » 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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome

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-13.02 — Boucles fermées : pourquoi recycler 90 % ne veut pas dire être autonome », 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 — Advanced Exploration Systems Life Support Systems Project Overview - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210015025>

NASA — ISS Water Recovery Milestone - <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/nasa-achieves-water-recovery-milestone-on-international-space-station/>

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

NASA NTRS — Advanced Exploration Systems Life Support Systems Project Overview - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210015025>

NASA — ISS Water Recovery Milestone - <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/nasa-achieves-water-recovery-milestone-on-international-space-station/>

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

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.