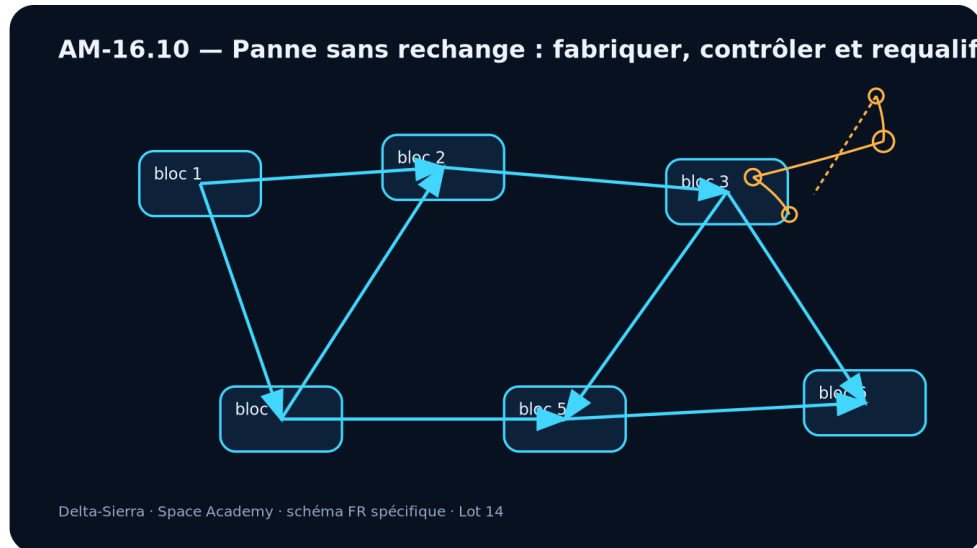


Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale

Question directrice

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



1 — Brief de mission

Décider si une pièce fabriquée sur Mars peut reprendre une fonction critique.

Cette mission finale oblige à utiliser plusieurs modules à la fois. Une réponse n'est considérée complète que si elle ferme les budgets physiques, décrit les capteurs et les actions, conserve une marge, prévoit une panne crédible et explique ce qui est demandé à l'équipage. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

2 — Carte du système

On commence par dessiner les flux de masse, énergie, information et autorité. Une flèche sans unité ou sans responsable est considérée incomplète. Cette carte sert ensuite à repérer les dépendances communes et les interfaces qui peuvent propager une panne. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

Fabriquer localement une pièce critique commence par l'exigence fonctionnelle, pas par l'imprimante. L'élève décrit les charges, interfaces, température, étanchéité éventuelle, durée de service et conséquences d'une rupture. Ce dossier permet de déterminer quelles caractéristiques doivent être reproduites et lesquelles peuvent être modifiées. Copier uniquement la géométrie d'une pièce terrestre sans comprendre sa fonction peut produire un objet dimensionnellement correct mais mécaniquement inacceptable.

Équation - preuve - décision

$$\text{marge} = \text{limite_admissible} - \text{charge_max}$$

Panne à tester : Vérifiez air, eau, thermique, radiation, nourriture, médecine et charge de travail uniquement lorsqu'ils sont pertinents pour cette mission. L'objectif est d'éviter le faux « tout va bien » d'un calcul technique qui oublierait le temps de sommeil, la capacité à enfiler un scaphandre ou la nécessité d'un second équipier pour une opération critique. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une

Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale**3 — Données et hypothèses**

Les nombres fournis sont des données de scénario pédagogique. L'élève doit les recopier avec leurs unités, ajouter les hypothèses manquantes et marquer séparément ce qui vient d'une source NASA. Toute valeur qui change le verdict doit faire l'objet d'une analyse de sensibilité. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

Les données de fabrication doivent inclure matière première, historique du procédé, orientation, paramètres machine et lot. Une marge de 15 % de matière ne compense pas une incertitude sur les propriétés. L'élève distingue donc marge de masse et marge de résistance, puis choisit des éprouvettes ou coupons permettant de vérifier le procédé avant de charger la pièce critique. La traçabilité devient une partie de l'objet fabriqué.

4 — Relation directrice

La formule n'est qu'un point d'entrée. Elle doit être reliée à un budget, à une mesure disponible et à un seuil de décision. Si une unité ne se simplifie pas correctement, le calcul s'arrête avant d'utiliser une calculatrice. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

5 — Calculs de départ

Marge mécanique $18 \text{ kN} - 12 \text{ kN} = 6 \text{ kN}$ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Temps fabrication $7 \text{ h} + 3 \text{ h contrôle} + 2 \text{ h essai} = 12 \text{ h}$ Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

Matière $4,8 \text{ kg} \times 1,15 = 5,52 \text{ kg}$ avec 15 % de marge matière Interpréter le résultat dans le budget global avant de prendre une décision.

6 — Budget masse, énergie et temps**Tableau opérationnel**

Phénomènes / sections: 3 — Données et hypothèses ; 4 — Relation directrice ; 5 — Calculs de départ

Relation à relire: $\text{marge} = \text{limite_admissible} - \text{charge_max}$

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

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 3 — Données et hypothèses ; 4 — Relation directrice ; 5 — Calculs de départ. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale

Construisez trois tableaux séparés. Le budget de masse distingue structure, consommables, rechanges et marge. Le budget énergétique distingue puissance instantanée et énergie accumulée. Le budget temps inclut opérations, maintenance, repos et délais de communication. Une marge positive dans un tableau ne compense pas automatiquement un déficit dans un autre. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

L’inspection doit combiner plusieurs niveaux. Mesure dimensionnelle, examen de surface, contrôle non destructif disponible et essai fonctionnel ne détectent pas les mêmes défauts. L’élève construit une chaîne de preuves adaptée aux moyens martiens. S’il manque une méthode de contrôle habituellement utilisée sur Terre, il doit réduire le domaine d’emploi, augmenter l’essai ou accepter que la pièce ne puisse pas être qualifiée pour une fonction donnée.

7 — Navigation, communications et connaissance d’état

Indiquez quelles variables doivent être connues localement, lesquelles peuvent être reconstruites plus tard par la Terre et quelle précision est nécessaire pour chaque décision. Le délai radio impose que la mise en sécurité et le diagnostic initial puissent être réalisés sans attendre une réponse terrestre. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

Le calcul $18\text{ kN} - 12\text{ kN} = 6\text{ kN}$ représente une marge de charge dans le scénario, mais elle doit être reliée au cas de charge et au facteur de sécurité retenu. L’élève vérifie aussi les modes de rupture non représentés par la charge maximale : fatigue, usure, température, flambement, fuite ou défaut local. Une pièce peut réussir un essai statique et rester inadaptée à plusieurs centaines de cycles.

8 — Survie et facteurs humains

Vérifiez air, eau, thermique, radiation, nourriture, médecine et charge de travail uniquement lorsqu’ils sont pertinents pour cette mission. L’objectif est d’éviter le faux « tout va bien » d’un calcul technique qui oublierait le temps de sommeil, la capacité à enfiler un scaphandre ou la nécessité d’un second équipier pour une opération critique. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	7 — Navigation, communications et connaissance d’état ; 8 — Survie et facteurs humains
Relation à relire:	$\text{marge} = \text{limite_admissible} - \text{charge_max}$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 7 — Navigation, communications et connaissance d’état ; 8 — Survie et facteurs humains. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale

Le temps de douze heures doit être placé dans la chronologie opérationnelle. Fabrication, contrôle et essai immobilisent machines, énergie et personnel ; une seconde tentative peut être nécessaire. L'élève compare cette durée à la durée pendant laquelle le système peut rester en mode dégradé. La faisabilité technique d'une pièce locale ne garantit donc pas que la réparation arrive avant l'épuisement de la marge opérationnelle.

9 — Incident injecté propre à la mission

La pièce critique fabriquée localement réussit l'inspection dimensionnelle mais présente une dispersion de propriétés matière : l'élève doit choisir un essai de preuve, une limite de charge et une durée de surveillance en service. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

Pour AM-16.10, la réponse doit montrer quelles grandeurs de « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale » sont recalculées, quelles hypothèses cessent d'être valides et quelle action est réversible avant de consommer une réserve irréversible.

Si les propriétés mesurées sont dispersées, l'élève ne choisit pas la meilleure valeur. Il cherche la cause, élargit l'échantillonnage, peut modifier le procédé ou réduire la charge admissible. Une requalification conditionnelle doit préciser les limites d'emploi, la durée autorisée et les inspections supplémentaires. Ce raisonnement transforme l'impression locale en processus d'ingénierie plutôt qu'en simple remplacement improvisé.

10 — Décision et justification

Terminez par une décision explicite : poursuivre, retarder, reconfigurer, abandonner une activité ou passer en mode refuge. Citez les trois grandeurs qui commandent cette décision et la marge restante. Une conclusion sans critère numérique ou opérationnel est considérée comme une opinion, pas comme une décision d'ingénierie. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	9 — Incident injecté propre à la mission ; ; 10 — Décision et justification
Relation à relire:	$marge = limite_admissible - charge_max$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêt

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 9 — Incident injecté propre à la mission ; ; 10 — Décision et justification. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale

Le dossier final conserve la configuration exacte de la pièce, les données matière, les résultats de contrôle, la preuve de charge, les limites et l'autorité qui a accepté son utilisation. Si une version suivante est fabriquée, elle reçoit un identifiant différent. Cette discipline permet à la base d'apprendre de ses réparations au lieu d'accumuler des pièces 'presque identiques' dont personne ne connaît plus l'historique.

11 — Livrables attendus

12 — Barème de validation

40 % : cohérence des calculs et unités ; 20 % : traitement des interfaces ; 15 % : marges et mode dégradé ; 15 % : facteurs humains et procédure ; 10 % : qualité des sources et séparation entre données, hypothèses et scénarios. Pour cette mission, le critère est appliqué explicitement à « Panne sans rechange : fabriquer, contrôler et requalifier une pièce locale ».

13 — Sources de référence

Sources primaires spécifiques

NASA TechPort — In-Space Manufacturing Portfolio - <https://techport.nasa.gov/projects/11874>

NASA-STD-8729.1A — Reliability and Maintainability Standard - <https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-87291>

NASA NTRS — NASA Methodology for Physics-of-Failure-Based Reliability - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20230004376>

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

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections: 11 — Livrables attendus ; 12 — Barème de validation ; 13 — Sources de référence

Relation à relire: $\text{marge} = \text{limite_admissible} - \text{charge_max}$

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

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 11 — Livrables attendus ; 12 — Barème de validation ; 13 — Sources de référence. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.