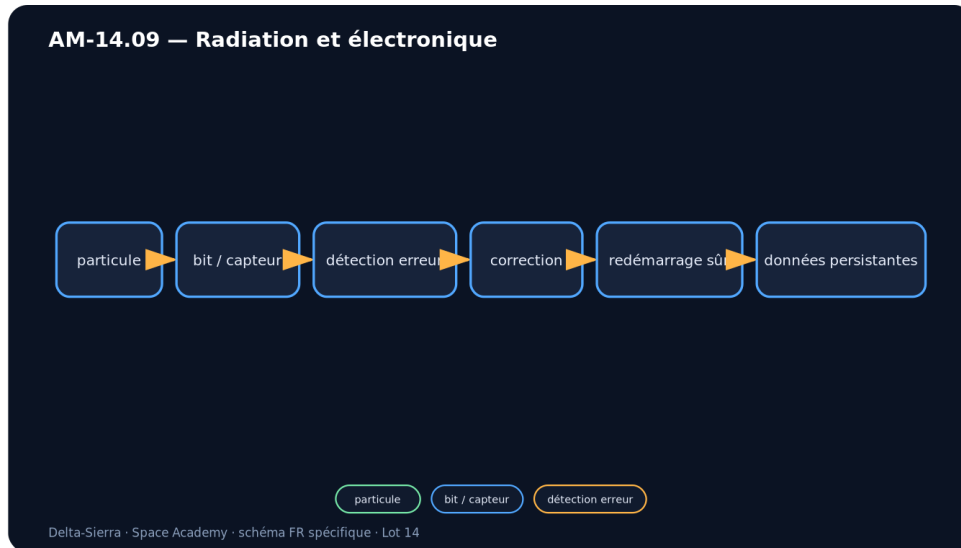


Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes

Question directrice

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



1 — Le phénomène réel

Les rayonnements peuvent provoquer des effets ponctuels ou cumulatifs sur l'électronique. La tolérance aux fautes associe choix de composants, blindage si pertinent, détection d'erreurs, mémoire protégée, watchdog, redondance, redémarrage contrôlé et état sûr. La donnée critique doit être vérifiée avant de devenir une action dangereuse. La question directrice de ce cours est : Comment concevoir un calculateur qui puisse se tromper sans perdre le système ? 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », la frontière retenue précise aussi ce qui serait compté deux fois ou, au contraire, oublié dans un bilan de mission.

erreurs mémoire, resets, dose, courant, température, disponibilité capteurs, cohérence des données et journal d'événements

un bit retourné, un watchdog mal configuré, une référence de temps fausse ou deux voies redondantes partageant la même alimentation

injection d'erreurs, irradiation lorsque pertinente, tests logiciels, vérification de données et simulations de mode sûr

Équation - preuve - décision

$$T_{\text{erreur}} = N_{\text{erreurs}} / t$$

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », on teste notamment un bit retourné, un watchdog mal configuré, une référence de temps fausse ou deux voies redondantes partageant la même alimentation. Le diagnostic demande quels symptômes apparaissent d'abord, lesquels sont seulement des conséquences, et quelle action garde le plus d'options

Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes**3 — Schéma propre au cours**

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes ». 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », 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 : le taux d'erreur est le nombre d'erreurs observées divisé par la durée.

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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », 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

$6 \text{ erreurs} \div 3\,000 \text{ h} = 0,002 \text{ erreur/h}$

$1 \div 0,002 \text{ erreur/h} = 500 \text{ h/erreur}$ en moyenne, uniquement sous hypothèse d'un taux stationnaire ; ce n'est pas une garantie de 500 h sans erreur

$8 \text{ cycles/j} \times 30 \text{ j} = 240 \text{ vérifications}$

1. 1. Taux $6 \text{ erreurs} \div 3\,000 \text{ h} = 0,002 \text{ erreur/h}$ Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes ».
2. 2. Intervalle moyen pédagogique $1 \div 0,002 \text{ erreur/h} = 500 \text{ h/erreur}$ en moyenne, uniquement sous hypothèse d'un taux stationnaire ; ce n'est pas une garantie de 500 h sans erreur Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes ».
3. 3. Scrubbing $8 \text{ cycles/j} \times 30 \text{ j} = 240 \text{ vérifications}$ Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Radiation, électronique et données

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: $T_{\text{erreur}} = N_{\text{erreurs}} / t$

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.

Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes

La relation « $T_{\text{erreur}} = N_{\text{erreurs}} / t$ » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes ». 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 6 erreurs ÷ 3 000 h = 0,002 erreur/h 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 : erreurs mémoire, resets, dose, courant, température, disponibilité capteurs, cohérence des données et journal d'événements. On peut alors demander quelle variation modifie réellement le résultat, laquelle reste négligeable et laquelle oblige à changer d'architecture. Pour « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », l'observabilité repose sur erreurs mémoire, resets, dose, courant, température, disponibilité capteurs, cohérence des données et journal d'événements. 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », on teste notamment un bit retourné, un watchdog mal configuré, une référence de temps fausse ou deux voies redondantes partageant la même alimentation. 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération
Relation à relire:	$T_{\text{erreur}} = N_{\text{erreurs}} / t$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêt

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 7 — Instrumentation, observabilité et qualité des données ; 8 — Pannes propres au phénomène et récupération. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu’elles deviennent des commandes

9 — Cas NASA / cas de référence

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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu’elles deviennent des commandes », 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu’elles deviennent des commandes » 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 $1 \div 0,002 = 500$ h/erreur si le taux restait constant 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu’elles deviennent des commandes », 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu’elles deviennent des commandes » combine injection d’erreurs, irradiation lorsque pertinente, tests logiciels, vérification de données et simulations de mode sûr. 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 étapes : 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu’elles deviennent des commandes », la démonstration doit reproduire les contraintes qui rendent ce phénomène difficile ; un essai spectaculaire mais hors domaine n’est pas suffisant.

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	9 — Cas NASA / cas de référence ; 10 — Compromis d’architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite
Relation à relire:	$T_{\text{erreur}} = N_{\text{erreurs}} / t$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêté

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 9 — Cas NASA / cas de référence ; 10 — Compromis d’architecture ; 11 — Démonstration, essais et critères de réussite. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.

Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes**12 — Exercice de décision**

Situation : reprenez « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes » 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes » 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 « Radiation, électronique et données : détecter les erreurs avant qu'elles deviennent des commandes », 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 — Compendium of Single Event Effects, TID and Displacement Damage - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20140017803>

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

NASA Safety and Mission Assurance — Reliability and Maintainability - <https://sma.nasa.gov/sma-disciplines/reliability-and-maintability>

NASA NTRS — Compendium of Single Event Effects, TID and Displacement Damage - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20140017803>

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

NASA Safety and Mission Assurance — Reliability and Maintainability - <https://sma.nasa.gov/sma-disciplines/reliability-and-maintability>

Tableau opérationnel

Phénomènes / sections:	12 — Exercice de décision ; 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet
Relation à relire:	$T_{\text{erreur}} = N_{\text{erreurs}} / t$
Décision attendue:	mesurer → comparer à la marge → choisir nominal, dégradé ou arrêt

Contrôle avant de continuer

Expliquez sans relire : 12 — Exercice de décision ; 13 — À retenir sans généraliser abusivement ; 14 — Sources primaires spécifiques au sujet. Donnez une grandeur mesurée, une marge et une décision possible.