



**HAL**  
open science

# EXPLOITATION DE DONNEES DE RETOURS D'EXPERIENCE MULTI-INDUSTRIELS POUR LA CONSOLIDATION DES MODELES FIDES

Rachel Ares Belkheiri, Kevin Zurbuch

► **To cite this version:**

Rachel Ares Belkheiri, Kevin Zurbuch. EXPLOITATION DE DONNEES DE RETOURS D'EXPERIENCE MULTI-INDUSTRIELS POUR LA CONSOLIDATION DES MODELES FIDES. QUALITA2013, Mar 2013, Compiègne, France. hal-00823148

**HAL Id: hal-00823148**

**<https://hal.science/hal-00823148>**

Submitted on 16 May 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Exploitation De Données De Retours D'expérience Multi-Industriels Pour La Consolidation Des Modèles Fides

Auteurs : Kevin Zurbuch

LGM

5 av. de l'Esc. Normandie Niemen

31700 Blagnac

05 61 16 92 82

kevin.zurbuch@lgm.fr

Michel Giraudeau

Thales Systèmes

Aéroportés

2, avenue Gay Lusac

78851 Elancourt Cedex

01 41 30 38 66

michel.giraudeau@fr.thalesgroup.com

Stéphanie Wong

Thales Communications &

Security

2-4 avenue des Louvresses

92230 Gennevilliers

01 41 30 41 54

stephanie.wong@thalesgroup.com

## RÉSUMÉ

Cette communication présente les résultats d'une étude qui a consisté à définir et mettre en oeuvre un processus de Retour d'EXpérience (REX) à grande échelle, pour à valider ce processus et consolider les modèles FIDES :

- Synthèse des processus REX de 8 industriels différents, et définition d'un processus standard,
- Suivi de 14 équipements, avec différentes technologies et des environnements Terre Air et Mer,
- Exploitation du REX au niveau composant, (5 1011 heures calendaires d'utilisation compilées),
- Evaluation des fiabilités opérationnelles, et comparaison aux modèles de fiabilité prévisionnelle,
- Réalisation d'analyses de défaillances pour une meilleure connaissance des mécanismes de défaillances.

Résultats obtenus :

- Le processus REX commun mis en oeuvre par les cinq industriels, a donné satisfaction,
- L'étude a démontré l'intérêt de réaliser des analyses de défaillances pour connaître les causes racines des pannes,
- La consolidation de la méthodologie et les modèles FIDES a été obtenue par :
  - La conformité aux estimations prévisionnelles FIDES par rapport au REX,
  - La réalisation d'une étude comparative des contributeurs physiques prévisionnels FIDES par rapport au REX,
  - Les constats d'une prépondérance des overstress par rapport aux pannes d'origine intrinsèque,
  - La mesure d'un  $\square_{\text{process}}$  proche des résultats d'audits des industriels.
- Au terme de l'étude, 43 recommandations ont été formulées pour une bonne mise en oeuvre du retour d'expérience.

## SUMMARY

This paper presents a study which consists in defining and implementing a process of Experience feedback large-scale intended to validate an in Service feedback process and to consolidate the FIDES models:

- Synthesis of the processes REX of 8 different industrials, and definition of a standard process,
- Follow up of 14 equipments, with various technologies and environments as airborne, ground and naval,
- Exploitation of the in service feed back at the component level, (5. 10<sup>11</sup> calendar use hours),
- Evaluation of the operational reliabilities by families of components, and comparison with reliability prediction models,
- Realization of failures analysis to a better knowledge of failure mechanisms.

Obtained results

- The common REX process implemented by the five industrials who follow equipments works,
- The study demonstrated the interest to perform failure analysis to know the causes roots of the failure,
- The consolidation of the methodology and the FIDES models was obtained by:
  - The conformity with the forecast estimations FIDES with regard to the REX,
  - The realization of a comparative study of the provisional physical contributors FIDES versus REX,
  - Report of an ascendancy of overstress with regard to the breakdowns of intrinsic origin,
  - The measure of a  $\square_{\text{process}}$  close to the industrialists audits results,
- At the end of the study, 43 recommendations were formulated for a good implementation of the experience feedback.

---

## INTRODUCTION

L'exploitation du Retour d'EXpérience (REX) est indispensable pour connaître la fiabilité opérationnelle des équipements électroniques. C'est également un moyen pour vérifier la validité des modèles de fiabilité prévisionnelle.

On entend par REX, le Retour d'EXpérience lié aux défaillances observées durant l'utilisation opérationnelle des équipements. L'activité principale consiste à identifier et analyser les défaillances observées sur les équipements, sur une période donnée pour un type de porteur et de profil de vie donné. Ensuite, une recherche des causes racines permet d'identifier les points faibles et de proposer des actions permettant l'amélioration de la fiabilité des équipements ou des équipements futurs.

Au cours du Lambda MU 17, une communication avait présenté le contexte de l'étude ainsi que les premiers résultats observés. Par cette présente communication, l'ensemble des résultats obtenus est présenté, ainsi que les principaux constats et conclusions.

La mise en oeuvre d'un processus REX sur des équipements permet la comparaison entre la fiabilité réelle observée et les prévisions de fiabilité pouvant être réalisées par différentes méthodes. Les résultats obtenus doivent être analysés et exploités pour valider la ou les méthodologies de fiabilité prévisionnelle mises en oeuvre.

La Direction Générale de l'Armement a exprimé son besoin d'une optimisation de la fiabilité des matériels et le juste dimensionnement du MCO par l'établissement de méthodes de prédiction de fiabilité réalistes et partagées entre la DGA et ses fournisseurs. Un premier Plan d'Etude Amont (PEA) a permis de définir la méthodologie de fiabilité prévisionnelle FIDES. Un deuxième dédié au Retour d'EXpérience (REX) a permis de conforter les modèles établis notamment par :

- l'évaluation macroscopique des taux de défaillance observés par famille de composants électroniques,
- l'exploitation des analyses de défaillances des composants électroniques défectueux pour valider la correspondance entre les mécanismes de défaillances liés aux stress physiques observés et les paramètres donnés dans la méthodologie FIDES,
- les comparaisons des résultats obtenus au niveau équipement entre les fiabilités opérationnelles et prévisionnelles réalisées avec la méthode Part Count de FIDES.

Cette communication a pour objectif de réaliser une présentation de l'étude « REX » qui a consisté à définir et mettre en oeuvre un processus de Retour d'EXpérience (REX) Innovant :

- réalisation d'une synthèse des processus REX de 8 industriels différents,
- choix d'une variété d'équipements suivis, des technologies et des environnements d'utilisation,
- exploitation du REX jusqu'au niveau composant,
- évaluation des fiabilités opérationnelles par famille de composants,
- comparaison des résultats obtenus aux modèles de fiabilité prévisionnelle utilisés et FIDES au niveau équipement,
- réalisation d'analyses de défaillances pour une meilleure connaissance des mécanismes de défaillances et la consolidation des modèles FIDES.

## PRÉSENTATION DU PEA REX

### 1 - Objectifs

L'objet du PEA était de :

- définir et expérimenter une méthodologie de collecte et d'exploitation de données REX commune aux différents acteurs du projet,
- améliorer la connaissance concernant les mécanismes de défaillances ; les causes racines de pannes ; le contexte d'apparition de pannes ; le profil de vie opérationnel des équipements,
- consolider les modèles de calcul de fiabilité prévisionnelle.

Au travers de ces objectifs, les attentes sous-jacentes des différents participants sont les suivantes :

- une amélioration du processus REX mis en oeuvre au sein de chaque entité,
- une meilleure connaissance de la fiabilité opérationnelle des équipements,
- une optimisation du MCO, et en particulier du dimensionnement des stocks de rechanges, et la réduction des coûts de maintenance.

### 2 - Acteurs

Cette étude est conduite, sous la tutelle de la DGA, par un consortium de 8 industriels majeurs du secteur de la Défense :

- Thales Systèmes aéroportés (TSA),
- Eurocopter,
- MBDA France,
- Thales Avionics (THAV),
- Thales Communications & Security (TCFR),
- Thales Research & Technology (TRT),
- Thales Corporate Services (TCS),
- Thales Underwater System (TUS) avec le support de LGM,

Chaque acteur étant impliqué à différents degrés comme le montre le tableau ci-dessous :

	Mandataire	Etude préalable	Suivi équipement Domaine Air	Suivi équipement Domaine Mer	Suivi équipement Domaine Terre	Analyse de défaillances	Analyse finale
<b>TSA</b>	X	X	X			X	X
<b>Eurocopter</b>		X					X
<b>MBDA France</b>		X	X			X	X
<b>THAV</b>		X	X				X
<b>TCFR</b>		X			X		X
<b>TRT</b>						X	
<b>TCS</b>		X					X
<b>TUS/LGM</b>		X		X			X

**Tableau 1.** Participation de chaque membre du consortium « REX »

### 3 - Méthodologie

La méthodologie suivie lors de ce PEA est articulée autour des tâches suivantes.

#### 3.1 Constitution d'un état de l'art du REX

La première tâche a consisté à réaliser un bilan des pratiques mises en oeuvre par les industriels et utilisateurs quant à la collecte et au traitement des données relatives aux défaillances opérationnelles observées et d'identifier les éléments mutualisables ainsi que les spécificités de chacun.

#### 3.2 Description complète d'une défaillance

Le second objectif a été de déterminer les paramètres qui caractérisent une défaillance et sont nécessaires à son exploitation. Ces paramètres, associés aux COTS défaillants, permettront, par une approche statistique, de relier les défaillances aux grands types de contributeurs (physiques, processus, induits...).

#### 3.3 Définition d'un processus unique et commun d'exploitation du retour d'expérience

Un processus commun est ensuite établi en s'appuyant sur l'analyse préalable de l'état de l'art.

### 3.4 Définition des supports de collecte des données

Le processus défini ci-dessus a formalisé les supports de collecte des données :

- la fiche Retour rassemble les données collectées auprès des services techniques de soutien des Forces,
- la fiche Réparation regroupe les données collectées auprès des centres de réparation des industriels,
- la fiche Analyse réunit les données suite aux analyses de défaillances des composants défectueux.

### 3.5 Définition d'une méthodologie d'exploitation

Une méthodologie commune d'exploitation est également mise en place afin d'uniformiser les analyses statistiques et d'assurer une cohérence globale.

### 3.6 Mise en œuvre du processus REX

Le processus défini au § 0 a été appliqué sur un ensemble d'équipements durant 24 mois. Ces équipements ont été choisis selon différents critères, dont :

- la représentativité des 3 armées (Terre, Air, Mer),
- un nombre d'heures-composants permettant de couvrir les niveaux de taux de défaillance des composants actuels,
- un nombre de pannes attendues suffisant,
- l'accessibilité des données relatives aux pannes constatées,
- l'accessibilité des données de conception et réalisation,
- la synergie possible entre utilisateurs, services de maintenance et équipementiers.

### 3.7 Réalisation d'analyses de défaillances sur une sélection de composants

Une analyse fonctionnelle et technologique des composants COTS défaillants a été réalisée par échantillonnage représentatif.

Les composants à analyser ont été choisis selon les critères ci-dessous :

- récurrence de pannes composants identiques,
- intérêt technique d'effectuer l'analyse,
- criticité de la défaillance au niveau équipement.

### 3.8 Analyse et traitement des données

La phase d'analyse et d'exploitation des données s'est articulée autour de deux axes :

- qualitatif (réalisation de tris des données, mettant par exemple en évidence les types de défaillances constatés par famille de composants, les environnements les plus contraignants, les types de composants les plus défaillants, etc.),
- quantitatif (calcul des estimateurs de fiabilité opérationnelle afin de les comparer aux prévisionnels).

### 3.9 Exploitation des résultats

Les résultats des analyses ont été ensuite exploités afin de :

- comparer les fiabilités opérationnelles et prévisionnelles au niveau équipement, et famille de composants,
- mettre en évidence l'influence des stress physiques sur les modes de défaillances des composants.

### 3.10 Recommandation et retour d'information

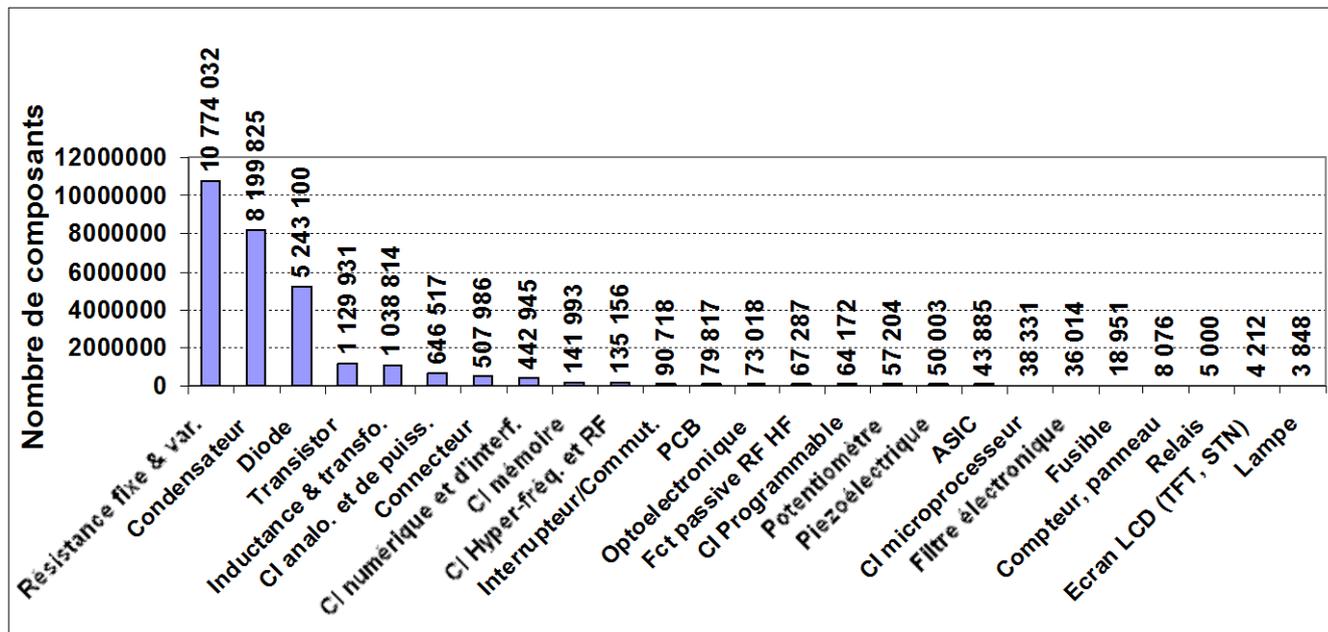
Les résultats de ce PEA ont été ensuite capitalisés et ont fait l'objet de rédaction de rapports de synthèse. Des recommandations sur la mise en œuvre du processus REX ont été formulées.

## 4 - Déroulement du projet

La première partie du projet (§3.1 à 3.5) s'est déroulée de 01/08 à 01/09. La phase de collecte s'est déroulée d'04/09 à 03/10. Suite aux analyses des résultats et rédactions des rapports de synthèse, le PEA s'est terminé fin 2011.

## 5 - chiffres clés de l'étude

- Nombre d'équipements suivis : **14** dans les domaines **Terre/ Air / Mer**.
- Nombre total d'articles (assemblages de composants) : **5200 cartes, modules, etc.**
- Nombre total de composants électroniques : **28 900 000 composants.**
- Nombre heures composants calendaires : **500 300 000 heures.**
- Nombre de retours usine pour réparation observés : **1200.**
- Nombre de pannes confirmées après réparation : **850.**
- Nombre d'analyses de défaillances composant réalisées : **370.**



**Graphique 1.** Répartition des composants par grandes familles de composants sur les 14 équipements sélectionnés

## RESULTAT DE L'ETUDE

### 1 - Présentation statistique des équipements objet de l'étude

Le tableau de synthèse des équipements ci dessous, présente les 14 équipements sélectionnés pour la mise en œuvre du processus REX commun aux 3 armes sur une durée de 24 mois.

EQ n°	Co-traitant	Nom Equipement	Type Equipement	Nombre livrés	Temps de fonctionnement du parc	Localisation de l'équipement dans le système	Environnement				
							Air	Sol fixe	Sol mobile	Naval	Environnement
1	TCFR	E/R PR4G VS4 IP	Poste radio	9768	25 813 294 h			X	X		Fantassin ou véhicule
2	TSA	SPECTRA	Système de protection	78	40 322 h	Pointe avant	X				Avion de chasse
3	TSA	RBE2	Radar	78	40 322 h	Pointe avant + différentes localisations sur l'avion	X				Avion de chasse
4	MBDA	SPECTRA	Système de protection	78	40 322 h	Principalement au niveau du pied de dérive	X				Avion de chasse
5	THAV	EMTI	Traitement de l'information	78	40 322 h	Baie avionique soute	X				Avion de chasse
6	THAV	CTH	Collimateur	78	40 322 h	Devant le pilote	X				Avion de chasse
7	THAV	CTM	Collimateur	78	40 322 h	Devant le pilote	X				Avion de chasse
8	THAV	VTM	Visualisation	78	40 322 h	Planche de bord	X				Avion de chasse
9	TUS	DMUX 20	Sonar Multifonction	6	63 570 h	Antenne active, Consoles				X	Sous-marin
10	TUS	DSUV62C/DSBV62C	Sonar Passif	6	63 570 h	Antenne remorquée, Consoles				X	Sous-marin
11	TUS	MSNA	Sonar Adaptatif	4	40 190 h	Baie				X	Sous-marin
12	TUS	F70	Sonar Actif	3	15 894 h	Antennes, consoles				X	
13	TUS	CMT	Sonar Chasse Mines	13	23 039 h	Véhicule SPV : Outboard; Baies et consoles				X	Bâtiment de surface
14	TUS	SRV	Sonar reprise de vue	5	54 070 h	Baies				X	Sous-marin

**Tableau 2.** Tableau de synthèse des équipements

Le graphique 1 présente la composition des équipements du point de vue des familles de composants électroniques. Quelques éléments notables :

- 29 millions de composants observés pendant 2 ans,
- les composants passifs (résistances et condensateurs) représentent à eux seuls environ 70% du parc,
- le nombre important de diodes est dû aux équipements TSA de l'antenne du radar RBE2 (poids de 80% du parc total observé).

### 2 - Présentation du processus REX

La mise en œuvre de ce processus a montré sa bonne adaptation aux trois domaines. Les fiches Retour, Réparation et Analyse ont satisfait aux besoins et ont été intégrées dans l'outil de capitalisation. Le tableau ci-dessous rappelle le processus de collecte des composants depuis le retour usine jusqu'à l'envoi au laboratoire d'analyse.

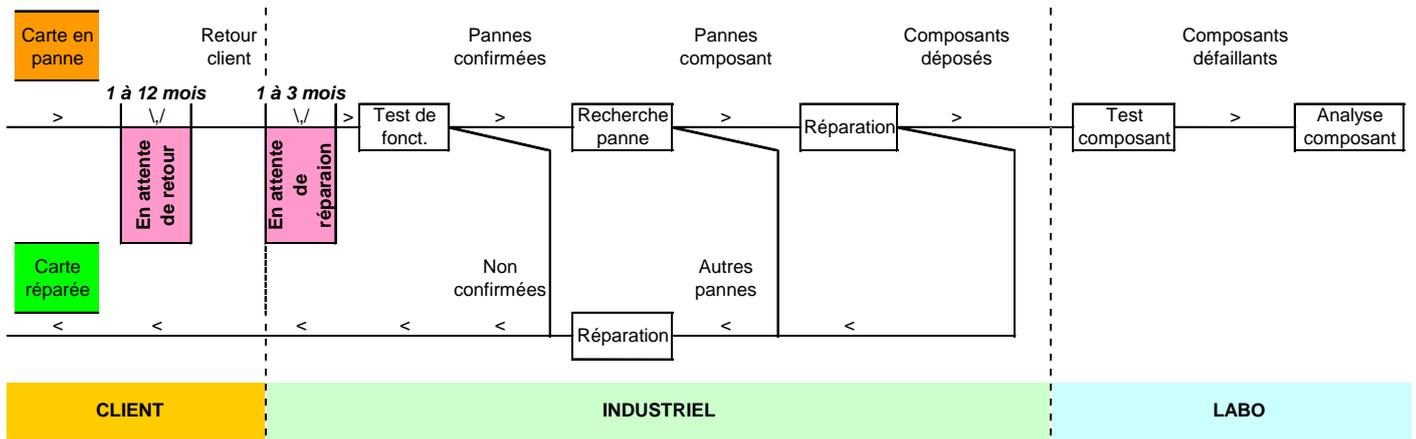


Tableau 3 : processus du retour client jusqu'à l'analyse composant

Le tableau suivant présente les données chiffrées associées à la collecte et l'analyse des composants pour l'ensemble des partenaires.

		Nombre de retours REX ( MTBUR )		
Niveau Carte ou sous-ensemble	En attente de réparation	1212		
		Réparés ( Lambda Retours )		
	102	1110		
		Pannes non confirmées (Code Y)	Pannes confirmées	
	260	850		
		Autres pannes (Code S, Code O, Code X)	Pannes dues à un ou des composants ( Tout type : disque dur, composant électronique, éléments mécanique ) codes : C, E, F, M, V1, V2, ?	
	129	721		
Niveau Composant Electronique		Pannes dues Composants hors FIDES (familles REX_3701, 3801, 3901)	Pannes dues Composants famille REX FIDES	
		299	422	
		Nb de composants déposés		
		870		
		Nb de composants non envoyés	Nb de composants REX envoyés	Composants "Autres Affaires"
		507	349	153
		En attente		Nb de composants
	139		363	
	Défauts non confirmés		Défauts confirmés	
	174		189	

Tableau 4. Données chiffrées du processus de collecte

Quelques éléments de précisions

- Le taux de pannes non confirmées représente en moyenne 23,4% des retours.
- 507 composants (50%) n'ont pas été envoyés au laboratoire pour des raisons multiples.
  - Composants démontés par des sous-traitants et non renvoyés malgré les engagements demandés au début du PEA REX.
  - Composants perdus au service de réparation par des personnes non sensibilisées à la collecte.
  - Composants non analysables par les laboratoires (disques durs, écran CRT, hybrides...).
- En moyenne, il y a environ 2 composants déposés pour une panne.
- Certains composants n'ont pas été analysés car les programmes de test pour ce type de famille n'étaient pas disponibles ou beaucoup trop onéreux ou le composant était trop détérioré par l'intervention de maintenance.

Le processus REX commun mis en œuvre est satisfaisant tel quel, mais des améliorations ont été proposées qui permettraient d'améliorer la performance et le niveau de confiance des résultats obtenus.

- Dimensionnement de la période d'observation. La période de 2 ans du PEA REX est trop courte. Un nombre de cartes important n'a pas vu de panne pendant la période d'observation.
- Dimensionnement de la période d'exploitation.
  - Une période plus longue de transition entre la phase d'observation et d'exploitation aurait permis d'avoir tous les retours clients réparés. Ceci afin d'augmenter le niveau de confiance en intégrant bien toutes les réparations (pas de classement de fiabilité « ? »).
  - Une période plus longue d'exploitation aurait permis de mettre en œuvre les analyses de manière séquentielles, notamment entre la phase de validation des données issues de la collecte et la phase de production des rapports. Ceci afin de rationaliser les coûts (nombreuses itérations des rapports).

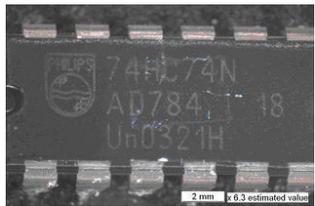
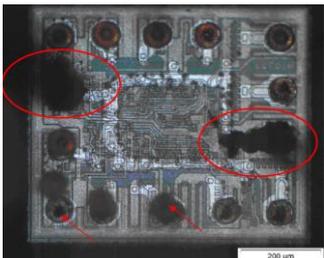
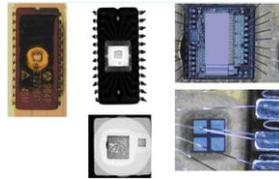
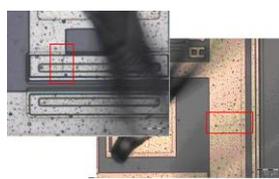
- Systématisation des analyses de défaillances.
- Utilisation d'outils statistiques dédiés.
- Surveillance du processus chez les tiers : pilotage des sous-traitants réparateurs, vérification instructions vers SAV.

### 3 - Présentation des outils et procédures REX

Plusieurs procédures et outils Excel ont été développés dans le cadre du PEA pour satisfaire aux besoins suivants.

- Problématique de collecte, formalisation retours clients, des réparations industriels et des analyses de défaillances.
- Problématique d'exploitation des résultats au niveau d'un industriel et au niveau commun.
- Problématique de comparaison des résultats aux calculs prévisionnels.

4 - Présentation des analyses de défaillances  
 4.1 Présentation d'exemples d'analyses de défaillances

<p><b>Analyse d'un EOS sur un CI numérique.</b></p> <p>Par le test électrique on décèle que le composant est non fonctionnel, les sorties ne passent pas à zéro. De nombreuses fuites sont présentes sur les entrées et on observe une surconsommation.</p> <p>L'analyse non destructive par radiographie X et l'observation optique externe ne montrent pas de défaut au niveau de l'assemblage (boîtier), cependant la caractérisation électrique confirme que le composant est non fonctionnel.</p>  <p>L'analyse destructive par ouverture du composant valide la défaillance électrique par la présence de deux fils de Bonding fusés au niveau de la puce.</p> 	<p><b>Analyse d'une rupture interne par fatigue thermomécanique d'une mémoire flash</b></p> <p>Par le test électrique on observe que la mémoire ne peut être lue en raison d'un problème de continuité sur la structure de protection de l'alimentation.</p>  <p>L'observation par RX met en évidence de nombreux manques au niveau du report de la puce et du scellement verre du capot céramique. Après ouverture mécanique, on observe la rupture de lignes de métal altérées et des fissures sur la couche de passivation.</p> 
--	--

La figure suivante présente le détail les différentes étapes des tests effectués en précisant le nombre de composant n'ayant pas présenté de défaut pour le niveau de test en question.

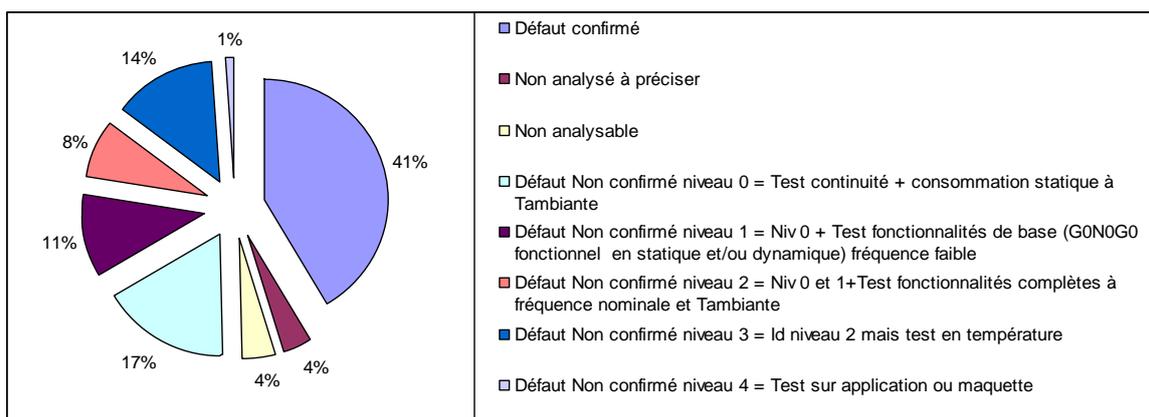


Figure 1. Graphique de répartition des types de panne

## 5 - exploitation des données

### 5.1 Constat sur les pannes niveau carte et composant

Au niveau carte (service de réparation industriel), les causes du taux de pannes non confirmées de 25% sont identifiées.

- Système de test trop discriminant (problématique de seuil de sécurité).
- Difficulté de localisation précise de la défaillance (cas d'une fonction répartie sur plusieurs cartes).
- Non reproductivité de l'environnement opérationnel d'apparition de la panne.
- Bug logiciel de niveau système.

Au niveau composant, suite aux analyses de défaillances, il est observé un fort taux de pannes non confirmées de 50%. Ce chiffre peut être expliqué par :

- des déposes multiples,
- des cas de défaut de brasage non identifiés,
- des problèmes de diagnostique au niveau carte / des profondeurs de test insuffisante en analyse de défaillances.

=> Des suivis et analyses associées pour des taux de pannes non confirmées supérieurs à 20% sont à mettre en œuvre pour les réduire et gagner en disponibilité des équipements et réduction des coûts de maintenance.

**370** analyses de défaillances sur des composants ont été réalisées, celles ci ont permis d'observer notamment un mode de défaillance EOS majoritaire (>50% des pannes confirmées). Concernant les EOS, les analyses ont conduit à définir les principales recommandations suivantes.

- En conception, mener systématiquement une analyse de sensibilité des composants aux over stress,
  - Liés à des défauts de conception (règles de derating par exemple),
  - Liés à l'utilisation, Over stress sur composants en interface (réseau électrique, manipulation EOS...).
- Mettre davantage de protection au niveau surcharge électrique (ex résistances, diodes...).
- Limiter les risques de dégradation en maintenance (formation, maintenance des bancs etc.).
- Optimiser l'efficacité du déverminage pour filtrer les défauts de composants latents.
- Développer la simulation de robustesse des cartes vis à vis des over stress électriques.

Par ailleurs, un des apports essentiel du PEA est la démonstration du changement de code origine de la

défaillance (après analyse de défaillances) des composants qui a été observé dans plus de 50% des cas. En effet, le PEA REX a démontré que les informations issues du service réparation sont souvent insuffisantes pour définir un classement initial fiable. Enfin, le PEA REX a démontré qu'une utilisation plus régulière des analyses de défaillances (de l'ordre de 30% des réparations) permettrait de déceler des problèmes de conception en amont (sans attendre des pannes récurrentes et donc permettre des économies de coûts de soutien) ou d'utilisation en aval.

### 5.2 Retour d'expérience AMSAA

La méthode AMSAA<sup>[4]</sup> a été employée pour déterminer les tendances du taux de défaillance (phase de croissance / décroissance) au niveau équipement et carte.

L'application de la méthode requiert une analyse rigoureuse des données pour identifier les points aberrants, en recherchant les origines, les expliquer et si possible les corriger.

Un autre constat concerne également les outils utilisés : le développement et la mise au point des outils AMSAA nécessitent beaucoup d'énergie. Les recommandations suivantes sont formulées.

- Utiliser des outils performants dédiés pour réaliser ces analyses.
- Mettre en place dans les contrats MCO, des exigences sur la mesure statistique des tendances d'évolution des fiabilités observées.
- Prévoir des ressources liées à la validité des données de vie des équipements et à la recherche des explications liées aux anomalies observées. L'analyse statistique n'est pas une démarche simple.

### 5.3 Comparaison MIL-HDBK-217F

Les comparaisons des résultats au niveau équipement entre le retour d'expérience observé et les prévisions de MTBF réalisées avec la MIL-HDBK-217F donnent en moyenne un rapport supérieur à 4. Ces calculs prévisionnels réalisés dans les années 2000 avaient pourtant déjà fait l'objet de corrections pour compenser l'obsolescence du handbook. La MIL-HDBK-217F est donc très pessimiste et ne peut en aucun cas être utilisée pour dimensionner les systèmes de soutien.

=> On constate donc une progression permanente de la fiabilité des composants qui nécessite de réactualiser périodiquement les guides de prévision de fiabilité.

#### 5.4 Comparaison FIDES

##### Au niveau équipement

	Heures de fonctionnement cumulé des équipements	Environnement	Estimation FIDES par rapport à la fiabilité observée
<b>TSA</b>	80 644	Air	Légèrement optimiste
<b>TUS</b>	259 928	Naval	Légèrement pessimiste
<b>THAV</b>	161 280	Air	Légèrement optimiste
<b>TCFR</b>	25 813 294	Sol	Légèrement optimiste
<b>MBDA</b>	268 810	Air	Représentation statistique insuffisante

Tableau 5. Tableau de comparaison FIDES

##### Du point de vue du $\Pi_{process}$

Le PEA REX a mis en évidence l'importance de réaliser des analyses de défaillances pour mettre en évidence les pannes liées au facteur  $\Pi_{process}$ . Sans analyse de défaillances, il n'est pas toujours possible de faire un constat lié à une panne de conception ou de fabrication si ce problème n'est pas récurrent. Après analyse de défaillances, un  $\Pi_{process}$  peut-être établi aux alentours de 1,2 (attendu autour 1,5 d'après les audits des industriels). Une extrapolation des résultats d'analyses de défaillances à l'ensemble de la population objet d'un classement de fiabilité permettrait probablement de monter ce facteur au niveau théorique attendu.

##### Au niveau de l'influence de l'induit

Deux indicateurs permettent de juger de la part importante de l'induit dans les pannes observées.

- Le classement de fiabilité après réparation montre que 10% des pannes équipement sont dues à de l'induit (EOS, MOS, TOS).
- Les analyses de défaillances montrent que la moitié des mécanismes de défaillances sont des EOS. Il est possible qu'une partie de ses EOS soit liée à des mécanismes de défaillances différents mais il est impossible de lever le doute sur des composants trop détériorés ayant les signes d'un EOS. Ce n'est probablement pas la seule raison, mais de manière générale il est très complexe de comprendre l'origine réelle d'un EOS lors de l'analyse de défaillances. En effet, « l'idéal » serait de faire une reproduction de défaut sur l'application, mais cela est bien entendu hors de propos.

D'une manière générale, le nombre de pannes induites est inférieur à ce que l'on observe d'un point de vue de l'expérience et du modèle FIDES.

Le vrai  $\Pi_{induit}$  opérationnel observé devrait être de l'ordre de 5 à 6 ; après extrapolation des analyses de défaillances on peut confirmer de l'ordre de 2.5 ; et avant analyse de défaillances, il n'y a que peu de moyen de déterminer les pannes d'origines induites. On est cependant encore loin du  $\Pi_{induit}$  théorique (entre 6 et 9). La différence entre le  $\Pi_{induit}$  observé et le  $\Pi_{induit}$  théorique s'explique principalement par le fait que les clients utilisateurs sont souvent ceux qui effectuent les opérations de maintenance à bord en mission. Pour affiner la prévision, il aurait fallu intégrer dans le  $\Pi_{application}$  de FIDES une question sur le type de client, notamment militaire.

Enfin, les pannes induites au sens FIDES ne sont pas uniquement les pannes EOS/ESD, MOS, TOS visibles en analyse de défaillances mais ce sont aussi les pannes physiques liées à des contraintes environnementales non nominales.

Exemples, un opérateur :

- coupe une vanne de distribution du liquide de refroidissement d'une baie,
- arrête la ventilation d'une baie en fonctionnement pour une opération de maintenance,
- met bien le bracelet mais enlève directement une carte sans arrêter la baie,
- fait tomber ou cogne une carte pendant l'échange, etc.

Toutes ces pannes seront vues en analyse de défaillances comme des pannes physiques (thermique, cyclage thermique, mécanique, etc). Ce qui explique l'écart entre le 2 ou 3 observé après analyse de défaillances et le 6 à 9 de prévision FIDES.

##### Concernant les analyses de fiabilité de niveau commun

Du point de vue de la méthode, comme les profils de vie sont différents d'un industriel à l'autre, le principe consiste à choisir un profil de vie commun et à transposer les données de chaque cotraitants dans ce profil comme l'illustre la figure ci-dessous :

- 3 familles questionnent réellement le  $\lambda_0$  FIDES.

Concernant ces 3 familles :

- Analyse au niveau des diodes. Ce facteur important est porté principalement par le REX TSA (90% du parc de diode) et pourraient provenir d'un problème de détectabilité des diodes des réseaux déphaseurs des antennes radars. Une seconde explication est avancée. Un problème de correspondance entre l'outil PEA REX et le modèle FIDES Part Count utilisé pour les diodes PIN est également incriminé.
- Analyse au niveau des relais. Une recommandation vers le GTR FIDES a été formulée pour vérifier le modèle.
- Les écrans LCD. Le modèle FIDES LCD est très dépendant du diamètre des écrans ( $\lambda_{\text{Ecran méca}}$  facteur du diamètre exposant 2.48). Or, les écrans étudiés dans le PEA REX sont de très petites tailles (2.5 pouces, ce qui est très inférieur à la limite basse de FIDES soit 6 pouces), ce qui peut expliquer le problème. Ce REX servira pour la mise à jour du modèle via le GTR FIDES.

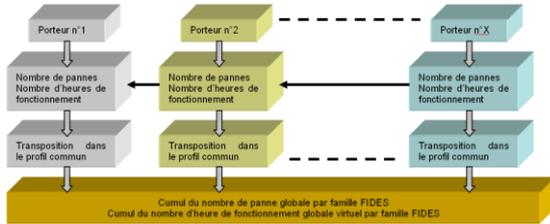


Figure 2. Passage dans le profil de vie commun

Le taux de défaillance global sera donc donné par (où N est le nombre de cotraitants) :

$$\lambda_{\text{global}} = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{\sum_{i=1}^N (\sum H r_{s_i} \cdot A F_i)} \quad \{1\}$$

Ce taux de défaillance observé sera ensuite comparé au taux de défaillance théorique calculé par l'outil Part Count. Pour des raisons pratiques, le profil commun retenu est celui de l'environnement de référence FIDES. Les résultats obtenus par cette méthode sont les suivants :

Voir Tableau Annexe 1

\* : REX exploitable du point de vue du temps de fonctionnement cumulé malgré le faible nombre de défaillances observées.

Note : La dernière colonne indique le rapport entre le taux de défaillance observé (REX) et le taux de défaillance prévisionnelle de la famille dans l'environnement considéré ( $\lambda_0$  FIDES). Un « + » signifie que la méthode prévisionnelle est optimiste par rapport à l'observé.

D'un point de vue général, au niveau famille, les comparaisons sont satisfaisantes entre les résultats observés et FIDES. C'est un très bon signe au niveau  $\lambda_0$ . Sur les 36 familles représentées :

- 2 familles n'ont pas d'analyse (pas de composants dans le parc),
- 14 familles ne présentent pas de données suffisamment représentatives (nombre de panne ou temps de fonctionnement) pour être exploitées,
- 20 familles présentent des résultats interprétables.

Sur les 20 familles exploitables :

- 14 familles présentent un ratio observé/prévisionnel  $< 5$ , parmi lesquelles 11 familles présentent des ratios entre 1 et 3, ce qui est plutôt satisfaisant du point de vue des  $\lambda_0$  FIDES,

### Comparaison des environnements

Du point de vue des analyses théoriques, le classement de l'environnement le plus contraignant a pour critère influent principal le temps de fonctionnement sur une année. Ce point se confirme du point de vue des valeurs observées. Concernant les répartitions observées des pannes par type de stress, le tableau suivant présente les répartitions théoriques et observées (suite à analyse de défaillances) pour un environnement donné :

Voir Tableau Annexe 2

- Pour l'environnement air, la répartition par stress physique observé est principalement portée par TSA car THAV a peu d'analyses et MBDA n'a pas de panne due à un stress physique.
- Le poids du contributeur thermique semble globalement trop important dans la théorie pour le naval et l'aérien. Ce résultat interroge les observations pour l'environnement naval. En effet il a été démontré que le profil naval était le plus contraignant en raison d'un taux de fonctionnement bien plus élevé que les autres environnements. Or, étant donné le profil de mission TUS (proche des conditions de référence FIDES), c'est le facteur thermique qui traduit l'influence du taux de fonctionnement. C'est donc bien ce stress thermique qui aurait dû être observé dans les analyses de défaillances. La réponse à cette interrogation est peut-être dans la sous-évaluation du facteur induit dans les analyses de défaillances
- Le poids du contributeur chimique semble globalement trop fort dans les données observées par rapport à FIDES.
- Le stress mécanique dans l'aérien est beaucoup plus importante que prévue. Idem pour celui du cyclage dans le profil terrestre.

Le poids du contributeur chimique est remis en cause suite à l'analyse globale de la disparité entre l'observé et la théorie pour les 3 environnements. Les mécanismes de défaillances liés au contributeur chimique sont :

*Voir Tableau Annexe 3*

Une recommandation est portée sur ces deux mécanismes de défaillances pour diminuer la proportion de chimique. Pour le mécanisme de défaillances « corrosion connexions externes » il serait judicieux d'augmenter la part d'humidité et de thermique ainsi que de baisser la part de chimique. Avec le recul, il serait également possible de faire l'analyse pour les autres contributeurs physiques mais le travail est complexe car en général ils adressent beaucoup plus de mécanismes de défaillances. Ce travail d'analyse pourra être proposé au GTR FIDES.

D'un point de vue général, le nombre de défaillances par panne composant est faible ce qui implique une répartition par type de stress faite sur des retours de fait technique en faible nombre. En conclusion, les répartitions observées par type de stress sont peu représentatives.

### *Limite de l'étude REX*

Certains modèles FIDES sont manquants tel que les thermistances, relai statique bipolaire, filtre passif, capteur de température passif, varistance, éclateur (voir rapport spécifique THAV). A l'inverse, certains composants (convertisseur DC/DC, condensateurs céramique à terminaisons polymère, ...) n'ont pas de modèle MIL-HDBK-217F alors qu'ils ont un impact important en terme de fiabilité. Ces points sont une limite de l'étude comparative de fiabilité.

Pour évaluer les paramètres des modèles FIDES, nous avons vu qu'avec la méthode proposée nous avons besoin d'un profil commun ce qui impliquait de considérer les lois d'accélération de FIDES comme validées. Enfin, le PEA REX n'a pas permis d'observer de pannes de vieillissement, ne permettant pas la validation du paramètre lambda vieillissement.

Au niveau de l'analyse des paramètres FIDES, l'étude du REX montre que certains paramètres FIDES sont difficiles à estimer du fait de leur faible valeur (exemple : taux de défaillance dans l'environnement de référence). Des essais accélérés seraient utiles par exemple pour faire des observations sur les paramètres des lois d'accélération.

**GTR IMDR FIDES : L'ensemble des résultats d'analyses a été transmis au GTR IMDR FIDES (structures de maintien et développement de la méthodologie FIDES) pour exploitation dans le cadre de l'évolution du Guide.**

### CONCLUSION

1) Le processus REX mis en œuvre a satisfait aux besoins, à savoir collecter des données de retour d'expérience de 14 équipements sur une période de 24 mois selon un processus unique et commun à 8 industriels.

2) L'application de ce processus REX sur un nombre important d'équipements a permis d'identifier l'importance de plusieurs indicateurs de la fiabilité pour un profil de vie donné :

- le nombre de retours usine,
- le nombre de pannes confirmées,
- le nombre de pannes imputables à l'industriel,
- le nombre de pannes composants.

A l'issue de ce processus, les recommandations principales formulées pour le lancement de nouveaux programmes sont :

- d'introduire systématiquement des exigences d'exploitation du retour d'expérience dans les contrats MCO (toutes armes TERRE, AIR, MER),
- de vérifier la disponibilité des données nécessaires à l'exploitation du REX,
- de dimensionner au plus juste la période de collecte,
- de prendre en compte les durées entre pannes,
- de rendre systématique les analyses de défaillances.

3) Le nombre significatif d'analyses de défaillances (370 analyses) a permis de démontrer l'intérêt de pratiquer ces analyses, notamment pour déceler certains problèmes de conception amont ou d'utilisation aval.

4) L'exploitation des données issues du REX a consolidé la méthodologie et les modèles FIDES. Cet objectif de consolidation fixé a été tenu :

- en vérifiant la conformité des estimations prévisionnelles FIDES par rapport au REX (au niveau équipement, sous-ensemble, carte et familles de composants),
- en réalisant une étude comparative des contributeurs physiques prévisionnels FIDES par rapport REX (issue des analyses de défaillances).

Les résultats d'études et constats primordiaux sont les suivants.

- Au niveau équipement, les prédictions de fiabilité issues de la MIL-HDBK-217F ont été jugées obsolètes par l'ensemble des industriels du consortium, tandis que les prédictions FIDES se sont avérées plus proches de la réalité.
- Au niveau des familles de composants, la couverture statistique importante du parc de composants a permis d'obtenir une bonne précision des estimations de fiabilité et de conforter les modèles FIDES.
- Le REX a permis d'identifier certains modèles FIDES composant qui pourront être mis à jour lors des GTR IMDR FIDES (exemple des écrans).
- Un mécanisme de défaillances majoritaire a été identifié : EOS.
- Suite au REX, certains mécanismes de défaillances identifiés pourront être mis à jour lors des GTR IMDR FIDES.
- Au niveau des environnements, le naval se révèle être l'environnement le plus contraignant présentant le plus de pannes calendaires dans notre étude, en opposition avec l'environnement air.
- La prépondérance des overstress par rapport aux pannes d'origine intrinsèque

prédite par le modèle FIDES a été confirmée. Un  $\Pi_{\text{induit}}$  proche de 2,5 a été estimé (cela signifie que pour 1 panne d'origine composant, il y a 2 pannes dues aux overstress).

- Un  $\Pi_{\text{process}}$  a été estimé aux alentours de 1,2, ce qui est proche des résultats d'audits des industriels.

Ce PEA REX a donc donné des résultats intéressants qui compilent l'ensemble des données des industriels du consortium. A l'issue de ce PEA, 43 recommandations ont été formulées à la DGA pour organiser les activités REX des nouveaux programmes.

Enfin, les informations au niveau composant, taux de défaillance, mécanismes de défaillances et tous les résultats d'analyses ont été transmis au GTR IMDR FIDES qui pourra les exploiter pour les futures mises à jour du guide FIDES.

#### REMERCIEMENT

Les auteurs remercient pour leur collaboration au PEA REX :

- Michel Thuault et Franck. Davenel de la DGA ;
- Les autres membres du consortium pour leur implication : Arnaud Phelipot MBDA; Arnaud Rousset TSA; Céline Pascaud MBDA; Charles Lecoz EPM; Emilie Ronfaut TSA, Gaël Clarisse Eurocopter; Gilles Mercier TCFR, Jean-Claude Clément TRT; Jean François Abgrall TCFR ; Pascal Retailleau MBDA; Paul Bécheret Assystem; Richard Digout TUS, Stéphane Depienne ECE ; Franck Bayle (THALES AVIONICS)

#### Références

- [1] UTE C 80811, 2005, Guide FIDES 2004, Méthodologie de Fiabilité pour les systèmes électroniques
- [2] Consortium FIDES, Guide FIDES 2009 Méthodologie de Fiabilité pour les systèmes électroniques (référence UTE en cours)
- [3] Communication Lambda Mu 17, 2011, Exploitation de données de retours d'expérience multi-industriels pour la consolidation des modèles FIDES.
- [4] Crow-AMSAA (NHPP) Model. [En ligne], 2009-2010. Disponible sur : [http://www.weibull.com/RelGrowthWeb/Crow-AMSAA \(N.H.P.P.\).htm](http://www.weibull.com/RelGrowthWeb/Crow-AMSAA (N.H.P.P.).htm).

# ANNEXES

## Annexe 1

FAMILLES	$\lambda_0$ FIDES	Nb pannes comp	Heures de fonctionnement composants	Lambda min 90%	Lambda 50%	Lambda max 90%	Validité du REX	Rapport Lambda OBS / Lambda 50%
ASIC	1,079	5	6 770 140 278	0,338	0,764	1,453	REX non utilisable	
CI microprocesseur	0,668	10	5 259 289 715	1,173	2,029	3,225	REX exploitable	+ 3
CI Programmable	0,714	18	8 996 470 924	1,383	2,075	2,967	REX exploitable	+ 2,9
CI mémoire	0,283	21	18 280 081 074	0,815	1,185	1,654	REX exploitable	+ 4,2
CI numérique et d interface	0,088	7	73 535 356 677	0,049	0,097	0,170	REX non utilisable	
CI analogique/puissance	0,427	36	92 891 204 763	0,292	0,389	0,506	Bon REX	- 1,1
Diode	4,089	11	403 449 296 199	0,017	0,029	0,045	REX exploitable	- 141,4
Transistor	0,047	18	114 623 050 835	0,105	0,159	0,228	REX exploitable	+ 3,4
Optoelectronique	0,031	3	6 210 373 834	0,220	0,591	1,249	REX non utilisable	
Piezoelectrique	4,765	4	5 309 012 509	0,371	0,880	1,724	REX exploitable*	- 5,4
Résistance fixe & variable	0,026	9	701 961 143 862	0,007	0,013	0,021	REX exploitable*	- 2
Potentiomètre	0,413	4	2 038 431 429	0,967	2,291	4,490	REX non utilisable	
Condensateur	0,161	42	752 891 884 784	0,044	0,057	0,072	Bon REX	- 2,8
Fusible	0,143	5	1 052 053 578	2,484	5,390	9,993	REX non utilisable	
Inductance & transformateur	0,078	15	76 624 392 788	0,126	0,198	0,294	REX exploitable	+ 2,5
Relais	49,045	2	1 950 673 251	0,419	1,371	3,227	REX exploitable*	- 35,8
Interrupteur/Commutateur	1,126	6	14 006 934 488	0,210	0,440	0,798	REX exploitable*	- 2,6
Connecteur	0,677	31	19 121 842 067	1,218	1,656	2,188	Bon REX	+ 2,4
CI Hyper-fréquence et RF	2,179	4	15 578 735 433	0,107	0,268	0,543	REX exploitable*	- 8,1
PCB	7,000	17	7 893 424 257	1,474	2,238	3,230	REX exploitable	- 3,1
Carte COTS	212	15	45 782 015	219,212	342,229	504,502	REX exploitable	+ 1,6
Ecran LCD (TFT, STN)	7547	16	127 574 351	84,908	130,652	190,486	REX exploitable	- 57,8
CRT moniteur	3798	2	4 510 126	181,301	592,902	1365	REX exploitable*	- 6,4
Disque dur	196	4	1 680 612	1172	2779,291	5446	REX non utilisable	
Convertisseur de tension	28,789	15	948 621 448	10,580	16,517	24,348	REX exploitable	- 1,7
Pile, Batterie lithium et nickel	0,306	2	2 104 817	388,486	1270,448	2991	REX non utilisable	
Ventilateur	100	4	115 610 871	17,041	40,402	79,175	REX exploitable*	- 2,5
Tube	3798	3	535 586	2551	6856,162	14476	REX non utilisable	
Dispositif tournant	100	0	5 560 158	9,225	124,663	538,785	REX non utilisable	
Lampe	0,409	1	6 734 178	52,770	249,228	704,446	REX non utilisable	
Filtre électronique	0,382	4	4 066 725 301	0,484	1,149	2,251	REX non utilisable	
Compteur, panneau	2,154	1	1 253 032 040	0,284	1,339	3,786	REX non utilisable	
Clavier	12,000	0	4 628 151	11,083	149,768	647,285	REX non utilisable	
Fonction passive RF HF	0,633	2	3 764 812 417	0,217	0,710	1,672	REX non utilisable	

Tableau 6. Tableau de comparaison FIDES au niveau famille de composant

## Annexe 2

	Thermique		Cyclage		Mécanique		Humidité		Chimique	
	Théorique	Observé								
Naval	73,8%	16,7%	1,9%	33,3%	3,1%	12,7%	13,7%	7,7%	7,6%	29,7%
Terrestre	25,4%	14,4%	43,7%	15,0%	10,0%	33,8%	15,2%	18,8%	5,7%	18,1%
Aérien	59,5%	0,3%	11,1%	11,8%	6,0%	64,0%	16,4%	3,3%	6,9%	20,6%

Tableau 7. Répartition théorique et observée des pannes par type de stress

Annexe 3

Mécanisme de défaillances	Contributeurs		CH	EL	HR	M	TH	TM	Induit	USR
Corrosion connexions externes	HR / CH / TH / EL	0,4 / 0,4 / 0,1 / 0,1	0,4	0,1	0,4		0,1			
Migration électrochimique entre connexions	CH / HR / EL	0,6 / 0,2 / 0,2	0,6	0,2	0,2					