

ARCHITECTURE DE SURVEILLANCE ET DE DIAGNOSTIC POUR LA MAINTENANCE DES SYSTEMES AVIONIQUES

Samir GHELAM-ALLAH, Jean-Pierre DERAÏN, Christian FEUILLEBOIS,
Serge VALLET*, Zineb SIMEU-ABAZI**

Résumé. - Cet article propose une architecture de surveillance pour les systèmes avioniques du futur. La problématique qui nous est posée est de parvenir à améliorer les performances de détection et de surveillance en ligne des systèmes embarqués. Parmi l'ensemble des nouveaux concepts qui peuvent être retenus, le suivi de tendance du comportement du système en temps réel, reste une solution que nous pouvons envisager. Cet article propose une architecture de surveillance intégrant cette solution qui est associée au nouveau concept de maintenance proactive. La reconfiguration automatique qui en découle ne sera pas traitée dans cet article.

Mots-clés : surveillance, systèmes avioniques, détection, systèmes embarqués, suivi de tendance, maintenance proactive.

1. Introduction

Dans le secteur aéronautique, la maintenance représente à ce jour la tâche la plus coûteuse dans le cycle de vie d'un aéronef. De plus en plus d'industriels du secteur aéronautique s'unissent au travers de projets de recherche européens dans le but d'élaborer les technologies qui permettront de palier ces coûts. Les grandes lignes directrices seront l'amélioration de la disponibilité des appareils et l'optimisation des coûts liés à la maintenance des équipements, et

* EUROCOPTER, samir.ghelam@eurocopter.com, jean-pierre.derain@eurocopter.com,
christian.feuillebois@eurocopter.com, serge.vallet@eurocopter.com.

** Laboratoire d'Automatique de Grenoble (CNRS-INPG-UJF), Zineb.Simeu-Abazi@inpg.fr.

ce, durant tout le cycle de vie de l'appareil. Les acteurs industriels qui y contribuent sont divers et nombreux : de l'équipementier aux compagnies aériennes et opérateurs en passant par les différents *airframers*, tous les niveaux sont impliqués dans cette tâche d'optimisation des coûts. L'approche consisterait à repenser la façon de maintenir un aéronef en proposant de nouveaux scénarii de maintenance. Nous proposerons dans cet article une définition plus précise de ce qu'est un scénario et quelques exemples pour en illustrer le principe. Ces scénarii impliquent intrinsèquement l'implémentation de nouveaux concepts comme par exemple la « proactivité » ou encore « le suivi de tendance ». Ce sont plus précisément ces nouveaux concepts qui seront exposés plus en détails dans cet article. Ces nouveaux concepts doivent en principe se décliner aux différents sous-ensembles de l'aéronef comme l'avionique, les structures, les utilitaires ou les moteurs.

Parmi ces domaines d'application et parmi le pool de nouveaux concepts, nous choisirons d'attacher une importance particulière à la définition du nouveau concept de maintenance proactive appliqué aux équipements embarqués ou LRU (Line Replace Unit). Nous intégrerons nos synoptiques non pas dans l'avionique AHCAS (Avionique Standard) mais plutôt dans un contexte modulaire (Avionique nouvelle).

Après une brève présentation des politiques de maintenance actuelles, nous proposerons un ensemble de nouveaux concepts et en particulier le concept de maintenance proactive. Ensuite, une proposition d'architecture globale de surveillance de la santé des systèmes sera représentée, elle aura pour finalité d'anticiper une panne avant son occurrence.

2. Description d'un système avionique

Un système avionique regroupe tous les équipements électroniques dédiés à une même fonction nécessaire au pilotage d'un hélicoptère.

- Système de Navigation
- Système de Pilotage automatique
- Système de Surveillance moteurs
- Système de Mission
- Système de Communication

Un système avionique est composé d'un ensemble de LRU, une fonctionnalité est associée à chacun des LRU. La démarche proposée de surveillance/ diagnostic est appliquée à ce type de système. Les systèmes étudiés sont basés sur l'avionique modulaire. L'avionique modulaire offre

l'avantage, comme le montre la figure 1, de renfermer toutes les fonctionnalités en minimisant aussi bien la taille que le poids des équipements à bord. Dans cette architecture standardisée, la partie modélisation se trouve aussi facilité par le fait que chaque sous système est modélisé séparément par un modèle à état.

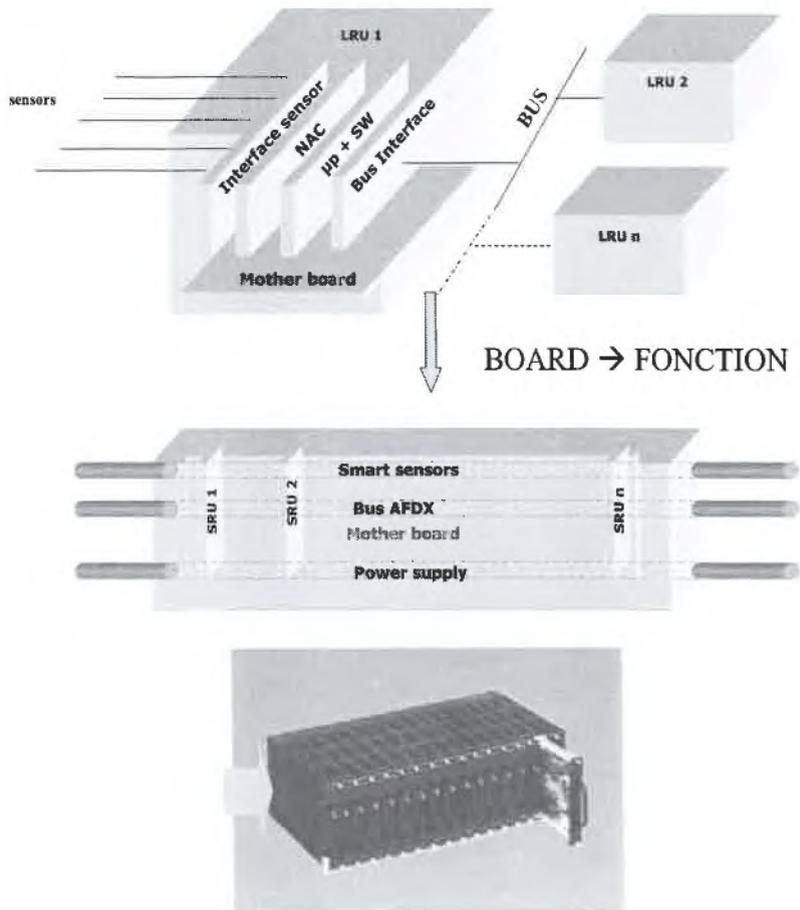


Figure 1 - Avionique modulaire

3. Concepts actuels : La maintenance dans le secteur aéronautique

Les principaux objectifs d'un programme de maintenance [PRE-01] sont les suivants :

- 1) assurer un bon niveau de fiabilité des équipements
- 2) remettre en état à la suite d'une défaillance, en assurant bon niveau de fiabilité l'équipement défaillant (disponibilité)
- 3) minimiser les coûts de mise en oeuvre

À chaque étape de la vie d'un aéronef, qu'il s'agisse d'un avion ou d'un hélicoptère, la priorité est donnée à la sécurité. Globalement la maintenance d'un aéronef peut dépendre du lieu (à la base, en ligne ou en hangar), du moment (programme recommandé d'entretien ou maintenance corrective non programmée) et enfin du niveau d'intervention (1, 2 ou 3 proportionnellement à l'importance des moyens mis en œuvre lors de l'intervention).

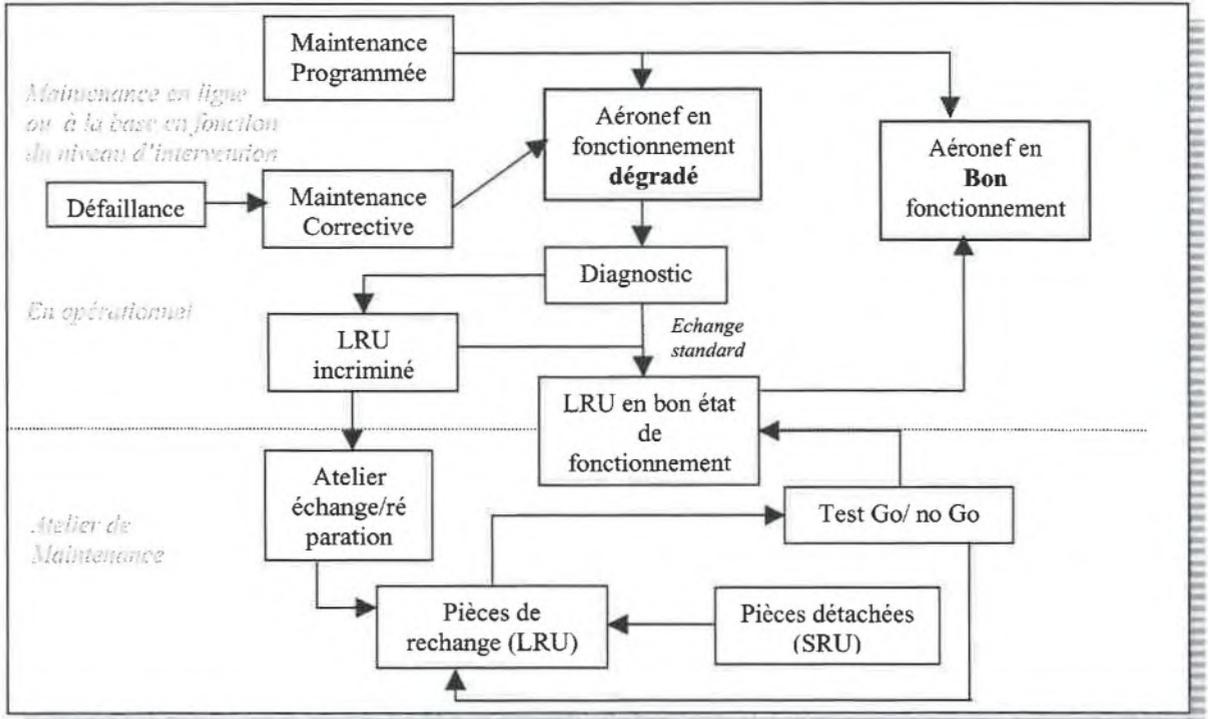


Figure 2 - Processus de maintenance

Une maintenance programmée [PRE-01] peut entraîner la dépose et la vérification d'état des sous-ensembles de l'aéronef à des dates bien déterminées. Contrairement au nouveau concept de maintenance proactive, la maintenance préventive est de nature systématique et ne tient pas compte de l'évolution de la santé des systèmes. Il s'agit d'une maintenance préventive en particulier au niveau véhicule, structure, moteurs et utilitaires, mais plus rarement au niveau des équipements avioniques (LRU). En effet, les LRU disposent actuellement d'autotests intégrés ou Built-In Tests (BIT) qui sont capables de révéler un dysfonctionnement sur un LRU durant un vol. Au sol, à bord du cockpit, et après avoir basculé en mode maintenance, il est possible de lire un listing de ces pannes sur un écran de visualisation qui est relié à un ordinateur qui est lui-même connecté à l'ensemble des LRU via un bus ARINC. Des stations sols modernes ou AMU (Avionic Maintenance Unit) permettent aussi de visualiser ces pannes et d'affiner un diagnostic. Pour cela l'AMU télécharge la liste des LRU incriminés et les données de

contexte stockées dans le calculateur. Dans tous les cas il s'agit de maintenance corrective, c'est-à-dire que nous intervenons qu'après l'occurrence d'une panne (figure 2).

D'autre part, on observe actuellement une augmentation très importante des équipements électroniques dans les aéronefs qui amène à une remise en cause fondamentale de la politique de maintenance utilisée. Son évolution doit tenir compte à la fois de l'augmentation et de la diversité des systèmes à tester ainsi que de l'exigence croissante des clients. Ceux-ci attendent que la disponibilité de leur matériel augmente tout en voyant diminuer le coût de maintenance. Les prochains paragraphes tenteront de proposer des solutions pour répondre à ces exigences.

4. Les nouveaux concepts de maintenance

Dans le chapitre précédent, nous avons constaté que la composante prédictive de la maintenance de l'avionique telle qu'elle existe à l'heure actuelle se limite à de la maintenance préventive conditionnelle à caractère systématique, ce qui est différent de la maintenance proactive que l'on envisage qui utilise, fait appel à une fonction de suivi de tendance des paramètres en temps réel.

En opérationnel, la maintenance de l'avionique se résume à une maintenance corrective résultant des pannes qui ont été enregistrées pendant le vol. Parfois le temps incompressible mais pas moins nécessaire pour effectuer un diagnostic ou une levée d'ambiguïté sur des pannes peut entraîner des retards conséquents voire l'annulation de la remise en service de l'appareil. Cela représente une perte de coût dommageable pour le client. De telles tâches de maintenance non programmées ne pourraient-elles pas être différées jusqu'à une prochaine maintenance programmée afin de gagner du temps en opérationnel ? Quels seraient les moyens qui nous permettraient de rendre réalisable ce scénario extrême ? La réponse à cet exemple de scénario passe par la mise en place de nouveaux concepts et de nouvelles technologies.

Pour couvrir les exigences de l'ensemble des scénarii possibles, nous pouvons d'ores et déjà proposer un pool de nouveaux concepts que l'on peut classer et grouper en quatre principaux thèmes [ANN-01]:

- **La gestion de la santé (*Health management*)** des équipements qui consiste à suivre l'évolution de paramètres dans le but d'introduire une maintenance proactive.
- **La maintenance proactive** qui en résulte dont l'objectif est la prédiction d'une panne sur un équipement avant son occurrence suivie d'une phase de décision.
- **La maintenance différée**, étroitement liée à la reconfiguration automatique et aux traitements des résultats de la gestion de la santé des systèmes. qui permet la

poursuite du vol en présence de panne sans affecter les performances de sûreté. L'action de maintenance est alors reportée à une autre date.

- **L'amélioration des méthodes pour le diagnostic** qui permettent pour un système complexe, une localisation rapide de panne.

Ces nouveaux concepts ont un objectif commun : améliorer la disponibilité des équipements. A la base, ces concepts peuvent très bien s'appliquer aux structures ou encore aux moteurs mais dans cet article, nous détaillerons le concept de maintenance proactive appliquée aux LRU. Une structure de surveillance est proposée dans le paragraphe 4.

Les nouveaux concepts sont les moyens mis en œuvre pour implémenter les scénarii de « maintenance du futur ». Les nouveaux scénarii sont une façon de repenser la maintenance. Illustrons cela par quelques exemples :

- Transfert de certaines tâches de maintenance en ligne vers de la maintenance en hangar. Ce scénario permettrait de gagner du temps en opérationnel et de limiter les retards occasionnés par la maintenance. Ce scénario peut faire appel au concept de maintenance différée qui supporte des technologies comme celles liées à la « selective passivation » qui isole les zones hardware ou software défectueuses sans altérer la fonctionnalité de l'équipement, ce qui permet une meilleure tolérance aux pannes.
- « Hand free documentation » . Ce scénario fait appel au concept de maintenance « orienté process » : les équipes de maintenance au sol disposeraient d'outils évolués de gestion de documentation. Les cartes de travail seraient informatisées et projetées sur des outils nomade device (Accessoires de visualisation portatifs).
- Améliorer la réactivité des équipes au sol avant la réception d'un appareil. Ce scénario peut faire appel aux concepts de « maintenance proactive » voire à de la télémaintenance qui permettrait de récupérer les données de maintenance par voie hertzienne. Les données de maintenance proactive permettraient aux équipes au sol de mieux anticiper une défaillance.

5. Proposition d'une architecture de surveillance/diagnostic

5.1 Première proposition : Expertise embarquée

La demande croissante de disponibilité des équipements justifie l'intérêt grandissant porté aux méthodes plus avancées de conduite incluant des techniques performantes de détection de

défauts. Lorsqu'un défaut apparaît, il doit être détecté le plus rapidement possible et ensuite localisé et sa cause identifiée. Ainsi, les classiques étapes d'observation et de suivi doivent être assistées par une étape plus "intelligente". Cette étape doit utiliser l'ensemble des informations disponibles au moyen d'un modèle explicite.

Les méthodes de surveillance et de diagnostic se répartissent en deux grandes classes selon que l'on dispose d'un modèle du processus à surveiller ou non [BLA-03]. Dans le premier cas, on utilise la connaissance fournie par le modèle pour caractériser les modes de fonctionnement ou l'état du système, puis décider s'il est normal ou anormal [ABD-01]. Dans le deuxième cas, c'est l'analyse des données fournies par le système qui permet de décider de son état. Les méthodes utilisées font appel à des procédures d'apprentissage, de reconnaissance des formes ou à l'intelligence artificielle. Dans notre cas, nous utiliserons les méthodes basées sur un modèle [SIM-03], [SIM-04].

L'objectif étant de surveiller et de diagnostiquer d'éventuels défauts dans un LRU. Le diagramme du système de surveillance/diagnostic est proposé dans figure 3.

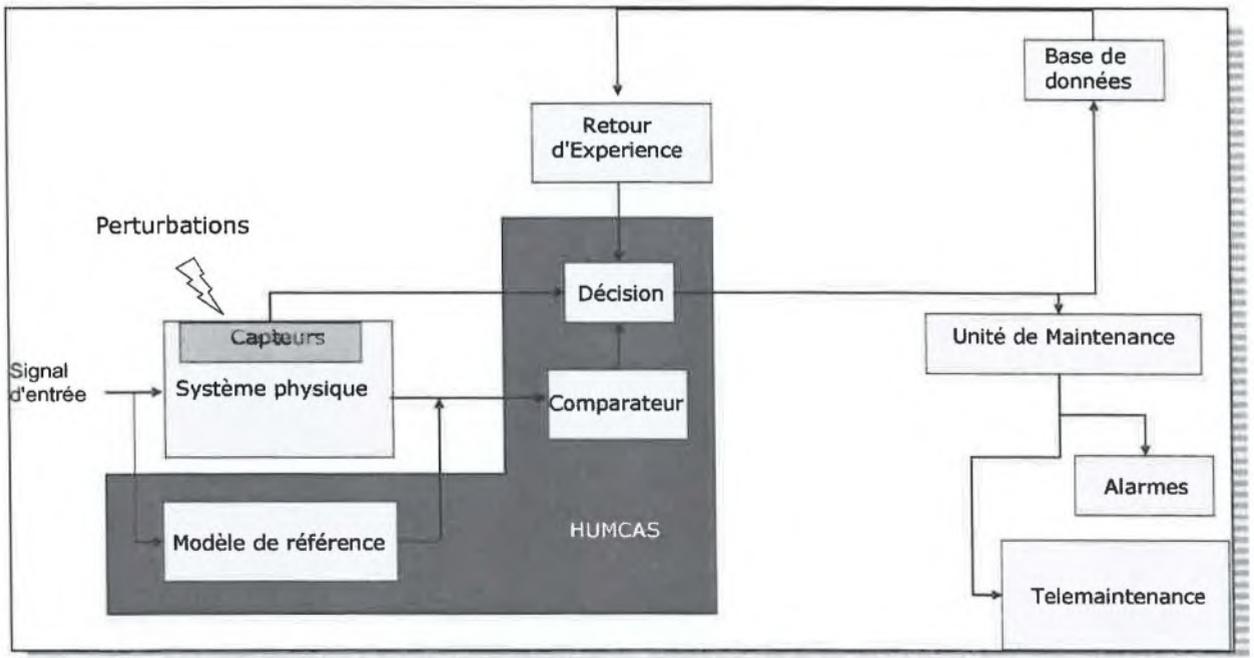


Figure 3 - Structure globale du système de surveillance/diagnostic embarquée (proposition 1).

Le **modèle de référence** est le modèle qui sert directement à la détection de défaillance. La qualité du résultat dépend directement de la qualité du modèle. La mise en œuvre du modèle nécessite une modélisation complète et précise. Les outils efficaces de modélisation utilisés dans

le cas de systèmes électroniques sont les modèles à états qui ont montré leurs preuves dans le domaine du test.

La détection de défauts peut être divisé en deux étapes. Lors de la première étape réalisée par le **comparateur**, les signaux de sortie du système physique et du modèle de référence sont utilisés pour générer un signal mettant en évidence la présence d'un défaut. En fonctionnement normal (absence de défaut), ce signal est statistiquement nul et s'écarte notablement de zéro en présence de défauts. Dans la seconde étape, les écarts constatés lors de la première étape sont analysés pour décider s'il y a ou non présence de défaut, sur quel composant du système (localisation) et déterminer la nature du défaut et sa cause (identification). C'est là le rôle de l'organe de **décision** qui peut s'effectuer à l'aide d'un simple test de dépassement de seuil ou faire appel à la théorie de décision statistique. De plus, la décision peut être complétée des données de retour d'expérience.

La structure proposée utilise une fonction notée "HUMCAS" (Health and Usage Monitoring Computer for Avionic Systems). Les trois éléments qui constituent cette base ont un rôle complémentaire et nécessitent des méthodes d'analyse à développer. Ainsi, le modèle à état est utilisé pour le modèle de référence qui doit traduire au mieux le comportement du système réel [RAY-03] [SAV-01]. Une méthode d'analyse statistique et de seuillage est mise en œuvre pour le comparateur dont le rôle est de comparer en permanence les signaux de sortie du système avec ceux attendus [BLA-03]. Quant à la partie décision, les techniques de raisonnement à partir de cas (Case Based Reasoning) peuvent être utilisées.

5.2 *Deuxième proposition HUMCAS au sol*

La solution embarquée ci-dessus comporte certains inconvénients qu'il sera nécessaire de prendre en compte.

L'architecture ci-dessus embarque la fonction de surveillance HUMCAS à bord de l'aéronef, ce qui est ne va pas dans le sens de la politique de conception des architectes avioniques qui tendent à minimiser les informations remontées vers le pilote et déplacer l'expertise vers le sol.

De plus, le fait de communiquer au pilote un pronostic pendant le vol ne lui permettrait pas, pour autant, d'effectuer une opération de maintenance pendant ce même vol.

Ce qui nous amène à nous pencher vers une refonte de l'architecture initialement proposée. L'architecture suivante est basée sur les mêmes principes que la précédente, à savoir que l'HUMCAS intègre toujours le **modèle** de référence, le **comparateur** et l'organe de **décision**.

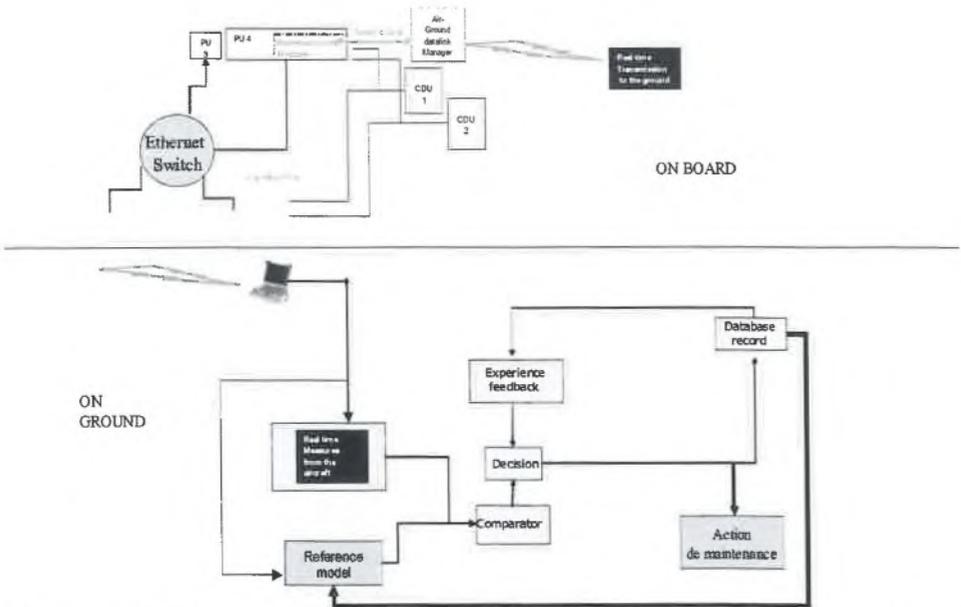


Figure 4 - Structure globale du système de surveillance/diagnostic au sol (proposition 2).

Le calculateur de maintenance centralise les paramètres de surveillance et les retransmet en temps réel via le système de télétransmission. Ces données transmises au sol seront traitées par la station d'expertise intégrant l'HUMCAS.

6. Application à l'architecture modulaire

L'architecture de maintenance proactive est appliquée au système avionique modulaire. Des capteurs thermiques sont intégrés au système modulaire permettant ainsi la détection d'une dégradation due à une élévation de température. L'implantation de l'HUMCAS pour l'avionique est représentée sur la figure 5.

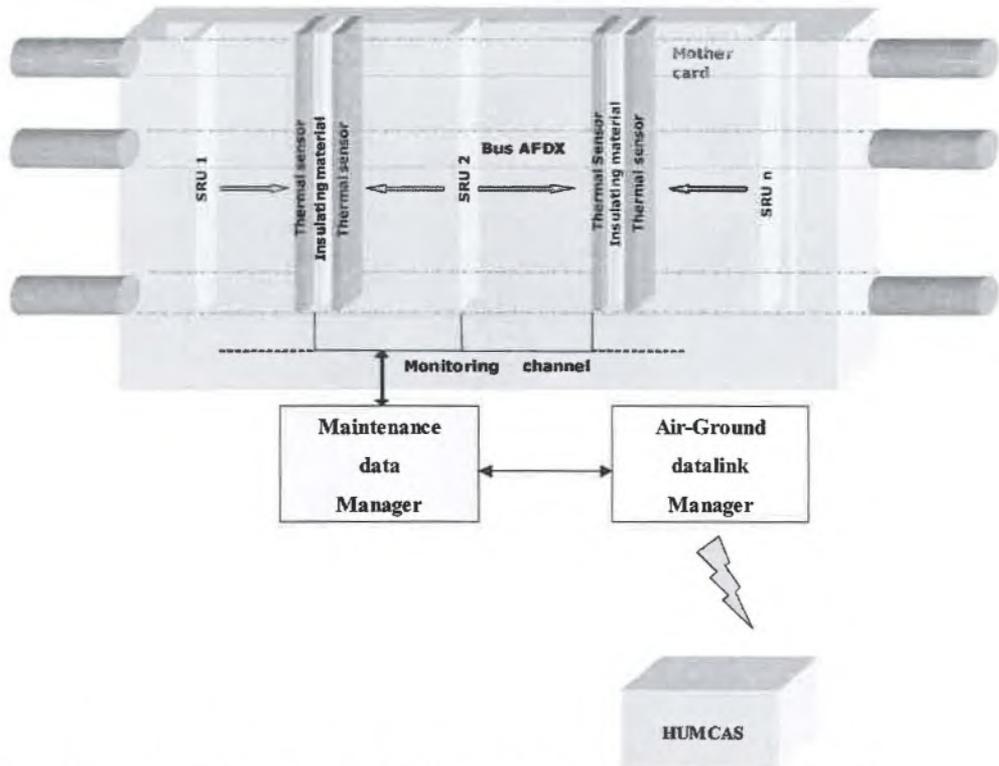


Figure 5 - Implantation de l'HUMCAS pour l'avionique modulaire

7. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons présenté l'architecture globale du système de surveillance /diagnostic qui peut être utilisée pour différents équipements électroniques. Des évolutions de cette proposition d'architecture sont envisageables en fonction de son aptitude à être intégrée dans l'environnement avionique en fonction des contraintes de certification.

Ce travail rentre dans le cadre d'un projet Européen TATEM (Techniques And Technologies for nEw Maintenance concepts). Certains détails ne sont pas développés pour des raisons de confidentialité.

8. Références

- [ABD-01] A. Abdelhay *Test en Ligne des Systèmes Digitaux Linéaires* Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Avril 2001.
- [ANN-01] Annexe 1 Techniques and technologies for new maintenance concepts. TATEM Project 6^e Plan Cadre.
- BLA-03] M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, and M. Staroswiecki. *Diagnosis and Fault-tolerant Control*. Springer Verlag, 2003.

- [LUN-00] J. Lunze and J. Schröder. *Sensor and actuator fault diagnosis of systems with discrete inputs and outputs*. Automatica, 2000.
- [PRE-01] Programme Recommandé d'Entretien Super Puma MK2+. Eurocopter.
- [RAY-03] H. Rayhane and Z. Simeu-Abazi and T.Bennani. *Surveillance des systèmes de production par automates temporisés*. Conférence Internationale en Productique, CIP'03, 14-16 Octobre 2003.
- [SAV-01] A.T. Sava. *Sur la synthèse de la commande des systèmes à événements discrets temporisés*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, November 2001.
- [SIM-04] Z. Simeu-Abazi and J. Zikmund and Z.Bouredji. *Monitoring and predictive maintenance: optimisation of fault latency*. IMS, Arles, July 2004.