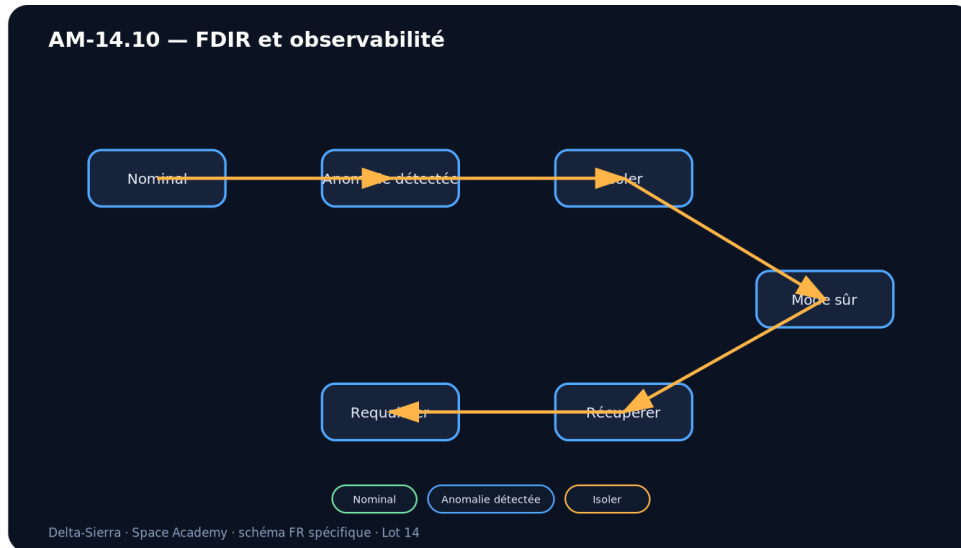


Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie

Question directrice

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



1 — Le phénomène réel

FDIR signifie Fault Detection, Isolation and Recovery. Détecter une anomalie ne suffit pas : il faut distinguer capteur faux, équipement dégradé, cause commune et effet secondaire, puis choisir une récupération compatible avec la sécurité. L'observabilité dépend de la qualité des capteurs et des modèles de cohérence.

La question directrice de ce cours est : Comment savoir ce qui est réellement tombé en panne quand plusieurs symptômes se ressemblent ? 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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

Résidu = mesure – prédiction

Panne à tester : La panne de référence n'est pas un vague « composant cassé ». Pour « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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.

Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie**3 — Schéma propre au cours**

Le schéma ne résume pas tout le module : il isole ce qui est spécifique à « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie ». 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 : un résidu est l'écart entre une mesure et la valeur prédite par le modèle.

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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie » combine des grandeurs qui n'ont pas toutes le même statut documentaire. Pour « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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

$$102,4 - 100,0 = +2,4 \text{ unités}$$

$$|2,4| > 2,0 \rightarrow \text{alarme dans cet exemple}$$

2 capteurs à 50 et 51 ; un à 88 → troisième suspect, à confirmer

1. 1. Résidu $102,4 - 100,0 = +2,4$ unités Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie ».

2. 2. Seuil $|2,4| > 2,0 \rightarrow$ alarme dans cet exemple Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie ».

3. 3. Vote capteurs 2 capteurs à 50 et 51 ; un à 88 → troisième suspect, à confirmer Interprétation : ce résultat n'est utilisé qu'après comparaison avec les unités, la marge et la frontière du scénario de « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie ».

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: Résidu = mesure – prédiction

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.

Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie

La relation « Résidu = mesure – prédiction » ne contient pas à elle seule l'ensemble de « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie ». 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 $102,4 - 100,0 = +2,4$ unités 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », le mode dégradé est défini

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:	Résidu = mesure – prédiction
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.

Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie

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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie » 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 [2,4] > 2,0 → alarme dans cet exemple 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie » 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 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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:	Résidu = mesure – prédiction
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.

Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie

Situation : reprenez « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie » 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 « Diagnostic et FDIR : détecter, isoler et récupérer après une anomalie », 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 — Lessons Learned on Implementing Fault Detection, Isolation and Recovery - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20130012528>

NASA NTRS — FDIR for Autonomous Space Systems - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20250003745>

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

NASA NTRS — Lessons Learned on Implementing Fault Detection, Isolation and Recovery - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20130012528>

NASA NTRS — FDIR for Autonomous Space Systems - <https://ntrs.nasa.gov/citations/20250003745>

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:	Résidu = mesure – prédiction
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.