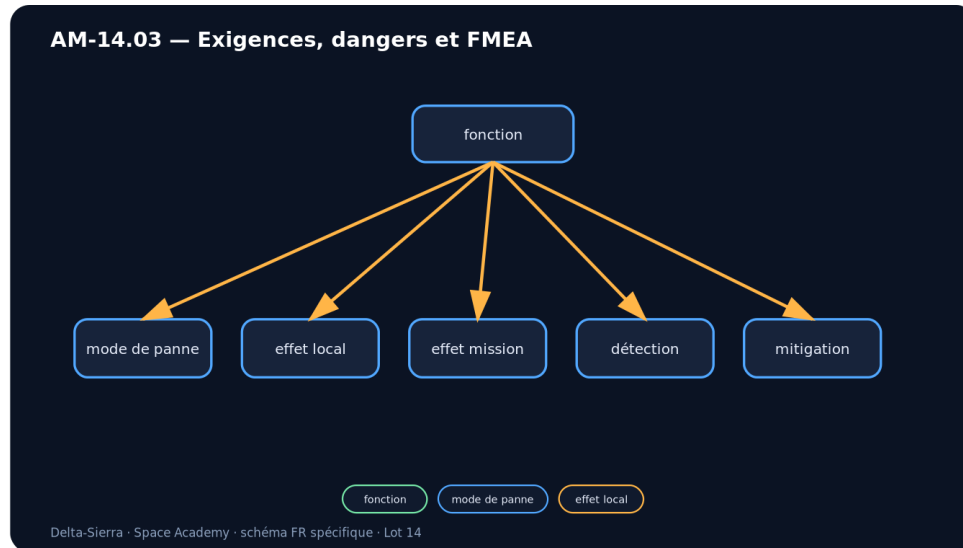


Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent

Question directrice

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



1 — Le phénomène réel

La sûreté commence par des fonctions et des dangers explicités. Une FMEA — analyse des modes de défaillance et de leurs effets — part d'un composant ou d'une fonction, demande comment elle peut échouer, quels effets suivent, comment la panne est détectée et quelles barrières existent. Le but n'est pas de remplir un tableau mais d'influencer la conception.

La question directrice de ce cours est : Comment transformer une inquiétude vague en exigences et scénarios vérifiables ? 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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

$$RPN = S \times O \times D$$

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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.

Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent**3 — Schéma propre au cours**

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent ». 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 : dans une méthode pédagogique, un nombre de priorité de risque peut être le produit de sévérité, occurrence et détectabilité ; la méthode réelle doit être définie par le projet.

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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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

$$8 \times 3 \times 4 = 96$$

$$\text{détectabilité } 4 \rightarrow 2 : 8 \times 3 \times 2 = 48$$

$$27 \text{ modes analysés sur } 30 \text{ identifiés} = 90 \%$$

1. 1. Indice pédagogique $8 \times 3 \times 4 = 96$ Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent ».

2. 2. Réduction détectabilité $4 \rightarrow 2 : 8 \times 3 \times 2 = 48$ Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent ».

3. 3. Couverture 27 modes analysés sur 30 identifiés = 90 % Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent ».

6 — Ce que la formule ne contient 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: $RPN = S \times O \times D$

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.

Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent

La relation « $RPN = S \times O \times D$ » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent ». 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 $8 \times 3 \times 4 = 96$ 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », le mode dégradé est

9 — Cas NASA / cas de référence**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:	$RPN = S \times O \times D$
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.

Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent

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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent » 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 détectabilité $4 \rightarrow 2 : 8 \times 3 \times 2 = 48$ 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent » 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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**

Phénomènes / sections:	10 — Compromis d'architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite ; 12 — Exercice de décision
Relation à relire:	$RPN = S \times O \times D$
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.

Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent

Situation : reprenez « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent » 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 « Exigences, dangers et FMEA : concevoir les pannes avant qu'elles n'arrivent », 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 — Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20000070720>

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

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

NASA NTRS — Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20000070720>

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

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

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections: 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet ; Sources primaires spécifiques

Relation à relire: $RPN = S \times O \times D$

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.