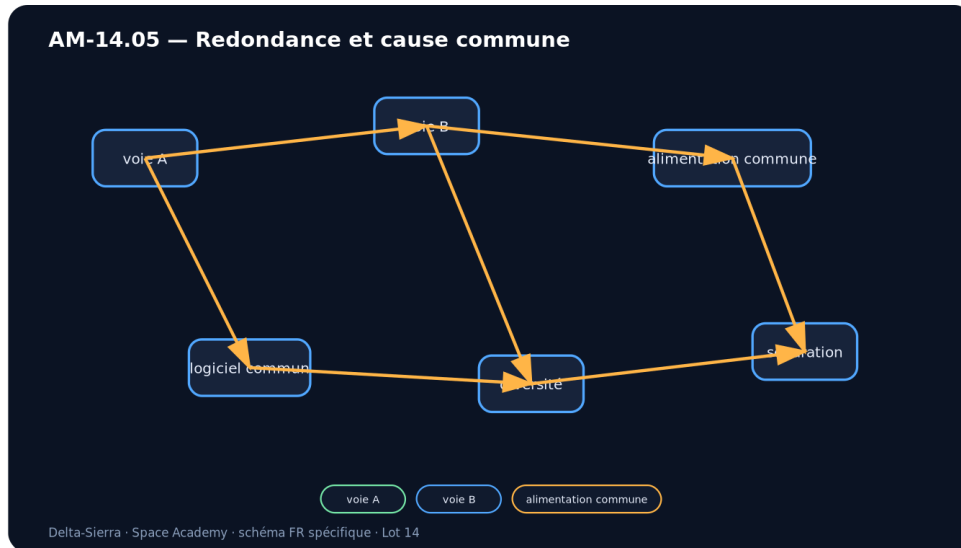


# Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours

## Question directrice

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



## 1 — Le phénomène réel

Deux équipements identiques peuvent partager alimentation, logiciel, refroidissement, capteur, pièce de rechange, contamination ou erreur de maintenance. Une cause commune peut donc neutraliser plusieurs voies simultanément. La diversité technologique peut réduire certains risques mais ajoute interfaces, formation et stocks différents. La question directrice de ce cours est : Quand une redondance apparente disparaît-elle au moment où on en a besoin ? 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours », la frontière retenue précise aussi ce qui serait compté deux fois ou, au contraire, oublié dans un bilan de mission.

taux de panne, heures de fonctionnement, marges, cycles, température, fuites, temps de réparation et disponibilité une cause commune, une dérive lente, une fatigue non couverte, une marge consommée ou une réparation qui introduit un nouveau défaut

essais de durée, cycles accélérés raisonnés, FMEA/FMECA, défauts injectés et suivi de configuration

### Équation - preuve - décision

$$P_{\text{perte}} = P(A \cap B)$$

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours », on teste notamment une cause commune, une dérive lente, une fatigue non couverte, une marge consommée ou une réparation qui introduit un nouveau défaut. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options ouvertes.

**Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours****3 — Schéma propre au cours**

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 CO<sub>2</sub> ou une procédure d'équipage. Pour « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 : la probabilité de perte simultanée dépend de l'intersection des événements A et B ; elle ne peut pas être obtenue par simple multiplication si les événements sont dépendants.

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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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**

$$0,02 \times 0,02 = 0,0004 = 0,04 \%$$

si 0,5 % des cas neutralisent les deux, cette cause domine l'exemple précédent

3 unités de 10 kW pour 20 kW requis → une panne simple tolérée

1. 1. Indépendance idéale  $0,02 \times 0,02 = 0,0004 = 0,04 \%$  Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours ».
2. 2. Cause commune pédagogique si 0,5 % des cas neutralisent les deux, cette cause domine l'exemple précédent Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours ».
3. 3. Capacité N+1 3 unités de 10 kW pour 20 kW requis → une panne simple tolérée Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de «

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

|                               |                                                                                                                          |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Phénomènes / sections:</b> | 3 — Schéma propre au cours ; 4 — Relation mathématique et lecture des symboles ; 5 — Calculs détaillés et interprétation |
| <b>Relation à relire:</b>     | $P_{\text{perte}} = P(A \cap B)$                                                                                         |
| <b>Décision attendue:</b>     | 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.

### Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours

La relation «  $P_{\text{perte}} = P(A \cap B)$  » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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  $0,02 \times 0,02 = 0,0004 = 0,04 \%$  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 : taux de panne, heures de fonctionnement, marges, cycles, température, fuites, temps de réparation et disponibilité. On peut alors demander quelle variation modifie réellement le résultat, laquelle reste négligeable et laquelle oblige à changer d'architecture. Pour « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours », l'observabilité repose sur taux de panne, heures de fonctionnement, marges, cycles, température, fuites, temps de réparation et disponibilité. 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours », on teste notamment une cause commune, une dérive lente, une fatigue non couverte, une marge consommée ou une réparation qui introduit un nouveau défaut. 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours », le mode dégradé

## 9 — Cas NASA / cas de référence

### Tableau opérationnel

|                               |                                                                                                                                               |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Phénomènes / sections:</b> | 7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération ; 9 — Cas NASA / cas de référence |
| <b>Relation à relire:</b>     | $P_{\text{perte}} = P(A \cap B)$                                                                                                              |
| <b>Décision attendue:</b>     | 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.

**Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours**

La référence NASA est utilisée comme dossier de preuve : exigences, fiabilité, maintenabilité, essais et configuration. Le cours ne transforme jamais un taux de panne générique en vérité universelle ; il montre au contraire comment une preuve est limitée à un matériel, un environnement et une durée définis.

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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 si 0,5 % des cas neutralisent les deux, cette cause domine l'exemple précédent 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours » combine essais de durée, cycles accélérés raisonnés, FMEA/FMECA, défauts injectés et suivi de configuration. 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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**

|                               |                                                                                                                |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Phénomènes / sections:</b> | 10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite ; 12 — Exercice de décision |
| <b>Relation à relire:</b>     | $P_{\text{perte}} = P(A \cap B)$                                                                               |
| <b>Décision attendue:</b>     | 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.

**Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux secours**

Situation : reprenez « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 « Redondance et causes communes : deux machines ne font pas toujours deux 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 — Reliability Analysis of Complex NASA Systems with Model-Based Engineering - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20200000582>

NASA NTRS — Addressing Reliability Analysis with FMEA and Reliability Block Diagrams - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160001835>

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

NASA NTRS — Reliability Analysis of Complex NASA Systems with Model-Based Engineering - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20200000582>

NASA NTRS — Addressing Reliability Analysis with FMEA and Reliability Block Diagrams - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160001835>

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

**Tableau opérationnel**

|                               |                                                                                                                           |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Phénomènes / sections:</b> | 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet ; Sources primaires spécifiques |
| <b>Relation à relire:</b>     | $P_{\text{perte}} = P(A \cap B)$                                                                                          |
| <b>Décision attendue:</b>     | 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.