



Institut pour la **Maîtrise des Risques**
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

**" Guide de sélection des modèles de
fiabilité prévisionnelle pour les
composants électroniques"**

Copyright IMdR - Octobre 2009



**GUIDE DE SELECTION DES MODELES DE
FIABILITE PREVISIONNELLE POUR LES
COMPOSANTS ELECTRONIQUES**

Octobre 2009

IMdR

SOMMAIRE

1. GENERALITES	5
1.1. Objectif du guide	5
1.2. Documents de référence	5
1.3. Présentation du contexte d'élaboration de ce guide de sélection	6
1.3.1. Contexte général	6
1.3.2. Expression des besoins des utilisateurs de recueils	6
1.3.3. Méthode d'élaboration des critères de sélection	7
1.4. Organisation du guide de sélection	8
2. RECUEILS DE FIABILITE DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES ETUDIES DANS CE GUIDE	9
2.1. Présentation générale des recueils de fiabilité	9
2.1.1. Chronologie	9
2.1.2. MIL-HDBK-217	10
2.1.3. RDF93	13
2.1.4. UTE-C 80810	14
2.1.5. FIDES	17
2.1.6. 217Plus	20
2.2. Comparaison générique des recueils de fiabilité	22
2.2.1. Retour d'expérience de construction des recueils	22
2.2.2. Taux de défaillance horaire et taux de défaillance calendaire	22
2.2.3. Comparaison du taux de défaillance équipement	23
2.2.4. Cohérence des modélisations	24
3. PRINCIPES DE SELECTION DES MODELISATIONS	26
3.1. Critères de sélection génériques	27
3.1.1. Critères de sélection par rapport aux contraintes contextuelles	27
3.1.2. Critères de sélection par rapport aux contraintes opérationnelles	32
3.1.3. Critères de sélection par rapport aux contraintes méthodologiques	38
3.2. Critères de sélection par rapport aux contraintes techniques	43
3.2.1. Composants non modélisés	45
3.2.2. Absence de modélisation du non fonctionnement	46
3.2.3. Exclusion des périodes de jeunesse	47
3.2.4. Influence de la modélisation des cycles thermiques	47
3.2.5. Sensibilité aux hypothèses	49
3.2.6. Contraintes induites	49
3.2.7. Modélisation d'environnements complexes	50
3.2.8. Prise en compte implicite d'une politique de surveillance et d'amélioration du produit	50
3.2.9. Processus minimisant trop le taux de défaillance des composants	50
3.3. Critères de sélection liés à la technologie des composants	51
3.3.1. Les composants passifs	51
3.3.2. Les composants actifs discrets	59
3.3.3. Les composants intégrés analogiques et numériques	63
3.3.4. Sélection de modèles pour les circuits hybrides	70
3.3.5. Les composants électromécaniques	72



3.3.6. Composants divers	78
4. UTILISATION DU GUIDE DE SELECTION IMDR	79
4.1. Etape 1 : Classement des recueils de référence	82
4.2. Etape 2 : Analyse des limites globales des recueils.....	84
4.3. Etape 3 : Identification des recommandations/solutions par rapport aux contraintes d'utilisations du/des recueils de référence	85
4.4. Etape 4 : Constitution du référentiel à mettre en œuvre.....	86
4.5. Exemples d'utilisation de ce guide de sélection.....	87
4.5.1. Exemple 1	87
4.5.2. Exemple 2	92

IMdR

1. GENERALITES

1.1. OBJECTIF DU GUIDE

Ce guide de sélection a pour objectif de proposer une méthodologie de sélection des recueils de fiabilité électronique ainsi que les éléments permettant de justifier des modélisations utilisées dans un projet.

Pour cela, ce guide de sélection :

- établit l'expression des besoins et des contraintes industrielles dans la réalisation des évaluations prévisionnelles de la fiabilité électronique,
- présente pour chacun des besoins une analyse des recueils et identifie celui ou ceux apportant la réponse la plus adaptée,
- identifie les contraintes et limites d'utilisation de chaque recueil susceptibles de gêner son utilisation,
- propose une analyse comparative des recueils pour les principales familles de composants faisant pour chacune d'entre elles une synthèse par rapport aux différents besoins des utilisateurs.

1.2. DOCUMENTS DE REFERENCE

Les principaux documents utilisés pour constituer ce guide de sélection sont les suivants :

- [1] MIL HDBK 217 F + N2 – Rome Air Center.– 28 February 1995
- [2] RDF 93 – CNET – Juin 1993
- [3] UTE 80-810 – Août 2005
- [4] FIDES 2004 Edition A
- [5] 217Plus – 26 May 2006
- [6] REVISION OF ENVIRONMENTAL FACTORS FOR MIL-HDBK-217B – TR-80-229
- [7] IMPACT OF NONOPERATING PERIODS ON EQUIPMENT RELIABILITY – TR-85-91
- [8] RELIABILITY PREDICTION MODELS FOR DISCRETE SEMICONDUCTOR DEVICES – TR-88-97
- [9] RELIABILITY ANALYSIS/ASSESSMENT OF ADVANCED TECHNOLOGIES – TR-90-72
- [10] RELIABILITY ASSESSMENT OF CRITICAL ELECTRONIC COMPONENTS – TR-92-197
- [11] NAVSEA
- [12] GIFAS workshop du 26 Mars 2007
- [13] Modélisation des coûts de cycle de vie : prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité Application à l'aéronautique N°2005-1 M. GLADE
- [14] Application Note AN-1078 – An Examination of Changes Imposed by Revised Hybrid Models When Calculating MTBF Values using MIL-HDBK 217F, Notice 1 & 2 – International Rectifier
- [15] Journal of the Reliability Information Analysis Center from 1998 to 2008
- [16] Dossier projet IMdR P07-05 "Constitution du référentiel de sélection des guides de fiabilité prévisionnelle des composants électroniques"

1.3. PRESENTATION DU CONTEXTE D'ELABORATION DE CE GUIDE DE SELECTION

1.3.1. CONTEXTE GENERAL

Ce guide de sélection a été élaboré dans le cadre du projet IMdR P07-5.

Ce projet dont la finalité était la création d'un guide de sélection des modèles de fiabilité prévisionnelle pour les composants électroniques (ce document) a regroupé pendant plus d'un an les entreprises suivantes :

- AREVA
- CNES,
- DGA/LRBA,
- EADS ASTRIUM,
- ECE,
- EDF,
- PSA,
- SNCF,
- TOTAL,
- EADS APSYS

L'ensemble des travaux réalisés au cours de ce projet est présenté dans le dossier projet IMdR P07-05 "Constitution du référentiel de sélection des guides de fiabilité prévisionnelle des composants électroniques". Ce document peut être acheté auprès de l'IMdR aux conditions de souscription de ce projet.

1.3.2. EXPRESSION DES BESOINS DES UTILISATEURS DE RECUEILS

L'expression des besoins des utilisateurs a été établie à partir d'une enquête réalisée auprès d'un large échantillon d'intervenants représentatifs des principaux domaines d'activité (aéronautique civil et militaire, spatial (satellites et segments sol), automobile, militaire terrestre, nucléaire, pétrochimie, ferroviaire).

L'objectif étant d'obtenir un retour sur l'utilisation des différents recueils en terme :

- d'identification des besoins d'évaluation de la fiabilité,
- de recueil utilisé et contrainte de choix d'un recueil,
- d'inconvénients et avantages de l'utilisation des recueils,
- de manques et difficultés rencontrés,
- d'investissement en terme de coût, compétence

Cette enquête a confirmé la problématique relative aux recueils d'évaluation de la fiabilité prévisionnelle des composants électroniques et a mis en évidence de nombreux critères de sélection.

1.3.3. METHODE D'ELABORATION DES CRITERES DE SELECTION

L'expression des besoins des utilisateurs de recueils a permis d'identifier les contraintes influençant le choix d'un recueil de fiabilité.

Les contraintes identifiées sont les suivantes :

- Contraintes contextuelles
- Contraintes opérationnelles
- Contraintes méthodologiques
- Contraintes techniques

Les critères de sélection issus de ces contraintes sont présentés dans la suite de ce document au début de chaque section correspondante.

Chaque recueil de fiabilité a été analysé pour chacun des critères de sélection afin d'identifier des recommandations.

L'ensemble des analyses réalisées pour constituer ce guide de sélection est contenu dans le document d'analyse Dossier projet IMdR P07-05.

IMdR

1.4. ORGANISATION DU GUIDE DE SELECTION

L'organisation générale de ce guide de sélection est la suivante :

1 Généralités : cette section présente le contexte dans lequel ce guide de sélection a été élaboré et décrit succinctement la méthodologie utilisée.

2 Recueils de fiabilité des composants électroniques étudiés dans ce guide :

2.1 Présentation générale des recueils de fiabilité : cette section présente les différents recueils de fiabilité couverts par ce guide identifiant pour chacun d'eux les hypothèses de base, l'origine des données source des modèles, la méthode de construction des modèles.

2.2 Comparaison générique des recueils de fiabilité : cette section propose une analyse comparative des résultats des recueils pour un même équipement dans différents environnements ainsi qu'une analyse de la cohérence des modélisations proposées par chacun des recueils.

3 Principes de sélection des modélisations :

3.1 Critères de sélection génériques : cette section présente les critères de sélection correspondant à la sélection d'un recueil de référence pour un ou plusieurs projets en considérant les recueils dans leur globalité par rapport à un ensemble large de critères.

3.2 Critères de sélection par rapport aux contraintes techniques : cette section présente différentes contraintes ou difficultés techniques pouvant survenir lors de l'utilisation d'un recueil.

3.3 Critères de sélection liés à la technologie des composants : cette section présente une analyse comparative des recueils pour les principales familles de composants faisant pour chacune d'entre elles une synthèse par rapport aux différents besoins des utilisateurs.

4 Utilisation du guide de sélection IMdR : cette section rappelle les principes d'utilisation de ce guide de sélection et présente quelques exemples pratiques.

2. RECUEILS DE FIABILITE DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES ETUDIES DANS CE GUIDE

2.1. PRESENTATION GENERALE DES RECUEILS DE FIABILITE

2.1.1. CHRONOLOGIE

Cette étude couvre des recueils de fiabilité électronique dont la date de parution varie entre le début des années 90 et 2006.

La modélisation de la fiabilité électronique a fortement évolué au cours de cette période. Les modèles anciens ne modélisent que les défaillances aléatoires intrinsèques des composants électroniques excluant l'impact de la conception ou de l'intégration qui devait alors être considéré à un autre niveau. Les modèles récents proposent des approches à différents niveaux (composant ou équipement/système) avec des méthodes permettant de prendre en compte l'impact de la conception ou de l'intégration sur la fiabilité finale du produit.

De plus, la modélisation même des défaillances intrinsèques des composants électroniques a subi de profondes évolutions. Les modèles anciens modélisent un mécanisme de défaillance global du composant sur lequel s'appliquent les facteurs d'accélération. Les modèles récents modélisent plusieurs mécanismes de défaillances avec des facteurs d'accélération individualisés. Cette même période a vu l'apparition d'un modèle construit sur la physique des défaillances (FIDES) alors que les autres modèles conservent une approche empirique de la modélisation.

Le schéma suivant présente la chronologie d'apparition des différents modèles de fiabilité prévisionnelle des composants électroniques :

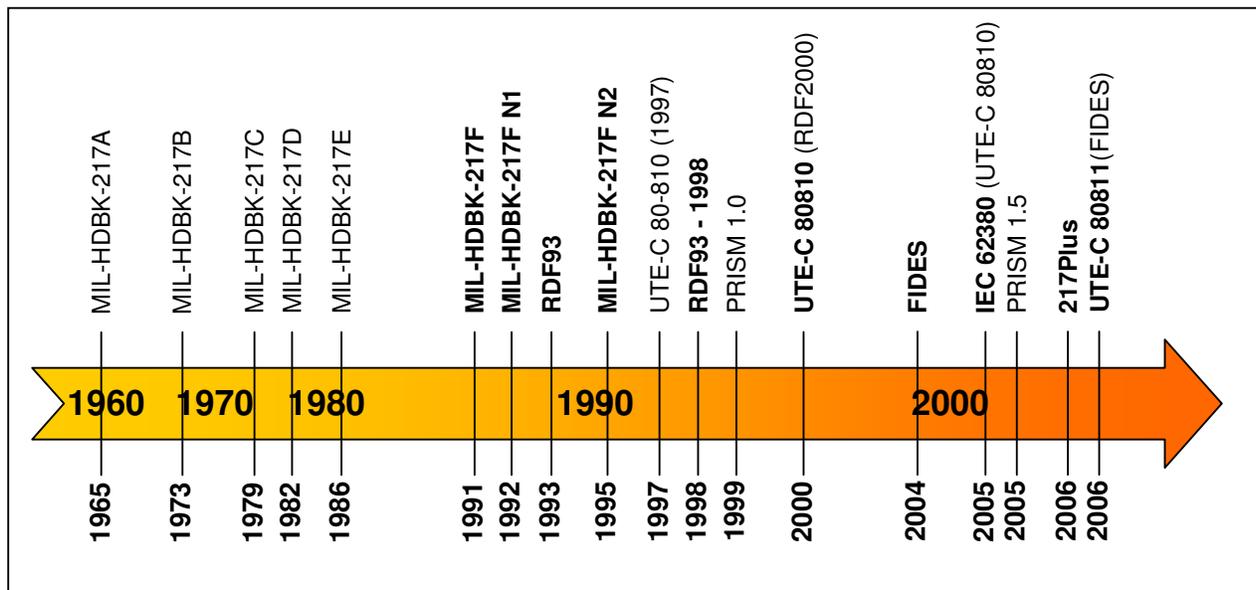


Figure 1 : Chronologie d'apparition des recueils de fiabilité

Afin de mieux appréhender les différences et les évolutions entre les modèles, la liste suivante présente les principales évolutions dans le domaine électronique depuis les années 1990 :

- Amélioration de la fiabilité des composants au travers de l'amélioration des techniques de fabrication,
- Amélioration générale des performances des semi-conducteurs par rapport :
 - aux composants de puissance,
 - aux performances en fréquence,
 - au niveau d'intégration des composants.
- Augmentation de la proportion de composants montés en surface,
- Suppression du plomb dans la technique de report des composants.

Il est important de noter que durant cette période, aucun changement technologique majeur n'est survenu. C'est-à-dire, que les principes physiques de fonctionnement des composants électroniques d'aujourd'hui (notamment pour les semi-conducteurs) existaient déjà au début des années 90 indépendamment du fait que leurs domaines d'application ont été considérablement étendus.

2.1.2. MIL-HDBK-217

Origine

Le recueil de fiabilité MIL-HDBK-217 (version A) a été développé à partir des années 60 par l'US Navy. Il s'agissait à l'époque d'une base de données de fiabilité plutôt que d'un modèle prédictif. Les évolutions (de B à F) ont été développées par le RAC (Reliability Analysis Center) de l'US Air Force.

La dernière version du modèle (version F) date de 1990 avec une révision en 1995 (Notice 2). Ce recueil n'a plus connu d'évolution depuis et n'est plus entretenu (voir nota). Malgré cela, ce recueil représente de nos jours une référence internationale.

Nota : Une version G serait en cours d'élaboration sous l'égide de la division CRANE de l'US Navy.

Méthode de construction des modèles et retour d'expérience utilisé

Les différents modèles contenus dans le recueil MIL-HDBK-217 ont été construits selon une approche empirique. Les différents facteurs d'influence ont été identifiés par analyse des différents échantillons statistiques. Ils ont ensuite été modélisés de façon empirique afin de correspondre le mieux possible aux données extraites des données sources.

Le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles contenus dans ce recueil est issu par ordre d'importance :

- des données de maintenance des armées US,
- résultats de test,
- informations publiques (littérature),
- collecte de données auprès des fabricants de composants électroniques.

Les données issues des services de maintenance des armées US correspondent à un retour d'expérience collecté sur la période 88-90 pour des équipements électroniques mis en service au début des années 80. Par ailleurs ces équipements sont majoritairement des équipements électroniques embarqués sur avions d'armes.

Modélisation mathématique

Le modèle mathématique générique utilisé dans le recueil de fiabilité MIL-HDBK-217 est de type multiplicatif. Il se présente sous la forme suivante :

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Cette modélisation de type multiplicative considère que le taux de défaillance d'un composant est constitué d'un taux de défaillance de base λ_b sur lequel s'appliquent des facteurs correctifs correspondant aux différents facteurs d'influence.

Ce modèle correspond au cas général. Certains composants tels que les circuits intégrés utilisent une équation différente ($\lambda = (C_1 \cdot \pi_T + C_2 \cdot \pi_E) \cdot \pi_Q \cdot \pi_L$) permettant de différencier une partie du composant sensible à la température et une autre sensible à l'environnement.

Familles de composants couvertes

Les familles de composants électroniques ou électromécaniques couvertes par le recueil de fiabilité prévisionnelle MIL-HDBK-217 sont les suivantes :

- Semi-conducteurs :
 - Circuits intégrés,
 - Hybrides,
 - Diodes, Thyristors,
 - Transistors,
 - Optoélectronique,
- Composants passifs :
 - Résistances, Potentiomètres,
 - Condensateurs,
 - Inductances (bobines, transformateurs),
 - Quartz,
 - Filtre,
- Composants actifs (autres que semi-conducteurs) :
 - Tubes électroniques,
 - Lasers,
- Composants électromécaniques :
 - Relais,
 - Contacteurs, interrupteurs,
 - Eléments rotatifs (moteurs, résolveurs...),
 - Moyens de mesures (voltmètre, ampèremètre...),
- Autres
 - Fusibles,
 - Lampes,
- Circuits imprimés.

Tableau de synthèse :

MIL-HDBK-217		
Généralités	Organisme à l'origine du modèle	RAC (Department of Defence – USA)
	Principe de construction	Modélisation du REX statistique
	Domaine d'application privilégié (REX utilisé)	Militaire
	Défaillances modélisées	Intrinsèques
	Unité de la modélisation	Défaillance par heure dans l'environnement de calcul
	Date de la dernière version	1995
	Modèle toujours entretenu	Non
	Outils informatiques	L'ensemble des logiciels de calcul de fiabilité
	Prix du modèle (papier)	Gratuit
Modélisation	Formule mathématique	$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_s \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
	Modélisation de l'environnement	Catégories d'environnement
	Méthodes	- Part count - Part stress
	Paramètres génériques (part count)	- Technologie du composant - Type d'environnement
	Paramètres génériques (part stress)	- Technologie du composant - Environnement - Stress thermique - Stress électrique - Qualité
Paramètres exclus	-	
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle internationalement connu - Appropriation aisée - 1 seule composante dans la fiabilité des composants (sauf pour les circuits intégrés) - Pas de prise en compte explicite du non fonctionnement - Report non intégré au taux de défaillance du composant (calcul séparé) 	

2.1.3. RDF93

Origine

Le recueil de fiabilité RDF93 (Recueil de Fiabilité 93) a été développé par le CNET (France Télécom) à l'initiative de l'opérateur téléphonique français France Télécom. Ce recueil a été édité en 1993 avec une révision en 1998. Il n'est plus entretenu depuis cette date.

Ce modèle a une approche de la fiabilité similaire à celle proposée dans le recueil MIL-HDBK-217.

Méthode de construction des modèles et retour d'expérience utilisé

De même que pour le recueil MIL-HDBK-217, les différents modèles contenus dans le recueil RDF93 ont été construits selon une approche empirique.

Le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles contenus dans ce recueil n'est pas accessible. Cependant, dans son introduction, les domaines d'application suivants sont cités comme source du REX :

- Télécom – sol fixe non protégé (Publiphones),
- Télécom / informatique – sol fixe protégé,
- Ferroviaire – sol mobile

Selon toute vraisemblance, le retour d'expérience couvre une période correspondant à la fin des années 1980 et début des années 1990. La représentativité des échantillons statistiques ainsi que le nombre d'heures de fonctionnement utilisés pour la construction des modèles n'a cependant pas pu être établi lors de l'étude de ce guide.

Modélisation mathématique

Le modèle mathématique générique utilisé dans le recueil de fiabilité RDF93 est de type multiplicatif. Il se présente sous la forme suivante :

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_s \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Le modèle général du recueil MIL-HDBK-217 est identique à celui du recueil RDF93.

Ce modèle correspond au cas général. De même que pour le recueil MIL-HDBK-217, certains composants tels que les circuits intégrés utilisent une équation différente.

Familles de composants couvertes

Par rapport aux familles de composants couvertes par le recueil MIL-HDBK-217, le recueil RDF93 présente les écarts suivants :

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Composants supplémentaires :<ul style="list-style-type: none">▪ LED,▪ Piles et accumulateurs,▪ Parasurtenseurs,▪ Clavier, | <ul style="list-style-type: none">- Composants non modélisés :<ul style="list-style-type: none">▪ Tubes électroniques,▪ Lasers,▪ Éléments rotatifs (moteurs, resolvers...),▪ Moyens de mesures (voltmètre, ampèremètre...),▪ Lampes. |
|--|--|

Le recueil RDF93 couvre la quasi-totalité des familles de composants utilisés de nos jours.

Tableau de synthèse

RDF 93		
Généralités	Organisme à l'origine du modèle	CNET et industriels français
	Principe de construction	Modélisation du REX
	Domaine d'application privilégié (REX utilisé)	Installation au sol (télécom) et équipements ferroviaires
	Défaillances modélisées	Intrinsèques
	Unité de la modélisation	Défaillance par heure dans l'environnement de calcul
	Date de la dernière version	1998
	Modèle toujours entretenu	Non
	Outils informatiques	Peu nombreux
	Prix du modèle (papier)	Non disponible
Modélisation	Formule mathématique	$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_s \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
	Modélisation de l'environnement	Catégories d'environnement
	Méthodes	- Part stress
	Paramètres génériques	- Technologie du composant - Environnement - Stress thermique - Stress électrique - Qualité
	Paramètres exclus	-
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> - Très similaire au recueil MIL-HDBK-217 - Appropriation aisée - 1 seule composante dans la fiabilité des composants - Pas de prise en compte explicite du non fonctionnement - Report non intégré au taux de défaillance du composant (calcul séparé par le circuit imprimé) 	

2.1.4. UTE-C 80810

Origine

Le recueil de fiabilité UTE-C80810 est la révision profonde du recueil RDF93 et a été élaboré par le CNET (France Télécom).

La première version de ce recueil a été diffusée en 2000 sous le nom RDF2000. Une mise à jour du document a été diffusée en 2005 lors de l'adoption de ce recueil en tant que norme internationale par l'IEC sous la dénomination IEC TR62380.

Dans le présent document, ce recueil de fiabilité est identifié sous la dénomination UTE-C 80810.

Méthode de construction des modèles et retour d'expérience utilisé

De même que pour les recueils MIL-HDBK-217 ou RDF93, les différents modèles contenus dans le recueil UTE-C 80810 ont été construits selon une approche empirique.

Les différents facteurs d'influence ont été identifiés par analyse des différents échantillons statistiques. Ils ont ensuite été modélisés de façon empirique afin de correspondre le mieux possible aux données extraites des données source.

De même que pour le recueil RDF93, le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles contenus dans ce recueil n'est pas accessible. Cependant, dans son introduction, les domaines d'application suivants sont cités comme source du REX :

- Télécom – sol fixe non protégé (Publiphones et bornes GSM),
- Télécom / informatique – sol fixe protégé,
- Aéronautique – avion favorable - équipements avionique civil
- Automobile – sol mobile
- Militaire – sol mobile (radio mobile portable)

Le retour d'expérience utilisé a été collecté sur la période 1992-1998 pour la version de 2000. La mise à jour de 2005 prend en compte un retour d'expérience plus étendu qui a été collecté sur la période 1992-2001.

Modélisation mathématique

Le modèle mathématique générique utilisé dans le recueil de fiabilité UTE-C 80810 est de type additif. Il se présente sous la forme suivante :

$$\lambda = \underbrace{\lambda_1 \cdot \pi_{11} \cdot \pi_{12} \cdot \sum \pi_i \cdot T_i}_{\text{Puce/conducteur}} + \underbrace{\lambda_2 \cdot \pi_{21} \cdot \pi_{22} \cdot \sum \pi_i}_{\text{boîtier}} \cdot \Delta T_i + \pi_i \cdot \lambda_{EOS} \quad \text{surcharge}$$

Cette approche mathématique de type additive correspond à un changement majeur dans la modélisation de la fiabilité des composants électroniques. Les recueils de fiabilité plus récents que l'UTE-C 80810 (FIDES et 217Plus décrits plus loin) utilisent également une modélisation de type additive.

La modélisation de type additive permet de dissocier les principales catégories de mécanismes de défaillance indépendantes les unes des autres et de modéliser leurs facteurs d'accélération.

Familles de composants couvertes

Par rapport aux familles de composants couvertes par le recueil MIL-HDBK-217, le recueil UTE-C 80810 présente les écarts suivants :

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Composants supplémentaires : <ul style="list-style-type: none"> ▪ LED, ▪ Modules à diodes laser (optoélectronique), ▪ Composants optiques passifs (optoélectronique), ▪ Piles et accumulateurs, ▪ Ecrans CRT, LCD, ▪ Parasurtenseurs, ▪ Claviers, ▪ Disques durs, ▪ Convertisseurs. | <ul style="list-style-type: none"> - Composant non modélisés : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tubes électroniques, ▪ Lasers, ▪ Filtre, ▪ Eléments rotatifs (moteurs, resolvers...), ▪ Moyens de mesures (voltmètre, ampèremètre...), ▪ Lampes |
|---|---|

Le recueil UTE-C 80810 couvre la quasi-totalité des familles de composants utilisés de nos jours.

Le report des composants est inclus dans les modèles mathématiques de fiabilité des composants et fait apparaître un paramètre spécifique.

Tableau de synthèse

UTE-C 80810		
Généralités	Organisme à l'origine du modèle	UTE et industriels français
	Principe de construction	Modélisation du REX
	Domaine d'application privilégié (REX utilisé)	Installation au sol (télécom) et équipements automobile, aéronautique civile
	Défaillances modélisées	Intrinsèques et surcharges accidentelles
	Unité de la modélisation	Défaillance par heure calendaire
	Date de la dernière version	2005
	Modèle toujours entretenu	Non
	Outils informatiques	Principaux logiciels de calcul de fiabilité
	Prix du modèle (papier)	160€
Modélisation	Formule mathématique	$\lambda = \lambda_{\text{conducteur}} + \lambda_{\text{boitier}} + \lambda_{\text{surchage}}$
	Modélisation de l'environnement	Environnement paramétrable
	Méthodes	- Part stress
	Paramètres génériques	- Technologie du composant - Environnement annuel (cyclage thermique, température ambiante, phases de fonctionnement) - Stress thermique - Stress électrique
	Paramètres exclus	- Contraintes mécaniques, - Contraintes liées à l'humidité - Contraintes liées à aux agressions chimiques
Remarques	- Taux de défaillance donné en heures calendaires - Prise en compte du non fonctionnement - Modélisation différente de la fiabilité du boitier et du conducteur - Certains paramètres (cyclage thermique,...) du modèle semblent contenir des erreurs - Pas de prise en compte de l'influence de la qualité des composants	

2.1.5. FIDES

Origine

Le recueil de fiabilité prévisionnelle FIDES a été développé par différents industriels français des secteurs aéronautiques et militaires sous l'égide de la Délégation Générale pour l'Armement (DGA). Pour information, ces industriels sont : AIRBUS France - Eurocopter - GIAT Industries - MBDA missile systems - Thales Airborne Systems - Thales Avionics - Thales Research & Technology - Thales Underwater Systems

Ce recueil a été diffusé pour la première fois début 2004. Une mise à jour a eu lieu au cours de cette même année afin de corriger quelques défauts mineurs.

Le recueil FIDES est le modèle de référence pour les projets de la DGA ainsi que pour AIRBUS (depuis Octobre 2007) pour l'évaluation de la fiabilité des composants électroniques. Cependant, il ne jouit à ce jour pas d'une réelle reconnaissance internationale et est peu utilisé dans l'ensemble des secteurs industriels.

A noter que depuis 2006, le recueil FIDES est une norme française : UTE-C 80811.

Méthode de construction des modèles et retour d'expérience utilisé

Contrairement à tous les modèles présentés dans les recueils de fiabilité électronique prévisionnelle antérieurs, les modèles présentés dans le recueil FIDES ont été construits à partir de la physique des défaillances et non d'une modélisation empirique du retour d'expérience. La construction des modèles est fondée sur la physique des défaillances et étayée par des analyses de données d'essais, de retour d'expérience et de modélisations existantes. Après mise au point des modèles, les modèles ont été calibrés à partir de retour d'expérience.

Cette approche méthodologique permet de limiter l'influence des domaines d'application du retour d'expérience ou des domaines industriels à l'origine du recueil sur les paramètres modélisés. En effet, si les mécanismes de défaillance sont intrinsèques au composant et donc indépendants du domaine d'utilisation des composants, les environnements liés aux domaines d'utilisation peuvent favoriser l'apparition de certains mécanismes et en masquer d'autres.

Cependant, de par les domaines d'activité des industriels ayant participé à la construction de ce recueil, les domaines d'application suivants peuvent être considérés comme source du REX :

- Aéronautique militaire (avions, hélicoptères et missiles),
- Aéronautique civil (avion, hélicoptère),
- Automobile militaire,
- Naval militaire.

Le retour d'expérience utilisé a été collecté selon toute vraisemblance, sur la période fin des années 1990 – début 2000.

Modélisation mathématique

Le modèle mathématique générique utilisé dans le recueil de fiabilité FIDES est de type additif pour l'évaluation de la contribution physique et multiplicatif pour l'influence du $\pi_{Process}$ sur la fiabilité globale.

Il se présente sous la forme suivante :

$$\lambda = \Sigma \left[\underbrace{\left[\underbrace{(\lambda \cdot \pi)_{TH}}_{\text{Thermo-électrique}} + \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_{TCyboitier}}_{\text{cyclage/boitier}} + \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_{TCyoints}}_{\text{cyclage/soudures}} + \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_{RH}}_{\text{humidité}} + \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_{Méca}}_{\text{mécanique}} \right]}_{\text{Contribution physique}} \cdot \underbrace{\pi_{\text{phase}} \cdot \pi_{\text{induit}} \cdot \pi_{\text{Process}}}_{\text{Contributions process}} \right]$$

La modélisation utilisée est de type additive. De même que pour le recueil UTE-C 80810, cette modélisation permet de dissocier les catégories de mécanismes de défaillance indépendantes les unes des autres.

Familles de composants couvertes

Par rapport aux familles de composants couvertes par le recueil MIL-HDBK-217, le recueil FIDES présente les écarts suivants :

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Composants supplémentaires : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Piles et accumulateurs, ▪ Ecrans CRT, LCD, ▪ Disques durs, | <ul style="list-style-type: none"> - Composants non modélisés : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tubes électroniques, ▪ Lasers, ▪ Filtre, ▪ Eléments rotatifs (moteurs, resolvers...), ▪ Moyens de mesures (voltmètre, ampèremètre...), ▪ Fusibles, ▪ Lampes. |
|--|--|

Il est à noter que le report est directement inclus dans les modèles mathématiques de fiabilité des composants.

De plus, bien qu'il couvre la plupart des familles de composants utilisés de nos jours, le nombre de composants modélisés est plus limité que sur les autres recueils. Cependant, une mise à jour du recueil FIDES est en cours et doit permettre d'étendre sa couverture en terme de composants modélisés.

Tableau de synthèse

FIDES		
Généralités	Organisme à l'origine du modèle	DGA et industriels français (AIRBUS, GIAT, THALES, MBDA, EUROCOPTER)
	Principe de construction	Modélisation des défaillances puis recalage par rapport au REX
	Domaine d'application privilégié (REX utilisé)	Equipements militaires et aéronautiques
	Défaillances modélisées	Intrinsèques + process de conception/fabrication
	Unité de la modélisation	Défaillance par heure calendaire
	Date de la dernière version	2004
	Modèle toujours entretenu	Oui – V2 en cours
	Outils informatiques	Peu nombreux
	Prix du modèle (papier)	Gratuit
Modélisation	Formule mathématique	$\lambda = \sum (\lambda_{\text{thermique}} + \lambda_{\text{boitier}} + \lambda_{\text{report}} + \lambda_{\text{humidité}} + \lambda_{\text{mécanique}})_{\text{phase}} \cdot \Pi_{\text{induit}}$
	Modélisation de l'environnement	Environnement paramétrable
	Méthodes	- Part stress
	Paramètres génériques	- Technologie du composant - Environnement annuel (cyclage thermique, température ambiante, phases de fonctionnement, humidité, niveau de vibration) - Stress thermique - Stress électrique
	Paramètres exclus	-
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de défaillance donné en heures calendaires - Prise en compte du non fonctionnement - Modélisation basée sur la physique des défaillances - Nécessite une caractérisation détaillée de l'environnement (propose cependant des valeurs par défaut pour des environnements types) - Couvre les COTS - Prend en compte les défaillances externes liées à la conception/fabrication 	

2.1.6. 217PLUS

Origine

Le recueil de fiabilité prévisionnelle 217Plus a été développé par le Reliability Information Analysis Center (RIAC) anciennement le Reliability Anaysis Center (RAC) à l'origine des dernières versions du recueil MIL-HDBK-217.

Le recueil 217Plus a été élaboré afin de répondre aux problématiques d'obsolescence du recueil MIL-HDBK-217 qui n'est plus entretenu depuis la parution de la version F notice 2 en 1995.

Le recueil 217Plus correspond à la mise à jour de la version 1.5 du logiciel d'évaluation de la fiabilité électronique PRISM.

Méthode de construction des modèles et retour d'expérience utilisé

De même que pour les recueils MIL-HDBK-217, RDF93 ou UTE-C 80810, les différents modèles contenus dans le recueil 217Plus ont été construits selon une approche empirique.

Le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles n'est pas directement décrit dans le recueil. Cependant, selon les informations disponibles, il semble que le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles soit largement basé sur la base de données du RIAC.

Par ailleurs, compte tenu du lien de filiation entre le RIAC et l'armée US, il semble probable qu'une large part du retour d'expérience utilisé pour construire le recueil 217Plus soit issue du domaine militaire. Ce point n'a cependant pas pu être vérifié auprès du RIAC.

Modélisation mathématique

Le modèle mathématique générique utilisé dans le recueil de fiabilité 217Plus est de type additif pour l'évaluation de la contribution physique et multiplicatif pour l'influence du $\pi_{Process}$ sur la fiabilité globale.

Il se présente sous la forme suivante :

$$\lambda = \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_O + (\lambda \cdot \pi)_E + (\lambda \cdot \pi)_C + \lambda i + (\lambda \cdot \pi)_{Sj}}_{\text{Contribution physique}} \cdot \underbrace{\pi_{Process}}_{\text{Contributions process}}$$

De même que pour les recueils UTE-C 80810 ou FIDES, cette modélisation permet de dissocier les catégories de mécanismes de défaillance indépendantes les unes des autres.

Familles de composants couvertes

Par rapport aux familles de composants couvertes par le recueil MIL-HDBK-217, le recueil 217Plus ne présente pas de familles supplémentaires. Les principaux composants non modélisés sont les suivants :

- Tubes électroniques,
- Lasers,
- Filtre,
- Eléments rotatifs (moteurs, résolveurs...),
- Moyens de mesures (voltmètre, ampèremètre...),
- Lampes

Tableau de synthèse

217Plus		
Généralités	Organisme à l'origine du modèle	RIAC (DoD – USA)
	Principe de construction	Modélisation du REX
	Domaine d'application privilégié (REX utilisé)	Militaire issu de la MIL-HDBK-217F
	Défaillances modélisées	Intrinsèques + process de conception/fabrication
	Unité de la modélisation	Défaillance par heure calendaire
	Date de la dernière version	2006
	Modèle toujours entretenu	Oui
	Outils informatiques	Peu nombreux
	Prix du modèle (papier)	180\$
Modélisation	Formule mathématique	$\lambda = \lambda_{\text{fonctionnement}} + \lambda_{\text{environnement}} + \lambda_{\text{cyclage}} + \lambda_{\text{induit}} + \lambda_{\text{report}}$
	Modélisation de l'environnement	Environnement paramétrable
	Méthodes	- Part count - Part stress
	Paramètres génériques (part count)	- Technologie du composant - Type d'environnement
	Paramètres génériques (part stress)	- Technologie du composant - Environnement annuel (cyclage thermique, température ambiante, phases de fonctionnement, humidité) - Stress thermique - Stress électrique
Paramètres exclus	- Contraintes liées à aux agressions chimiques	
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de défaillance donné en heures calendaires - Prise en compte du non fonctionnement - considère une amélioration de la fiabilité avec le temps (reliability growth factor) - le modèle doit être mis à jour régulièrement - Prend en compte les défaillances externes liées à la conception/fabrication - Semble nécessiter une caractérisation de l'environnement moins fine que FIDES 	



2.2. COMPARAISON GNERIQUE DES RECUEILS DE FIABILITE

2.2.1. RETOUR D'EXPERIENCE DE CONSTRUCTION DES RECUEILS

Le tableau suivant présente pour chaque recueil couvert par ce guide de sélection, les origines du retour d'expérience utilisé pour leur construction/étalonnage :

Recueil	REX de construction	Taille du REX	Génération de technologie
MIL-HDBK-217	Aéronautique militaire, automobile militaire, Installation sol militaire	10 à 500 milliards d'heures	équipements conçus entre 1975 et 1980
RDF93	Installation au sol (télécom-informatique) et équipements ferroviaires	Non communiqué	équipements en service à la fin des années 80
UTE-C 80810	Installation au sol (télécom-informatique), équipements automobile et aéronautique civile, militaire portatif	Non communiqué	équipements en service entre 1992 et 2001
FIDES	Équipements aéronautique civile (avion, hélicoptère), militaire (avion, missile), automobile militaire, naval militaire	Non communiqué	équipements en service au début des années 2000
217Plus	Non communiqué	Non communiqué	Non communiqué

Nota : les recueils RDF93, UTE-C 80810 et FIDES indiquent dans leur préface les secteurs source du REX utilisé sans précision supplémentaire. Les documents référencés dans le recueil MIL-HDBK-217 donnent des précisions sur le retour d'expérience utilisé.

2.2.2. TAUX DE DEFAILLANCE HORAIRE ET TAUX DE DEFAILLANCE CALENDRAIRE

Les taux de défaillance calculés par les différents recueils de fiabilité ne sont pas exprimés dans la même unité ou avec la même référence de temps.

En effet, les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 calculent les taux de défaillance par heure de fonctionnement dans un environnement donné alors que les recueils UTE-C 80810, FIDES et 217Plus calculent le taux de défaillance moyen calendaire pour une année typique d'utilisation. Le taux de défaillance moyen par heure calendaire correspond au taux de défaillance d'une année typique d'utilisation ramené à une heure de l'année (1/8760). Il est donc représentatif de l'ensemble de l'année et englobe de ce fait l'ensemble des phases de fonctionnement de l'année.

Cette différence peut être source de confusion et d'erreur importante par rapport à l'utilisation des résultats fournis par les recueils.

Il convient donc d'apporter la plus grande vigilance quant à l'unité dans laquelle est exprimé le taux de défaillance afin d'éviter ces erreurs.

Dans le cadre de ce guide de sélection, l'ensemble des taux de défaillances ont été convertis pour correspondre à des taux de défaillance moyens calendaires pour une année typique d'utilisation pour réaliser les comparaisons.

2.2.3. COMPARAISON DU TAUX DE DEFAILLANCE EQUIPEMENT

Cette section propose une analyse comparative des résultats des recueils pour un même équipement dans différents environnements.

Le comparatif du taux de défaillance (λ) d'un équipement calculé par les différents recueils n'est pas un critère de sélection en tant que tel d'un point de vue technique ou scientifique.

Cependant, l'utilisateur de ce recueil peut utiliser ce comparatif pour :

- Identifier le recueil proposant les valeurs les plus proches de son REX,
- Évaluer les écarts de résultat entre les recueils,
- Évaluer les variations d'un environnement à l'autre.

L'équipement utilisé pour la comparaison des recueils est représentatif d'une conception moderne d'une unité de traitement numérique associée à des interfaces numériques et analogiques.

La figure suivante présente les taux de défaillance de l'équipement modélisé par les recueils dans différents environnements :

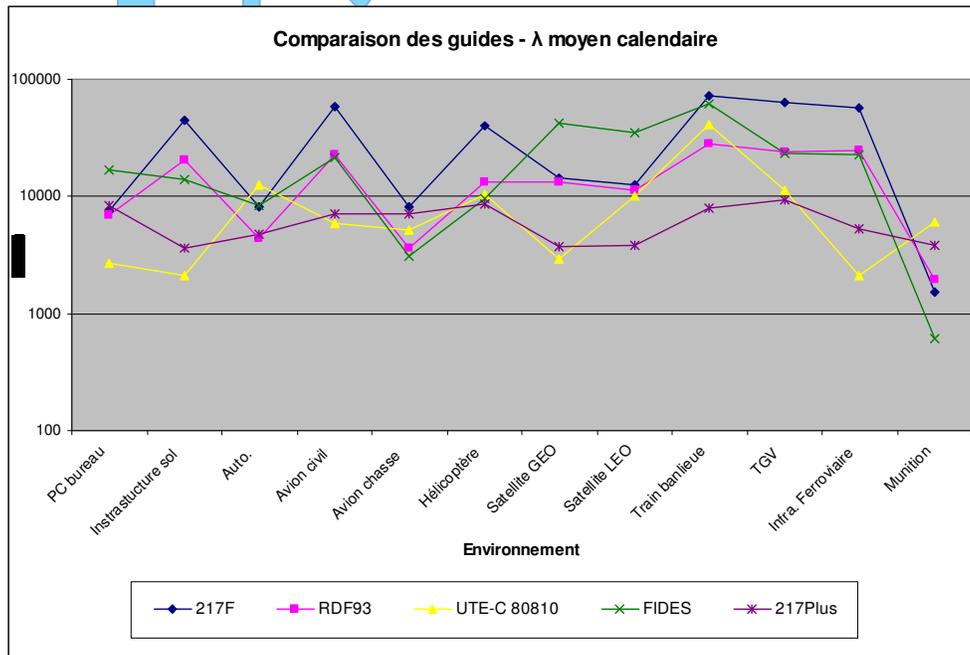


Figure 2 : Taux de défaillance équipement pour différents environnements

Il est important de noter que le λ équipement est un taux de défaillance moyen calendaire pour une année typique d'utilisation et non un taux de défaillance par heure de fonctionnement.

Ceci explique que le λ dans des environnements tels que "avion de chasse" (faible taux d'utilisation) soit plus faible que dans l'environnement avion civil (fort taux d'utilisation)

Cette comparaison met en évidence que pour un équipement complet, les recueils donnent, de manière générale, des résultats dans un même ordre de grandeur (à l'intérieur d'un facteur 10).

Cette comparaison montre également que le recueil 217Plus donne des taux de défaillance plus faibles pour la plupart des environnements avec des amplitudes entre environnement faibles.

Attention : cette comparaison correspond au cas général d'un équipement numérique/analogique constitué des technologies courantes en 2008. Dans le cas d'un équipement faisant appel à des technologies nouvelles, ou pour lequel certains types de composants sont largement prédominants, ce constat n'est pas applicable.

2.2.4. COHERENCE DES MODELISATIONS

Les mécanismes de défaillance modélisés par l'ensemble des recueils de fiabilité couverts par ce guide de sélection ont été comparés pour un grand nombre de familles de composants. Cette comparaison a permis d'analyser leurs comportements relatifs et d'identifier d'éventuelles anomalies dans leur modélisation.

Les mécanismes qui ont été analysés sont les suivants :

- mécanisme de défaillance thermo-électrique
- mécanisme de défaillance liée aux cyclages thermiques
- mécanisme de défaillance liée aux contraintes thermo-chimiques (contraintes spécifiques aux phases de non fonctionnement)
- autres mécanismes (mécanique, induit,...)

Ces comparaisons ont montré que les modélisations des mécanismes de défaillance ont un comportement globalement similaire malgré les différences au niveau des équations utilisées, de leur niveau ou de leur amplitude de variation.

Quelques écarts ont toutefois été remarqués. Le plus significatif concerne la modélisation des cyclages thermiques du recueil UTE-C 80810 qui présente une discontinuité difficilement compréhensible. Cette discontinuité intervient lorsque le nombre de cycles thermiques est voisin de 1 cycle par heure (8760 cy/an).

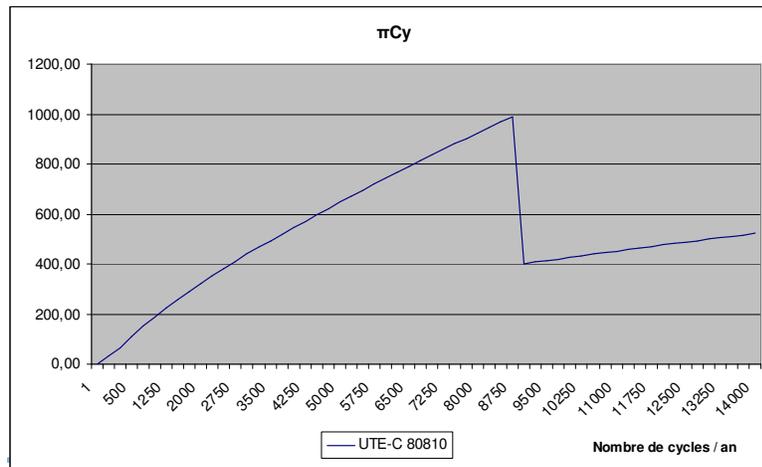


Figure 3 : Influence du nombre de cyclages thermiques sur le mécanisme de défaillance correspondant du recueil UTE-C 80810

Hormis la modélisation des cyclages thermiques du recueil UTE-C 80810, tous les autres recueils présentent des modélisations cohérentes les unes par rapport aux autres.

L'influence de cette discontinuité sur l'utilisation du guide est traitée dans la section "3.2 – Critères de sélection par rapport aux contraintes techniques".

3. PRINCIPES DE SELECTION DES MODELISATIONS

Les principes de sélection des modélisations se définissent selon 2 besoins distincts :

- sélection d'un recueil de fiabilité de référence,
- sélection d'un modèle de fiabilité pour un composant particulier

Le recueil de référence correspond au recueil utilisé dans le cadre d'un ou de plusieurs projets. Sa sélection doit être réalisée en prenant en considération les recueils dans leur globalité par rapport à un ensemble large de critères.

Ce guide de sélection définit deux critères de sélection : générique et lié aux contraintes techniques :

Critère de sélection	Contraintes associées
Générique	Contextuelles
	Opérationnelles
	Méthodologiques
Lié aux contraintes techniques	Techniques

Ces critères sont décrits dans la partie "3.1 Critères de sélection génériques" et "3.2 Critères de sélection par rapport aux contraintes techniques".

La sélection du modèle de fiabilité pour un composant particulier se fait lorsqu'un guide de référence ne permet pas de modéliser un composant ou le modélise de manière non satisfaisante. Il est alors nécessaire de rechercher une solution alternative permettant d'évaluer la fiabilité du composant en question.

Les critères de sélection associés à cette approche sont décrits dans la partie "3.3 Critères de sélection liés à la technologie des composants".

Il est important de noter que pour l'ensemble des critères de sélection, chaque recommandation est formulée en analysant le critère associé indépendamment des autres critères.

3.1. CRITERES DE SELECTION GENERIQUES

3.1.1. CRITERES DE SELECTION PAR RAPPORT AUX CONTRAINTES CONTEXTUELLES

Les critères de sélection par rapport aux contraintes contextuelles se définissent principalement selon :

- le secteur d'activité pour lequel est réalisée l'évaluation de fiabilité,
- la position donneur d'ordre / fabricant.

Les critères de sélection associés au secteur d'activité sont développés dans ce chapitre. Les critères de sélection associés à la position donneur d'ordre / fabricant se superposent largement avec les critères opérationnels et méthodologiques. Ils sont traités dans les sections correspondantes.

3.1.1.1. Adéquation entre retour d'expérience de construction du recueil

Afin d'assurer la meilleure correspondance possible entre la fiabilité évaluée par un recueil et la réalité, il est recommandé de prendre en compte dans la sélection d'un recueil, l'adéquation entre le REX de construction du recueil et le secteur d'activité de l'étude.

Cette adéquation se définit selon les paramètres suivants :

- domaine d'application du retour d'expérience,
- volume du retour d'expérience,
- génération de technologie des composants du retour d'expérience.

En effet, chaque recueil a été construit ou calibré à partir d'un retour d'expérience plus ou moins important et issu de différents secteurs d'activités. Il existe donc pour chacun d'eux des types d'application pour lesquels ils seront, en théorie, plus proches de la réalité.

Pour donner un niveau de confiance plus élevé dans la correspondance entre le résultat prévisionnel et la réalité, il est nécessaire que la technologie des composants utilisés soit en adéquation avec celle du retour d'expérience du recueil.

Le tableau au paragraphe 2.2.1 Retour d'expérience de construction des recueils présente pour chaque recueil le retour d'expérience de construction.

Recommandations :

A partir de chaque contexte particulier de l'utilisateur de ce guide, le choix d'un recueil par rapport au seul critère d'adéquation avec le retour d'expérience de construction des recueils, peut être recommandé comme précisé ci-dessous :

Contexte	Recueil recommandé
Aéronautique militaire - technologie des années 75-80 - technologie des années 2000	MIL-HDBK-217 FIDES
Aéronautique civile (avion) - technologie des années 90-2000 - technologie des années 2000	UTE-C 80810 FIDES
Équipements aéronautique civil (hélicoptère) - technologie des années 2000	FIDES
Véhicule terrestre militaire - technologie des années 75-80 - technologie des années 2000	MIL-HDBK-217 FIDES
Automobile civil - technologie des années 90	UTE-C 80810
Ferroviaire - technologie des années 80-90	RDF93
Installation sol militaire - technologie des années 75-80	MIL-HDBK-217
Installation au sol (télécom-informatique) - technologie des années 80-90 - technologie des années 90-2000	RDF93 UTE-C 80810
Militaire portatif - technologie des années 90-2000	UTE-C 80810
Naval militaire - technologie des années 2000	FIDES

Pour tout autre contexte non cité ci-dessus, aucune recommandation de choix d'un guide ne peut être précisée au regard du critère d'adéquation du retour d'expérience des recueils.

3.1.1.2. Modélisation de l'environnement

L'environnement est un facteur prépondérant sur la fiabilité. En effet, la fiabilité d'un même produit peut varier dans des proportions très importantes selon le type d'environnement dans lequel il sera placé.

La prise en compte de l'environnement par les recueils de fiabilité est donc un critère de sélection important qu'il convient d'analyser avec la plus grande attention.

Les points clés de la modélisation de l'environnement sont :

- l'approche générale de l'environnement, c'est dire la manière dont un environnement est défini,
- les contraintes prises en compte qui définissent les paramètres décrivant l'environnement,
- la modélisation des phases de non fonctionnement.

Approche générale de l'environnement

Les recueils de fiabilité modélisent l'environnement selon 2 approches différentes :

- définition de catégories d'environnements (MIL-HDBK-217, RDF93)
- paramétrage de l'environnement (UTE-C 80810, FIDES, 217Plus)

L'approche définissant les environnements par catégorie a pour avantage de faciliter la mise en œuvre par rapport à celle les paramétrant. Dans le cas de son utilisation, il est nécessaire de valider la similarité entre la catégorie choisie et l'environnement réel d'utilisation. Pour cela, les catégories d'environnement du recueil RDF93 sont définies dans sa préface et dans le document TR-80-229 pour le recueil MIL-HDBK-217.

Contrairement aux environnements définis par catégorie, les environnements paramétrables permettent de les affiner et d'ajuster les niveaux de contraintes pris en compte au plus proche de la réalité. Cette approche nécessite en revanche une connaissance plus précise des contraintes de l'environnement d'utilisation. De ce fait, cette approche peut présenter un niveau d'incertitude significatif en phase préliminaire, sachant que des écarts d'un ordre de grandeur peuvent être observés sur le résultat en fonction des hypothèses.

Recommandations :

Dans le cas où l'environnement d'utilisation du produit correspond à une catégorie d'environnement prédéfinie des recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 et qu'il n'est pas nécessaire de modéliser plus finement des variations d'environnement, l'utilisation de ces recueils est recommandée.

Dans le cas contraire, l'utilisation des recueils UTE-C 80810, FIDES et 217Plus est recommandée.

Contraintes prises en compte

Le tableau suivant présente les contraintes prises en compte dans la modélisation des environnements :

Contraintes	MIL-HDBK-217	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Contraintes thermiques	X	X	X	X	X
Environnement prédéfini (π_E)	X	X			
Contraintes de cyclage thermique			X	X	X
Contraintes mécaniques				X	X
Contraintes thermo-chimiques				X	X
Contraintes chimiques				X	
Contraintes induites (surcharges, ...)			X	X	X

Dans le cas des environnements définis par catégorie (π_E), il est impossible d'agir sur la caractérisation des contraintes à l'exception des contraintes thermiques. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de valider leur similarité avec l'environnement réel d'utilisation.

Les environnements paramétrables présentent l'avantage de pouvoir moduler voire supprimer l'influence de chaque contrainte, de façon individuelle, au plus près du réel. Il est cependant nécessaire de maîtriser leurs limites ou particularités afin de ne pas sortir de leur domaine d'utilisation.

Les environnements paramétrables présentent également l'avantage de modéliser les cyclages thermiques qui représentent un facteur d'accélération significatif des défaillances.

Recommandations :

En fonction des contraintes environnementales prépondérantes spécifiques au produit de l'utilisateur de ce guide, le choix d'un recueil par rapport au seul critère des contraintes prises en compte peut être recommandé comme précisé ci-dessous :

Contraintes prépondérantes	Recueil recommandé
Contraintes thermiques	Tous
Contraintes de cyclage thermique	UTE-C 80810, FIDES, 217Plus
Contraintes mécaniques	FIDES, 217Plus
Contraintes thermo-chimiques	FIDES, 217Plus
Contraintes chimiques	FIDES
Contraintes induites	UTE-C 80810, FIDES, 217Plus

Prise en compte des phases de non fonctionnement

Dans le cas de systèmes à phases de non-fonctionnement prépondérantes, ces phases peuvent avoir une influence significative sur la fiabilité du produit étudié. Il est donc nécessaire de pouvoir modéliser leur influence sur la fiabilité finale.

Les environnements paramétrables permettent de prendre en compte explicitement le non-fonctionnement, ce qui n'est pas le cas des recueils définissant les environnements par catégorie. Pour ces derniers, le taux de défaillance en phase de non-fonctionnement est souvent considéré comme 1/10 ou 1/20 du taux de défaillance en fonctionnement dans le même environnement.

Les recueils qui modélisent les phases de non fonctionnement présentent la particularité de calculer un taux de défaillance moyen calendaire. Ce point est souvent source de confusion par rapport au résultat des recueils définissant les environnements par catégorie pour lesquels le taux de défaillance est calculé par heure de fonctionnement dans l'environnement considéré.

Recommandations :

- Dans le cas où la durée de ces phases de non fonctionnement est significative, l'utilisation des recueils UTE-C 80810, FIDES et 217Plus est recommandée.
- Dans le cas contraire, tous les recueils peuvent convenir.

Pondération des catégories d'environnement prédéfinies

Ce point ne s'applique qu'aux recueils définissant des catégories d'environnement. C'est-à-dire les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93.

Chaque catégorie d'environnement englobe les différentes phases d'utilisation du système (ceci est dû à la construction empirique des recueils).

En d'autres termes, et par exemple, l'environnement GM ("Ground Mobile" - véhicule terrestre) du recueil MIL-HDBK-217 englobe l'ensemble des phases d'utilisation associées à un véhicule terrestre. A savoir :

- Stockage,
- Sol fixe,
- Sol mobile.

Cependant, la pondération des λ calculés dans plusieurs environnements est uniquement recommandée par le recueil MIL-HDBK-217 pour des systèmes soumis à des environnements très éloignés pendant leur mission comme par exemple un satellite (lancement/orbite).

Recommandations :

Aucune recommandation.

3.1.2. CRITERES DE SELECTION PAR RAPPORT AUX CONTRAINTES OPERATIONNELLES

Les contraintes opérationnelles sont celles associées à la mise en œuvre des différents recueils.

Les critères de sélection identifiés à partir de ces contraintes sont les suivants :

- Réutilisation des résultats,
- Granularité (finesse) des modélisations,
- Prise en compte de l'influence des processus de développement / fabrication,
- Coût/délais/difficulté.

3.1.2.1. Réutilisation des résultats

Quel que soit le contexte d'utilisation d'un recueil de fiabilité, il peut être intéressant de pouvoir réutiliser ses résultats afin de disposer de points de repère ou d'appuis vis-à-vis des performances de fiabilité dans le cadre de nouveaux projets ou de modification de produits existants.

La réutilisation de résultats implique généralement de nouvelles hypothèses et de nouveaux paramètres de calculs vis-à-vis de l'environnement ou de l'utilisation. Les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 nécessitent moins de paramètres et y sont moins sensibles que les autres recueils. La réutilisation de leurs résultats est donc moins risquée en terme de variations du résultat.

Pour les autres recueils, il est nécessaire de recalculer la fiabilité à partir du nouveau profil de mission. Les recueils FIDES et 217Plus, qui font intervenir l'influence du process, nécessitent une nouvelle évaluation de celui-ci s'il est différent (ré-industrialisation, redesign, changement de fournisseur...).

Pour ces recueils, la réutilisation de résultats nécessite l'intervention d'un spécialiste pour modéliser le nouveau profil de mission et évaluer si nécessaire le process. A l'opposé, les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 ne requièrent pas nécessairement l'intervention d'un spécialiste.

Il est à noter qu'avec les recueils UTE-C 80810, FIDES et 217Plus, la fiabilité d'un équipement peut varier pour un même contexte environnemental mais avec des cyclages thermiques différents.

Recommandations :

- Dans le cas où la réutilisation de résultats antérieurs doit être réalisée simple et rapide, l'utilisation des recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 est recommandée.
- Dans le cas où la réutilisation de résultats antérieurs doit présenter un risque de variation limité par rapport aux modifications d'hypothèses, l'utilisation des recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 est recommandée.
- Dans le cas où la réutilisation de résultats antérieurs se fait pour un même environnement et de mêmes conditions d'utilisation, tous les recueils sont adaptés.
- Pour tout autre contexte non cité ci-dessus, aucune recommandation de choix d'un guide ne peut être précisée au regard de ce critère.

3.1.2.2. Granularité (finesse) des modélisations

La capacité d'un guide à modéliser plus ou moins finement la fiabilité en fonction de l'ensemble des facteurs d'influences constitue un critère de sélection des différents recueils.

A ce jour, FIDES est le seul recueil présentant un niveau de détail important dans la modélisation. Ceci permet d'affiner le calcul à partir d'un nombre significatif de paramètres. Par contre, pour certaines familles de composants, cette finesse n'est pas justifiée compte tenu du faible impact sur la fiabilité du composant.

Par contre, ce niveau de détail de FIDES nécessite un nombre significatif de paramètres et présente une sensibilité aux hypothèses importantes.

Recommandations :

- Dans le cas où une grande finesse de modélisation par rapport aux facteurs d'influence de la fiabilité est requise, il est recommandé l'utilisation du recueil FIDES.
- Pour les autres cas, aucune recommandation de choix d'un recueil ne peut être précisée au regard de ce critère.

3.1.2.3. Prise en compte de l'influence des processus de développement / fabrication

Les recueils FIDES et 217Plus modélisent l'influence du process sur la fiabilité de l'équipement. Selon ces recueils l'impact du process est significatif : facteur compris entre 1 à 8 pour FIDES et entre 1 et 30 pour 217Plus. Il est donc nécessaire d'avoir un niveau de confiance élevé sur cette évaluation pour atteindre un bon niveau de confiance dans le résultat final.

Les implications de la prise en compte du process sont différentes entre le donneur d'ordre et le fabricant et sont détaillées ci-dessous.

Implication du process pour les donneurs d'ordre :

Le process étant propre à chaque société, les performances de fiabilité d'un même équipement fabriqué par 2 sociétés peuvent être significativement différentes. Inversement, la comparaison technique de deux équipements / architectures par rapport à leur fiabilité peut être totalement faussée par l'impact du process. Il est donc important pour le donneur d'ordre de prendre en compte ces aspects et de mettre en œuvre les moyens nécessaires et adaptés.

Recommandations :

Les recommandations par rapport à ces implications sont les suivantes :

- *Comparaison de solutions techniques* : pour pouvoir comparer les performances techniques indépendamment de la qualité des process de fabrication, il est recommandé de décomposer les résultats en :
 - Total avec l'influence du process,
 - Valeur sans l'influence du process,
 - Valeur de l'influence du process
- *Retrofit, redesign, changement de fabricant* : Pour toutes ces opérations, il faut porter une attention particulière sur l'impact du nouveau process sur les performances de fiabilité et donc sur la conformité aux exigences.
- *Imposer un niveau de performances process* : cette méthode peut avoir des répercussions significatives d'un point de vue financier pour les fabricants.
- *Audit de vérification* : compte tenu des impacts très importants du $\pi_{process}$ des recueils FIDES et 217Plus sur la fiabilité, il est impératif pour les donneurs d'ordre de mettre en œuvre des audits de vérification sur son évaluation.
- *Comportement du $\pi_{process}$ du recueil 217Plus* : la méthodologie d'évaluation de l'impact du process, permet, dans certaines conditions, de rendre (presque) nul le taux de défaillance final du produit. L'audit de vérification doit donc être réalisé avec une grande précision.

Implication du process pour les fournisseurs :

La valeur du $\pi_{process}$ pour un fabricant peut avoir des répercussions importantes sur les performances de fiabilité prévisionnelle de ses équipements. De plus cette valeur de $\pi_{process}$ peut également avoir des répercussions commerciales vis-à-vis de la concurrence.

Pour cela, il est fortement recommandé aux fournisseurs envisageant d'utiliser les recueils FIDES ou 217Plus, de mettre en œuvre un processus d'évaluation et d'optimisation de leur process de développement et de fabrication.

Recommandations :

Compte tenu de ces implications, il est recommandé d'évaluer :

- La valeur du $\pi_{process}$ "nominal" correspondant aux méthodes et savoir-faire mis en œuvre par le fournisseur.
- Les efforts (méthodologique, financier) à mettre en œuvre pour atteindre une valeur supérieure afin d'anticiper les besoins des donneurs d'ordre.

3.1.2.4. Coût/délais/difficulté

Le recueil de fiabilité peut être sélectionné en fonction de critères financiers, de délais de réalisation des études ou encore de complexité de mise en œuvre.

Les coûts associés à l'utilisation d'un recueil se décomposent de la manière suivante :

- Acquisition du recueil de fiabilité,
- Outils d'exploitation,
- Apprentissage/appropriation des méthodologies du recueil,
- Temps de réalisation de l'analyse,
- Gestion d'une bibliothèque et de Bases de données,
- Réutilisation des résultats.

Acquisition du recueil :

Le coût d'acquisition d'un recueil est faible (inférieur à 200€) et ne constitue donc pas un critère de sélection. A noter cependant que les recueils MIL-HDBK-217 et FIDES sont facilement accessibles (un outil informatique FIDES peut être téléchargé gratuitement).

Outil d'exploitation :

Tous les recueils sont modélisés dans des outils facilitant leur mise en œuvre. Leur utilité par rapport à leurs fonctionnalités et leurs limites sont très variables selon les cas d'utilisation. Il est impossible de réaliser une évaluation générique de ce point. Il convient à chacun de faire sa propre évaluation en fonction de ses besoins.

Apprentissage / appropriation des méthodologies du recueil :

Ce point correspond au temps nécessaire pour comprendre et maîtriser :

- les méthodologies d'évaluation proposées
- les structures mathématiques des modèles
- le principe de fonctionnement

Il est important de noter que l'investissement associé à l'apprentissage d'un recueil n'intervient qu'une fois.

Le tableau suivant présente le niveau de difficulté d'apprentissage des recueils :

	Méthod. globale	Profil de mission	Modèle math.	Paramètres techno	Qualité composant	Process
MIL-HDBK-217	Facile	Facile	Facile	Moyen	Facile	-
RDF93	Facile	Facile	Facile	Moyen	Facile	-
UTE-C 80810	Moyen	Difficile	Difficile	Difficile	-	-
FIDES	Difficile	Difficile	Difficile	Difficile	Difficile	Moyen
217Plus	Moyen	Moyen	Moyen	Facile	-	Moyen

La difficulté est définie en 3 niveaux : facile, moyen et difficile.

Temps de réalisation de l'analyse :

Le temps de réalisation d'une analyse est directement lié à la complexité et au niveau de difficulté associé à chacune des étapes de l'analyse.

Ces étapes sont les suivantes :

- Définition du profil de mission,
- Identification des paramètres pour chaque composant,
- Identification du niveau de qualité de chaque composant,
- Évaluation de l'influence du process.

Le tableau suivant présente le niveau de difficulté associée à chaque étape de l'analyse :

	Définition du profil de mission	Identification des paramètres des composants	Identification du niveau de qualité des composants	Identification de l'influence du process
Réurrence	projet	composant	P/N*	projet*
MIL-HDBK-217	Simple	Complicé	Moyen	-
RDF93	Simple	Complicé	Moyen	-
UTE-C 80810	Moyen	Complicé	-	-
FIDES	Complicé	Simple	Moyen	Simple
217Plus	Simple	Simple	-	Moyen

* Le niveau de qualité et l'influence du process peuvent être définis et réutilisés entre plusieurs projets.

Nota : le niveau de difficulté indiqué ne prend pas en compte la phase d'apprentissage.

Gestion d'une bibliothèque et de bases de données

La gestion d'une bibliothèque ou d'une base de données associée à un guide est principalement fonction d'une part de l'outil de gestion (souvent inclus dans l'outil d'exploitation du guide) et d'autre part du nombre de paramètres à gérer.

De plus les besoins en terme de gestion d'une bibliothèque ou d'une base de données sont très variables selon les utilisateurs. Il n'est donc pas possible de réaliser une évaluation générique de ce point. Il convient à chacun de faire sa propre évaluation en fonction de ses besoins.

Réutilisation des résultats

Ce point est traité dans le paragraphe 3.1.2.1.

En synthèse :

Le critère de coût et de temps de réalisation d'une analyse est très subjectif. Les informations ci-dessus permettent seulement d'orienter l'utilisateur de ce guide.

Toutefois, les généralités suivantes peuvent être avancées :

- Les recueils FIDES et UTE-C 80810 nécessitent un apprentissage plus long/coûteux que pour les autres recueils.
- L'introduction de l'influence du process dans la modélisation des recueils FIDES et 217Plus engendre une activité supplémentaire (audit), activité moins récurrente pour un fabricant, potentiellement récurrente pour un donneur d'ordre (sélection nouveau fournisseur).
- La réutilisation de calculs existants lors d'une phase préliminaire d'un nouveau projet est plus simple et rapide avec des données issues des recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 (utilisation de facteurs correctifs). Pour les données issues des autres recueils, le calcul doit être effectué de nouveau avec des hypothèses – voir §5.1)

Recommandations :

Le critère de coût et de temps de réalisation est fonction de plusieurs paramètres dont l'importance est très variable en fonction des cas et des contextes. Sachant que le(s) recueil(s) recommandé(s) sera fonction de l'importance accordée à chacun des critères, il n'est pas possible de formuler une recommandation générale. Il convient à chacun de faire sa propre évaluation en fonction de ses besoins.

3.1.3. CRITERES DE SELECTION PAR RAPPORT AUX CONTRAINTES METHODOLOGIQUES

Les contraintes méthodologiques se définissent par rapport à des besoins spécifiques sur des calculs de fiabilité.

Les critères de sélection identifiés à partir de ces contraintes sont les suivants :

- Finalité de l'évaluation de fiabilité
- Évaluation préliminaire/amont
- Prise en compte du niveau de qualité des composants
- Pertinence des recueils pour l'amélioration de la fiabilité prévisionnelle :
 - Précautions d'utilisation des composants
 - Amélioration des process

3.1.3.1. Finalité de l'évaluation de fiabilité

Selon l'utilisation qui sera faite des résultats de l'évaluation de fiabilité, les besoins quant aux caractéristiques du résultat peuvent varier de manière significative.

Les finalités génériques d'une évaluation de fiabilité sont les suivantes :

- Comparaison d'architecture
- Démonstration de performances (MTBF, analyse de sécurité, de disponibilité, ...) associées à des calculs de probabilité,
- Dimensionnement de stock.

Comparaison d'architectures

Dans ce cas, l'objectif de la fiabilité est de réaliser une comparaison entre plusieurs architectures sans que la valeur de fiabilité présentée soit un critère de choix en tant que tel. Il n'est alors pas nécessaire de disposer d'informations très détaillées. Il est en revanche fondamental de disposer d'évaluations réalisées dans le même référentiel afin de garantir la cohérence des informations. Cependant, dans le cas où la valeur de fiabilité présentée est utilisée, pour définir un niveau de redondance par exemple, il est alors nécessaire de disposer d'informations aussi précises et détaillées que possible.

Dans le premier cas, les guides MIL-HDBK-217 et 217Plus présentant des approches simplifiées pour les évaluations préliminaires (méthodes "Part Count") présentent l'avantage de la facilité et de la rapidité d'exécution de l'analyse.

Dans le second cas, l'ensemble des recueils sont équivalents du fait de l'utilisation de méthode d'évaluation complète (contrairement aux méthodes simplifiées utilisées dans le 1^{er} cas).

Démonstration de performances

Dans ce cas, l'objectif de la fiabilité est de réaliser une mesure de performance et de la comparer à un seuil afin de statuer sur une conformité. Un recueil pessimiste est alors à privilégier afin d'augmenter le niveau de confiance dans les résultats.

Du fait de sa sensibilité aux hypothèses, FIDES présente des risques significatifs par rapport à la démonstration de conformité de performance dans le cas de modification du profil de mission. Dans le cas de son utilisation, il est recommandé de réaliser une étude de sensibilité sur les hypothèses de calcul afin d'améliorer le niveau de confiance dans ses résultats.

De plus, il est fréquent que dans le cas de la démonstration de performances, il soit nécessaire de faire une étude dans des phases d'utilisation particulière pour évaluer des probabilités.

Dans ce cas, il est nécessaire de pouvoir décomposer le taux de défaillance par phase. Les recueils MIL-HDBK-217, RDF93 et FIDES permettent cette décomposition. Le recueil 217Plus ne distingue que les phases d'utilisation fonctionnement/non fonctionnement. Le recueil UTE-C 80810 ne distingue pas directement les phases d'utilisation.

Évaluation de stocks :

Dans le cas d'évaluation ou de dimensionnement de stocks, il est nécessaire d'avoir une évaluation au plus juste. En effet, une surestimation de la fiabilité aura pour effet un sous-dimensionnement des stocks avec des risques de rupture et les répercussions financières associées. Une sous-estimation de la fiabilité aura quant à elle pour effet un surdimensionnement des stocks augmentant de ce fait leur coût.

Pour ce type de finalité, il est donc recommandé d'utiliser un recueil détaillé avec la meilleure finesse de modélisation possible. Dans ce cas d'utilisation le recueil FIDES peut s'avérer très adapté.

Recommandations :

- Dans le cas où la finalité est une comparaison entre plusieurs architectures sans besoin d'informations détaillées, l'utilisation des recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus est recommandée.
- Dans le cas où la finalité est de définir une architecture sur la base des performances de fiabilité, l'ensemble des recueils conviennent.
- Dans le cas où la finalité est une démonstration de performance, utilisation des recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 est recommandée préférentiellement aux autres recueils du fait de leur caractère plutôt pessimiste.
- Dans le cas où la finalité est une démonstration de performance et qu'une analyse de sensibilité sur les hypothèses est prévue, l'ensemble des recueils conviennent.
- Dans le cas où la finalité de l'évaluation de fiabilité nécessite de pouvoir distinguer la fiabilité par phase, l'utilisation des recueils MIL-HDBK-217, RDF93 et FIDES est recommandée.
- Dans le cas où la finalité est une évaluation de stocks, l'utilisation du recueil FIDES est recommandée.

Au delà des recommandations orientant vers l'utilisation d'un recueil, la réalisation d'analyse de sensibilité sur les hypothèses de calculs est recommandée afin d'accroître le niveau de confiance dans les résultats et de mieux maîtriser les limites et incertitudes associées aux valeurs présentées.

3.1.3.2.Évaluation préliminaire/amont

Dans des phases de conception préliminaire, il peut être utile de disposer d'évaluation de la fiabilité basée sur des informations limitées en nombre et en précision. La capacité des guides à proposer des résultats à partir de ces informations sommaires peut donc être prise en compte pour sélectionner un recueil de fiabilité.

Dans ce contexte, lorsqu'il n'est pas possible de réutiliser des résultats antérieurs, les guides MIL-HDBK-217 et 217Plus proposent une méthode dite "Part Count". Cette méthode permet à partir d'informations très sommaire d'évaluer grossièrement la fiabilité des composants.

Il est à noter que les résultats proposés par cette méthode sont volontairement pessimistes. Ceci a pour objectif de limiter les risques projets liés à une dégradation de la fiabilité estimée lors des phases de conception détaillée par rapport aux phases préliminaires.

Dans le cas où le recueil FIDES est utilisé en phase préliminaire/amont d'un projet, il est important de prendre en compte sa sensibilité aux hypothèses. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une étude de sensibilité pour consolider le résultat et maîtriser les risques projet associés à cette évaluation de fiabilité.

Recommandations :

- L'utilisation des recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus est recommandée du fait de la présence de méthodes d'évaluation simplifiées élaborées pour ces contextes.

3.1.3.3.Prise en compte du niveau de qualité des composants

La prise en compte de l'influence de la qualité des composants permet de différencier les fournisseurs et de justifier au travers de leur fiabilité, du coût dû au niveau de qualité des composants. En fonction des besoins, la capacité des recueils à prendre en compte ces paramètres constitue un critère de différenciation et de sélection entre les recueils.

Les recueils UTE-C 80810 et 217Plus ne permettent pas de prendre en compte le niveau de qualité des composants. Ils ne permettent donc pas d'apporter des justifications en terme de choix de fournisseur et d'impact (quantifiable) de la qualité sur la fiabilité.

Pour le recueil 217Plus, la qualité des composants est évaluée de manière globale au niveau du process. Le recueil UTE-C 80810 considère par hypothèse que le niveau de qualité des composants est adapté au besoin.

Les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, FIDES considèrent la qualité qui est évaluée à partir de :

- Tests en production décrits dans le document MIL-STD-883b pour le recueil MIL-HDBK-217,
- Normes CECC pour le recueil RDF93,
- Normes internationales ISO, EIA, JES,... pour FIDES

En plus de ces paramètres, le recueil FIDES permet également de prendre en compte l'expérience entre le fournisseur de composants et le fabricant de l'équipement.

Recommandations :

- Dans le cas où il est nécessaire de pouvoir différencier les fournisseurs et de justifier au travers de leur fiabilité, du coût dû au niveau de qualité des composants, l'utilisation des recueils MIL-HDBK-217, RDF93 et FIDES est recommandée.
- Dans le cas où l'influence du niveau de qualité des composants est considéré à un autre niveau, l'utilisation des recueils UTE-C 80810 et 217Plus est recommandée.
- Pour tout autre contexte non cité ci-dessus, aucune recommandation de choix d'un recueil ne peut être précisée au regard de ce critère.

3.1.3.4. Pertinence des recueils pour l'amélioration de la fiabilité prévisionnelle

Les recueils de fiabilité peuvent être utilisés de manière plus ou moins directe comme support pour améliorer la fiabilité en terme de :

- précautions d'utilisation des composants (aide aux concepteurs),
- influence du process sur la fiabilité finale du produit

Dans ce cadre, les recueils peuvent être sélectionnés par rapport à leur capacité à apporter un support aux concepteurs ou une amélioration des process.

Précautions d'utilisation des composants :

Seuls les recueils UTE-C 80810 et FIDES spécifient pour certains composants des niveaux de stress à ne pas dépasser.

Cela permet aux concepteurs de définir des règles d'utilisation des composants qui garantissent de bons niveaux de fiabilité. De plus ces informations permettent de faciliter certaines tâches de vérification grâce à un travail plus ciblé.

A noter que les règles d'un recueil peuvent être utilisées indépendamment du recueil de référence choisi. En d'autres termes, il est possible de choisir un recueil de référence pour réaliser l'évaluation de fiabilité prévisionnelle et un autre recueil comme support pour l'amélioration de la fiabilité.

Amélioration des process

Pour les recueils qui modélisent l'influence du process sur la fiabilité finale du produit, il est possible d'utiliser la méthodologie d'évaluation pour optimiser le process. En effet, l'évaluation du process permet d'identifier ses faiblesses et donc des recommandations pour l'améliorer.

Il est à noter que dans le cas du recueil FIDES, des recommandations sont identifiées pour chaque point d'analyse du process, ce qui facilite son utilisation dans le cadre de l'optimisation des process.



Recommandations :

- Dans le cas d'un support dont l'objectif est d'optimiser l'utilisation des composants, l'utilisation des recueils UTE-C 80810 et FIDES est recommandée.
- Dans le cas d'un support dont l'objectif est d'optimiser les process afin d'améliorer leur influence sur la fiabilité, l'utilisation des recueils FIDES et 217Plus est recommandée.
- Pour tout autre contexte non cité ci-dessus, aucune recommandation de choix d'un recueil ne peut être précisée au regard de ce critère.

IMdR

3.2. CRITERES DE SELECTION PAR RAPPORT AUX CONTRAINTES TECHNIQUES

Cette section traite des différentes contraintes ou difficultés techniques pouvant survenir lors de l'utilisation d'un recueil. Ces contraintes constituent globalement des critères discriminants à l'égard de chaque recueil. Pour chacune de ces contraintes/difficultés, des approches sont proposées afin de faciliter leur abord.

Cependant, en fonction des besoins et du contexte de chacun, ces contraintes n'auront pas le même impact et les approches proposées n'auront pas la même applicabilité. Il n'est donc pas possible de réaliser une évaluation générique de ces points. Il convient à chacun de faire sa propre évaluation en fonction de ses besoins.

Les contraintes techniques se divisent en 2 sous-ensembles :

- Les composants non modélisés,
- Les limites et contraintes des différents modèles:
 - L'absence de modélisation du non fonctionnement
 - L'exclusion des périodes de jeunesse
 - L'influence de la modélisation des cycles thermiques
 - La sensibilité aux hypothèses
 - Les contraintes induites
 - La modélisation d'environnements complexes
- La prise en compte d'une politique de surveillance et d'amélioration du produit
- Les processus minimisant trop le taux de défaillance des composants

Les recommandations liées aux composants non modélisés sont décrites dans les paragraphes suivants : « 3.3 Critères de sélection liés à la technologie ».

Le tableau suivant synthétise pour chaque guide les limites et les contraintes des modèles :

Recueil	Limites et contraintes
MIL-HDBK-217	- Paramètres des EEPROM difficiles à évaluer (traité dans le paragraphe 3.3.3), - Limites de complexité des circuits intégrés (traité dans le paragraphe 3.3.3)
RDF93	- Exclusion des périodes de jeunesse - Augmentation non justifiée du taux de défaillance pour des températures négatives pour les composants passifs (traité dans le paragraphe 3.3.1) - Dégradation non justifiée de la fiabilité pour certaines valeurs de résistance (traité dans le paragraphe 3.3.1)
UTE-C 80810	- Discontinuité de la modélisation du cyclage thermique - Contraintes induites des semi-conducteurs
FIDES	- Exclusion des périodes de jeunesse - Sensibilité aux hypothèses
217Plus	- Modélisation d'environnements complexes - Prise en compte implicite d'une politique de surveillance et d'amélioration du produit - Cas d'environnement avec un nombre réduit de cycles thermiques - Processus minimisant trop le taux de défaillance des composants - Modèle des inductances générales avec un taux de défaillance significativement inférieur (traité dans le paragraphe 3.3.1) - Modèle des transformateurs d'isolement avec un taux de défaillance significativement supérieur (traité dans le paragraphe 3.3.1) - Contraintes induites – diodes, thyristors, transistors (traité dans le paragraphe 3.3.2)



Note : les limites de modélisation qui ne concernent pas l'ensemble des modèles mais seulement une famille de composants particulière sont traitées dans les parties correspondantes la section "3.3 –

IMdR

Critères de sélection liés à la technologie des composants”. Cette section ne traite que des limites applicables à l’ensemble des modèles d’un recueil.

3.2.1. COMPOSANTS NON MODELISES

Le tableau suivant synthétise pour chaque guide les composants ou phases non modélisés :

	MIL-HDBK-217	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Global	Non fonctionnement	Non fonctionnement	-	-	-
Composants passifs	-	Résistances - réseau - variables bobinées, - variables composition, - variables film	Résistances - variables bobinées, - variables composition, - variables film	Résistances - composition - variables bobinées, - variables composition, - variables film - Thermistances	-
	Condensateurs - variables FEP, - Glass, - Mica, - Papier,	Condensateurs - variables Piston, - variables trimmer, - variables Air, - variables FEP, - variables Glass, - variables Mica, - variables Papier, - vacuum	Condensateurs - tantale à électrolyte liquide, - variables Piston, - variables trimmer, - variables Air, - variables FEP, - variables Glass, - variables Mica, - variables Papier, - vacuum	Condensateurs - Mica/verre, - plastique, - papier - variables, - vacuum	-
Discrets actifs	-	Transistors - unijonction	Transistors - unijonction	Transistors - unijonction, - arséniure de gallium	-
Composants intégrés	Circuits intégrés - mixtes - avec boîtier BGA,	Circuits intégrés - Processeur	Circuits intégrés - à boîtier CANS	Circuits intégrés - Processeur - MMIC - à boîtier CANS	Circuits intégrés - PLD
Composants électromécaniques	-	Relais statique	Relais statique	Relais - statique	-
	Connecteur	Connecteur	Connecteur	Connecteur - Téléphone, - Hexagonal, - Elastomère	Connecteur
	Circuits imprimés	-	-	-	Circuits imprimés

Attention : ce tableau ne représente que les composants non modélisés des familles des passifs, discrets actifs et circuits intégrés.

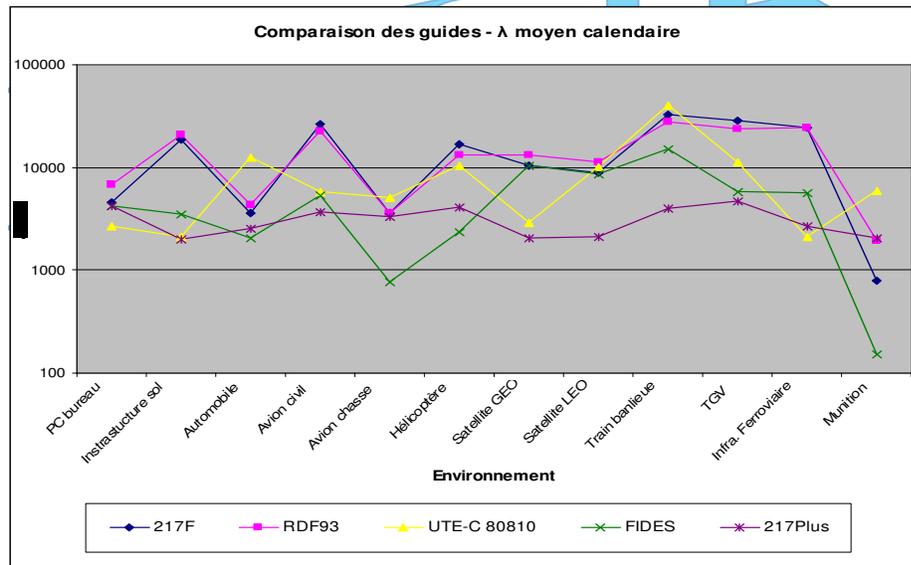
Les recommandations liées à l’absence de modélisation de ces composants sont décrites dans les parties correspondantes du paragraphe “3.3 Critères de sélection liés à la technologie des composants”.

3.2.2. ABSENCE DE MODELISATION DU NON FONCTIONNEMENT

Les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 ne modélisent pas explicitement les phases de non fonctionnement. Le taux de défaillance calculé par les modèles de ces recueils correspond au taux de défaillance par heure de fonctionnement dans l'environnement considéré.

L'ensemble des recueils étudiés dans ce guide ont été comparés en utilisant un facteur correcteur arbitraire (1/10) pour les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 afin de modéliser l'influence du non fonctionnement dans un environnement donné.

La figure suivante présente le taux de défaillance moyen calendaire calculé par les différents recueils dans différents environnements :



Il n'est pas identifié de comportement anormal de ces recueils du fait de ce facteur.

Par conséquent, dans le cas où le non fonctionnement n'est pas prédominant, il est possible d'utiliser un facteur 1/10 pour modéliser son influence dans un environnement donné comme cela est communément admis.

Dans le cas contraire, où le non fonctionnement est prédominant (missile, munition,...), l'utilisation de ce facteur peut entraîner une erreur significative sur le résultat pouvant justifier l'utilisation d'un autre recueil.

3.2.3. EXCLUSION DES PERIODES DE JEUNESSE

Les recueils RDF93 et FIDES indiquent explicitement que les périodes de jeunesse ne sont pas modélisées

Le recueil RDF93 précise qu'il n'est applicable que pour les périodes de vie utile des composants. C'est-à-dire hors période de jeunesse et de vieillesse.

Il n'est donc pas possible d'évaluer la fiabilité d'un équipement lors de sa mise en service (sauf cas de déverminage parfait).

Le recueil FIDES indique qu'il caractérise l'influence de ces processus par phase du cycle de vie hors des périodes de jeunesse ou de vieillesse de l'équipement.

Dans le cas où il est impératif d'évaluer la fiabilité lors de la mise en service, il est recommandé soit d'utiliser le recueil 217Plus qui permet d'évaluer la fiabilité durant cette période de la vie du produit, soit de faire référence à la préface du recueil UTE-C 80810 considérant que dans la plupart des cas la fiabilité à la mise en service est 3 fois supérieure à celle constatée durant la phase de vie dite "mature" du produit.

3.2.4. INFLUENCE DE LA MODELISATION DES CYCLES THERMIQUES

Les contraintes de cyclages thermiques correspondent à l'influence des variations thermiques pour une phase donnée. Elles agissent sur les mécanismes de défaillance des boîtiers et du report et ne sont pas dépendantes des périodes de fonctionnement de l'équipement.

Les cycles thermiques sont caractérisés par :

- leur nombre annuel,
- leur amplitude moyenne.

L'influence des cycles thermiques est directement prise en compte au niveau de la fiabilité des composants (pas de pondération).

Discontinuité de la modélisation du cyclage thermique du modèle

UTE C 80-810

La modélisation UTE-C 80810 de l'influence du cyclage thermique présente une discontinuité au voisinage de 1 cycle/heure (8760 cycles/an) illustrée par la figure suivante :

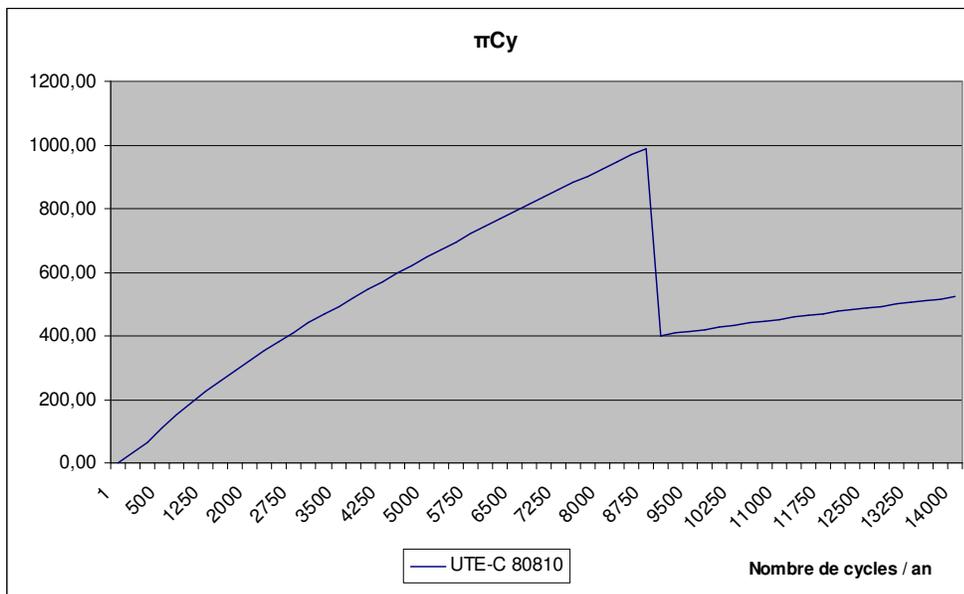


Figure 4 : UTE-C 80810 : Influence du nombre de cycles thermique

Cette discontinuité correspondant à une amélioration brutale de la fiabilité lorsque le nombre de cycles thermiques passe de 8760 à 8761 cycles par an ne trouve pas d'explication par rapport à un phénomène physique. Cette anomalie conduit à considérer que la modélisation des cycles du recueil UTE-C 80810 n'est pas réaliste particulièrement pour un nombre de cycles voisin de 8760 cycles par an.

Par conséquent, il est fortement recommandé de ne pas utiliser ce recueil pour ces conditions environnementales avec un nombre de cycles thermiques voisin de 1 cycle par heure.

De plus, pour de nombreux composants, le cyclage thermique est un paramètre prépondérant sur la fiabilité. Il est donc nécessaire de valider précisément les hypothèses sur le cyclage thermique du fait de leur forte influence sur la fiabilité.

217Plus : cas d'environnement avec un nombre réduit de cycles thermiques

Le recueil 217Plus prend en compte l'influence des contraintes de cyclages thermiques au travers du nombre de cycles thermiques et de leur influence. Le fait que dans cette prise en compte, un environnement avec 1 cycle par an de 20°C d'amplitude a le même impact que le même

environnement avec 1 cycle par heure incite à considérer cette modélisation non adaptée dans le cas d'environnement avec un nombre réduit de cycles thermiques.

Par conséquent, dans le cas où le nombre de cycles thermiques est faible, l'utilisation de tout autre recueil est recommandée.

3.2.5. SENSIBILITE AUX HYPOTHESES

Le recueil FIDES, permet de définir très précisément les contraintes environnementales pour différentes phases d'emploi de l'équipement. Ceci nécessite une connaissance détaillée des conditions environnementales opérationnelles. Dans le cas où ces conditions ne sont pas précisément connues, il est nécessaire de faire des hypothèses sur des paramètres influençant significativement la fiabilité des composants. Ces hypothèses peuvent être sources d'erreurs importantes par rapport à la fiabilité finale.

Par conséquent, dans le cas où les conditions d'utilisation ne peuvent pas être évaluées, il est nécessaire de prendre des précautions quant à l'utilisation du recueil FIDES voire de réaliser une étude de sensibilité par rapport aux contraintes environnementales.

3.2.6. CONTRAINTES INDUITES

UTE-C-80-810

Le taux de défaillance associé aux contraintes induites (λ_{EOS}) des modèles du recueil UTE-C 80810 (correspondant au taux de défaillance liée aux surcharges accidentelles) est ajouté au taux de défaillance des mécanismes intrinsèques en ne prenant en compte que le type d'interface (informatique, télécom, avionique civile, ferroviaire, ..., non interface).

Dans le cas de semi-conducteurs (discrets actifs ou circuits intégrés) spécialement dimensionnés ou protégés pour ce type de condition d'utilisation, il est recommandé de prendre des précautions sur l'utilisation de ce recueil voire d'utiliser un autre recueil.

217Plus Contraintes induites – diodes, thyristors, transistors

Le recueil 217Plus considère les contraintes induites (correspondant au taux de défaillance extrinsèque lié notamment aux surcharges accidentelles) de manière forfaitaire pour chaque composant sans qu'il soit nécessaire de caractériser l'environnement. Cette approche semble peu réaliste en particulier dans le cas de composants pour lesquels ces contraintes sont prépondérantes sur leur fiabilité.

Dans le cas des modèles des discrets actifs (diodes, thyristors et transistors), la contribution de ce mécanisme est très prépondérante sur le taux de défaillance calculé. Ceci a pour effet que les taux de défaillance calculés varient très peu entre les différents environnements (variations inférieures à un facteur 2) et sont quasiment identiques en fonctionnement et en non fonctionnement.

Par conséquent le recueil 217Plus est mal adapté à la modélisation fine des variations de fiabilité pour différents cas d'utilisation, l'utilisation de ce recueil n'est donc pas recommandée dans ce contexte.

Dans le cas où ce recueil est utilisé, les paramètres des diodes, thyristors et transistors peuvent être renseignés de façon assez grossière du fait de leur très faible influence sur le résultat. Les valeurs part-count peuvent également être utilisées.

Dans le cas où une modélisation fine de l'influence des contraintes sur la fiabilité de ces composants est nécessaire, il est recommandé d'utiliser un autre recueil.

3.2.7. MODELISATION D'ENVIRONNEMENTS COMPLEXES

Le recueil 217Plus caractérise les environnements au travers des contraintes moyennes des phases de fonctionnement et de non fonctionnement. Cette approche présente l'avantage pratique de nécessiter un nombre plus restreint de paramètres et donc hypothèses réduisant ainsi le risque d'erreur associé.

En revanche, cette modélisation ne permet pas de caractériser des environnements complexes pour lesquels les contraintes environnementales peuvent varier de manière significative en dehors des phases ON/OFF.

Le recueil 217Plus n'est donc pas adapté à la modélisation d'environnements complexes pour lesquels les variations de contraintes peuvent affecter la fiabilité des composants électroniques. Dans le cas où l'environnement d'utilisation est de ce type, l'utilisation de tout autre recueil est recommandée.

3.2.8. PRISE EN COMPTE IMPLICITE D'UNE POLITIQUE DE SURVEILLANCE ET D'AMELIORATION DU PRODUIT

217Plus

La prise en compte du temps dans l'influence des processus, notamment celui lié à la conception, implique une politique de surveillance et d'amélioration du produit. Cette politique ne peut pas être mise en œuvre dans tous les cas d'application (domaine spatial par exemple).

Dans ces cas l'utilisation de tout autre recueil est recommandée.

3.2.9. PROCESSUS MINIMISANT TROP LE TAUX DE DEFAILLANCE DES COMPOSANTS

271Plus

La modélisation de l'influence des processus du recueil 217Plus permet dans le cas d'un processus "parfait" de réduire le risque de défaillance de l'équipement jusqu'à le rendre quasi nul. Ce point est surprenant et apparaît difficilement justifiable.

Il est par conséquent recommandé de considérer avec prudence l'influence d'un processus minimisant trop le taux de défaillance des composants.

3.3. CRITERES DE SELECTION LIES A LA TECHNOLOGIE DES COMPOSANTS

3.3.1. LES COMPOSANTS PASSIFS

La famille des composants passifs traités par ce guide de sélection comprend :

- les résistances,
- les condensateurs,
- les inductances (bobines et transformateurs)

3.3.1.1. Généralités

Le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles des composants passifs du recueil MIL-HDBK-217 est très important pour un environnement aéronautique militaire et pour des technologies anciennes (environs 30 ans). Dans le cas de technologies ou d'environnements similaires à ceux du retour d'expérience du recueil MIL-HDBK-217, ce recueil est fortement recommandé compte tenu du niveau de confiance élevé par rapport à sa représentativité.

3.3.1.2. Couverture / Exhaustivité des sous-familles

Les composants suivants ne sont pas modélisés par tous les recueils :

- Résistances
 - ↔ réseau (RDF93),
 - ↔ composition/agglomérées (FIDES)
 - ↔ variables bobinées (RDF93, UTE-C 80810, FIDES),
 - ↔ variables composition (RDF93, UTE-C 80810, FIDES),
 - ↔ variables film (RDF93, UTE-C 80810, FIDES)
 - ↔ Thermistances (FIDES)
- Condensateurs
 - ↔ tantale à électrolyte liquide (UTE-C 80810),
 - ↔ Mica/Verre (UTE-C 80810, FIDES)
 - ↔ plastique (FIDES),
 - ↔ papier (FIDES)
 - ↔ variables FEP (MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810),
 - ↔ variables Mica/Verre (MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810)
 - ↔ variables Papier (MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810)
 - ↔ variables Piston, trimmer (RDF93, UTE-C 80810),
 - ↔ variables Air, trimmer (RDF93, UTE-C 80810)



- ↪ variables (FIDES),
- ↪ vacuum (RDF93, UTE-C 80810, FIDES)

A l'exception des thermistances, des résistances réseau et des condensateurs variables film, les résistances, les condensateurs et les composants inductifs courants sont modélisés par l'ensemble des recueils.

La présence de modèles génériques dans le recueil 217Plus lui permet, d'une part d'assurer une couverture maximale par rapport aux types de composants modélisés, et d'autre part offre la possibilité de simplifier les calculs en considérant un nombre limité de type de composants passifs dans le cadre d'une approche préliminaire.

Les recommandations associées à l'absence de modélisation des composants sont présentées ci-dessous.

Absence de modélisation des résistances en réseau – RDF93

Du fait de la similarité des modélisations avec le recueil MIL-HDBK-217, il est possible d'utiliser le modèle équivalent du recueil MIL-HDBK-217 (RZ).

Cependant, les recueils UTE-C 80810 et FIDES qui modélisent explicitement ce type de résistance considèrent que sa fiabilité est fonction de la racine carré du nombre de résistances du réseau. Par conséquent, il est également possible d'appliquer cette relation au modèle de résistances du recueil RDF93.

Absence de modélisation des résistances composition/agglomérées – FIDES

Les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et 217Plus proposent des modélisations pour ce type de résistance peu courant dans les montages actuels.

Du fait de sa (plus grande) similarité de sa modélisation avec celle du recueil FIDES, le modèle du recueil UTE-C 80810 est recommandé plutôt que celui des autres recueils.

Absence de modélisation des résistances variables bobinées, composition, film – RDF93, UTE-C 80810, FIDES

Les recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus (modèle générique) proposent des modélisations pour ces composants peu courants dans les montages actuels.

Dans le cas où le recueil de référence est le recueil RDF93, il est recommandé d'utiliser préférentiellement les modèles du recueil MIL-HDBK-217 du fait de la similarité des modélisations.

Dans le cas où le recueil de référence est le recueil UTE-C 80810 ou FIDES, il est recommandé d'utiliser préférentiellement les modèles du recueil 217Plus du fait que celui-ci modélise le taux de défaillance dans la même unité (taux de défaillance moyen annuel).

Absence de modélisation des thermistances – FIDES

Ces composants sont modélisés par les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et 217Plus.

Pour l'ensemble de ces recueils, le taux de défaillance d'une thermistance est inférieur à 10^{-7} /H.

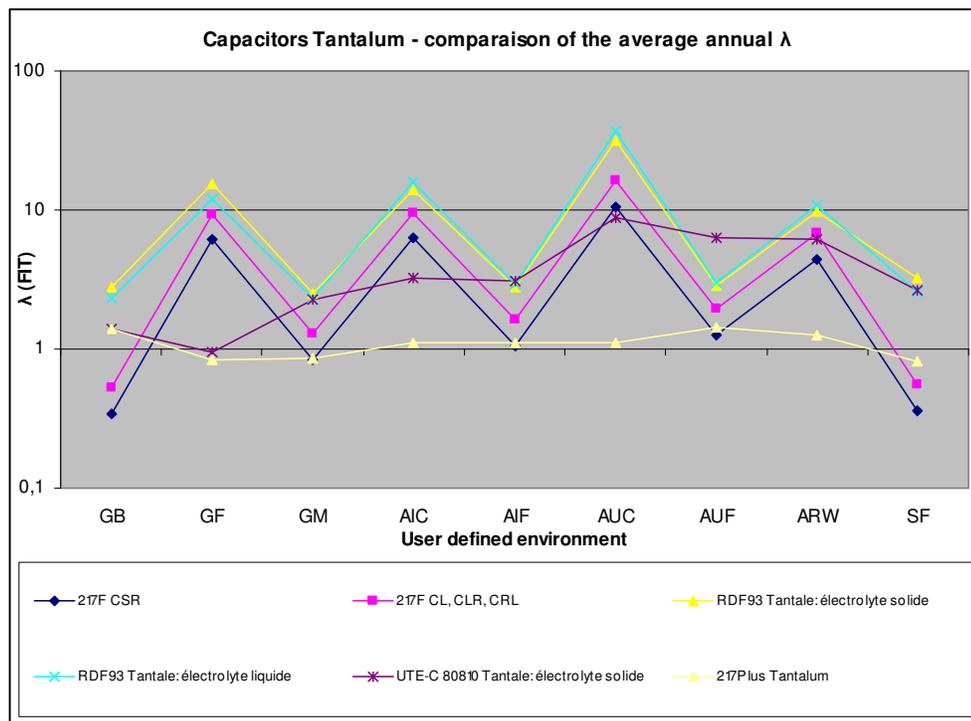
Par conséquent, dans le cas où il est possible ou préférable d'utiliser une approche pessimiste, cette valeur par défaut peut être utilisée.

Dans le cas contraire, les modèles des recueils UTE-C 80810 ou 217Plus sont à recommander du fait qu'ils modélisent le taux de défaillance dans la même unité que le recueil FIDES (taux de défaillance moyen annuel).

Absence de modélisation des condensateurs tantale à électrolyte liquide – UTE-C 80810

Les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 modélisent distinctement les condensateurs tantale à électrolyte liquide de ceux à électrolyte solide.

Pour ces 2 recueils, ces types de condensateurs présentent des performances de fiabilité très proches comme illustré dans la figure ci-dessous :



Le recueil 217Plus, le plus récent, ne distingue plus le type d'électrolyte comme facteur d'influence pour la fiabilité de ces condensateurs. De ce fait, il est donc possible de considérer pour le recueil UTE-C 80810, les condensateurs tantale à électrolyte liquide comme des condensateurs tantale à électrolyte solide.

Absence de modélisation des condensateurs Mica/Verre – UTE-C 80810, FIDES

Les condensateurs Mica/Verre sont modélisés par les recueils MIL-HDBK-217, RDF93 et 217Plus.

Compte tenu du fait que le recueil 217Plus modélise le taux de défaillance dans la même unité que les recueils UTE-C 80810 et FIDES (taux de défaillance moyen annuel), il est recommandé d'utiliser préférentiellement le modèle de ce recueil.

Absence de modélisation des condensateurs plastique, papier – FIDES

Ces condensateurs sont modélisés par les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et 217Plus.

Le recueil UTE-C 80810 est recommandé du fait de la (plus grande) similarité de sa modélisation avec celle du recueil FIDES.

Absence de modélisation des condensateurs variables FEP, Glass, Mica, Papier – MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810

Ces condensateurs ne sont modélisés explicitement par aucun recueil étudié pour construire ce guide de sélection. Il n'est donc pas possible d'utiliser un modèle dédié issu d'un autre recueil.

Cependant, le recueil 217Plus propose un modèle générique "Capacitor variable" susceptible de couvrir ces types de condensateur.

A défaut d'information sur leur fiabilité de la part des constructeurs, il est donc possible d'utiliser les valeurs "part count" du condensateur variable du recueil 217Plus.

Absence de modélisation des condensateurs variables Piston trimmer, Air trimmer – RDF93, UTE-C 80810

Ces types de condensateurs ne sont pas modélisés dans les recueils RDF93, UTE-C 80810 et FIDES. Les recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus (modèle générique) proposent des modélisations pour ces composants peu courants dans les montages actuels.

Dans le cas où le recueil de référence est le recueil RDF93, il est recommandé d'utiliser préférentiellement les modèles du recueil MIL-HDBK-217 du fait de la similarité des modélisations.

Dans le cas où le recueil de référence est le recueil UTE-C 80810 ou FIDES, il est recommandé d'utiliser préférentiellement les modèles du recueil 217Plus du fait que celui-ci modélise le taux de défaillance dans la même unité (taux de défaillance moyen annuel).

Absence de modélisation des condensateurs variables – FIDES

Les condensateurs variables ne sont pas modélisés dans le recueil FIDES.

Pour les condensateurs variables qui sont modélisés dans le recueil UTE-C 80810, ce recueil est recommandé du fait de la (plus grande) similarité entre ces recueils.

Pour les autres types de condensateurs variables, les modèles du recueil 217Plus sont recommandés du fait que les taux de défaillances sont exprimés dans la même unité.

Absence de modélisation des condensateurs vacuum – MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810, FIDES

Aucun recueil ne modélise explicitement ce type de condensateur très peu courant dans les montages actuels.

Cependant, le modèle générique "Capacitor variable" du recueil 217Plus est susceptible de couvrir ces types de condensateur.

A défaut d'information sur leur fiabilité de la part des constructeurs, il est donc possible d'utiliser les valeurs "part count" du condensateur variable du recueil 217Plus.

Note : la présence d'un modèle générique dans le guide de fiabilité 217Plus permet dans un premier temps d'assurer une couverture maximum par rapport aux modèles des capacités, et dans un second temps offre la possibilité de simplifier et de réaliser plus vite les calculs en considérant un nombre limité de types de capacités lors d'une étude préliminaire.

Paramètres nécessaires au calcul

Les paramètres nécessaires aux calculs varient entre les recueils (profils de mission exclus). Ces variations sont limitées et concernent, dans la plupart des cas, des paramètres simples à évaluer (Stress, puissance dissipée, température maximale supportée).

Il n'y a donc pas d'élément de sélection générique des composants passifs du fait de la complexité des paramètres des modèles des différents recueils.

Seule la modélisation des condensateurs aluminium à électrolyte liquide des recueils RDF93 et UTE-C 80810 nécessite de connaître l'élévation de température interne ainsi que la valeur de crête des impulsions. L'évaluation de ces paramètres présente un niveau de difficulté élevé.

Dans le cas de l'utilisation de ce recueil, il est donc nécessaire de prendre en compte la charge de travail supplémentaire liée à l'évaluation de ces paramètres dans le cas d'un équipement utilisant de nombreux condensateurs de ce type.

3.3.1.3.Limites des modélisations

Les limites des modélisations sont les suivantes :

- Températures négatives (MIL-HDBK-217, RDF93),
- Dégradation non justifiée de la fiabilité pour certaines valeurs de résistances (RDF93),
- Comportement atypique de composants au sein d'une même famille (217Plus),
- Courant de charge des condensateurs tantale et aluminium (MIL-HDBK-217, RDF93).

Les recommandations associées aux limites des modélisations des composants sont présentées ci-dessous.

Température négatives – MIL-HDBK-217, RDF93

De par l'équation mathématique utilisée, le recueil RDF93 modélise une augmentation du taux de défaillance pour les températures négatives contrairement à tous les autres recueils. Ce comportement a priori réaliste pour des températures très négatives ne l'est pas pour des températures négatives proches de 0°C.

Le recueil MIL-HDBK-217 indique que ses modèles ne sont plus utilisables pour des températures négatives.

Dans le cas d'une application avec des températures négatives, il est par conséquent nécessaire d'utiliser un autre recueil de fiabilité.

Dégradation non justifiée de la fiabilité pour certaines valeurs de résistances – RDF93

Cette dégradation correspond a priori à la maîtrise technique de la fabrication des résistances pour des valeurs extrêmes. Compte tenu de l'amplitude de variation limitée à 1,5 dans la plupart des cas, cette particularité n'est pas critique et ne nécessite pas de précaution particulière.

Comportement atypique de composants au sein d'une même famille – 217Plus

A l'exception du recueil 217Plus, les recueils distinguent en terme de fiabilité les transformateurs des inductances dans les composants inductifs. Ces 2 sous groupes ne sont pas identifiables avec le recueil 217Plus.

Les transformateurs d'isolement ont, dans le recueil 217Plus, un taux de défaillance significativement supérieur à celui des autres composants de la famille des composants inductifs. Dans le cas où ce modèle est utilisé, il est donc recommandé de prendre des précautions sur son utilisation notamment dans le cas de démonstrations de performances voire d'utiliser un autre recueil pour ce type de composant.

Les inductances générales ont, dans le recueil 217Plus, un taux de défaillance significativement inférieur à celui des autres composants de la famille des composants inductifs. Dans le cas où ce modèle est utilisé, il est recommandé de prendre des précautions sur son utilisation notamment dans le cas de démonstrations de performances voire d'utiliser un autre recueil pour ce type d'inductance.

Courant de charge des condensateurs tantale et aluminium

Les modèles des condensateurs tantale des recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 (les recueils les plus anciens) considèrent l'endommagement du composant par le courant de charge. L'absence de justification sur la prise en compte de ce facteur d'influence ne permet pas de justifier sa non prise en compte dans les autres recueils (plus récents).

Dans le cas de l'utilisation de ce type de condensateurs avec des courants de charge importants, l'utilisation de ces recueils (MIL-HDBK-217 ou RDF93) est considérée plus appropriée et donc recommandée car ils permettent de modéliser la dégradation de fiabilité qui peut en découler.

3.3.1.4. Comportement par rapport aux mécanismes de défaillance

Rappel : Les mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques ne sont pas modélisés explicitement par les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93. De même les contraintes thermo-chimiques ne sont pas modélisées par ces recueils ainsi que par le recueil UTE-C 80810. Ces points sont cependant communs à l'ensemble des modèles de ces recueils et ne constituent donc pas un critère de sélection technologique.

Mécanismes de défaillance thermo-électriques

L'ensemble des recueils modélisent les contraintes thermo-électriques en considérant la température (interne ou de surface) du composant. Les autres facteurs d'influence considérés varient selon les recueils. Ces différences n'ont cependant pas permis d'identifier l'élément de sélection entre les différents recueils.

Mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques

Les recueils UTE-C 80810/FIDES et 217Plus modélisent un comportement différent de ce mécanisme de défaillance :

- 217Plus : le nombre de cycles thermiques n'a quasiment pas d'impact sur la fiabilité des résistances
- UTE-C 80810 et FIDES : le taux de défaillance de ce mécanisme augmente proportionnellement au nombre de cycles thermiques

Cependant, pour un niveau de contrainte moyen, ces 3 recueils modélisent ce mécanisme de défaillance dans un même ordre de grandeur (facteur 10).

Par conséquent, pour un niveau de contraintes de cyclage thermique moyen, il n'y a pas de critère de sélection entre ces 3 recueils.

En revanche, dans le cas de cyclages thermiques peu contraignants, le recueil 217Plus présentera des valeurs pessimistes alors qu'elles seront optimistes pour des cyclages thermiques contraignants. Dans ces cas, l'utilisation des recueils UTE-C 80810 et FIDES est recommandée.

Mécanismes de défaillance thermo-chimiques

Les recueils FIDES et 217Plus modélisent un comportement différent de ce mécanisme par rapport à l'action de la température et de l'humidité. Cependant, dans les 2 cas, l'impact sur la fiabilité globale du composant est négligeable par rapport aux autres mécanismes.

Il n'y a pas de critère de sélection technologique et donc de recommandation par rapport à ce mécanisme de défaillance.

3.3.1.5.Synthèse

Les principales recommandations par rapport aux modèles des composants passifs sont les suivantes:

- Dans le cas d'environnements et de technologies similaires au retour d'expérience du recueil MIL-HDBK-217, l'utilisation de celui-ci est recommandée.
- Dans le cas de températures négatives, il est recommandé d'utiliser les recueils UTE-C 80810 et FIDES et 217Plus.
- Dans le cas de contraintes de cyclages thermiques moyennes (amplitude moyenne et nombre de cycles moyen), les recueils UTE-C 80810, FIDES et 217Plus sont recommandés. Excepté pour ce cas des contraintes de cyclages thermiques moyennes, les recueils UTE-C 80810 et FIDES sont recommandés face au recueil 217Plus.
- Dans le cas où les contraintes de cyclages thermiques sont peu ou très contraignantes, les recueils UTE-C 80810 et FIDES sont recommandés.
- Pour les inductances générales et les transformateurs d'isolation, les modèles des recueils UTE-C 80810 et FIDES sont recommandés par rapport aux modèles du recueil 217Plus qui présentent des valeurs atypiques.
- Pour les modèles des inductances générales et des transformateurs isolés

3.3.2. LES COMPOSANTS ACTIFS DISCRETS

La famille des composants passifs traités par ce guide de sélection comprend :

- les diodes et thyristors,
- les transistors.

3.3.2.1.Généralités

Le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles du recueil MIL-HDBK-217 est très important pour un environnement sol fixe et aéronautique militaire et pour des technologies anciennes (environ 30 ans). Dans le cas de technologies ou d'environnements similaires à ceux du retour d'expérience du recueil MIL-HDBK-217, ce recueil est fortement recommandé compte tenu du niveau de confiance élevé par rapport à sa représentativité.

Les modèles des recueils MIL-HDBK-217, RDF93 et FIDES ont des comportements similaires. Le large retour d'expérience utilisé par le recueil MIL-HDBK-217, permet de valider ces comportements et de considérer ces recueils représentatifs en terme de comportement entre environnements. Les recueils RDF93 et FIDES sont donc recommandés par rapport à leur modélisation entre environnements.

Le recueil 217Plus modélise la fiabilité des discrets actifs comme étant principalement due aux défaillances extrinsèques (voir Limites des modélisations), les rendant ainsi très peu sensibles aux contraintes environnementales et aux contraintes en fonctionnement. Ce comportement en opposition avec ceux modélisés par les recueils MIL-HDBK-217 (32 milliards d'heures de REX), RDF93 et FIDES conduit à ne pas recommander le recueil 217Plus dans le cas d'une évaluation fine de la fiabilité.

3.3.2.2. Couverture / Exhaustivité des sous-familles

Les composants suivants ne sont pas modélisés par tous les recueils :

- Transistors
 - ↳ unijonction (RDF93, UTE-C 80810, FIDES),
 - ↳ arséniure de gallium (FIDES)

L'ensemble des diodes et des thyristors courants sont modélisés dans chaque recueil.

La présence de modèles génériques dans le recueil 217Plus lui permet d'une part d'assurer une couverture maximale par rapport aux types de discrets actifs modélisés, et d'autre part offre la possibilité de simplifier les calculs en considérant un nombre limité de type de discrets actifs dans le cadre d'une approche préliminaire.

Les recommandations associées à l'absence de modélisation des composants sont présentés ci-dessous.

Absence de modélisation des transistors unijonction – RDF93, UTE-C 80810, FIDES

Les recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus proposent des modélisations pour cette famille de transistors.

Dans le cas où le recueil de référence est le recueil RDF93, il est recommandé d'utiliser préférentiellement les modèles du recueil MIL-HDBK-217 du fait de la similarité des modélisations.

Dans le cas où le recueil de référence est le recueil UTE-C 80810 ou FIDES, il est recommandé d'utiliser préférentiellement les modèles du recueil 217Plus du fait que celui-ci modélise le taux de défaillance dans la même unité (taux de défaillance moyen annuel)

Absence de modélisation des transistors arséniure de gallium – FIDES

Il est modélisé par les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et 217Plus.

Le recueil UTE-C 80810 est recommandé du fait de sa (plus grande) similarité de sa modélisation avec celle du recueil FIDES.

3.3.2.3. Paramètres nécessaires au calcul

Les paramètres nécessaires aux calculs varient entre les recueils (profils de mission exclus). Ces variations sont limitées et concernent des paramètres simples à évaluer (Stress, puissance appliquée, type d'application,...).

Par conséquent, il n'y a pas d'élément de sélection par rapport à ce critère.

3.3.2.4.Limites des modélisations

Les limites des modélisations sont les suivantes :

- Contraintes induites (UTE-C 80810, 217Plus)

Les recommandations associées aux limites des modélisations des composants sont présentées ci-dessous.

Contraintes induites – 217Plus

Le λ_{Induit} (correspondant au taux de défaillance extrinsèque lié notamment aux surcharges accidentelles) des modèles des discrets actifs du recueil 217Plus est très prépondérant sur le taux de défaillance calculé. Ceci a pour effet que les taux de défaillance calculés varient très peu entre les différents environnements (variations inférieures à un facteur 2) et sont quasiment identiques en fonctionnement et en non fonctionnement.

Par conséquent le recueil 217Plus est mal adapté à la modélisation fine des variations de fiabilité des diodes et des thyristors pour différents cas d'utilisation, l'utilisation de ce recueil n'est donc pas recommandée.

Dans le cas où ce recueil est utilisé, les paramètres des diodes et des thyristors peuvent être renseignés de façon assez grossière du fait de leur très faible influence sur le résultat. Les valeurs part-count peuvent également être utilisées.

Contraintes induites – UTE-C 80810

Le taux de défaillance associé aux contraintes induites (λ_{EOS}) des modèles du recueil UTE-C 80810 (correspondant au taux de défaillance liée aux surcharges accidentelles) est ajouté au taux de défaillance des mécanismes intrinsèques en ne prenant en compte que le type d'interface (informatique, télécom, avionique civile, ferroviaire, ..., non interface).

Dans le cas de composants spécialement dimensionnés ou protégés pour ce type de condition d'utilisation, il est recommandé de prendre des précautions sur l'utilisation de ce recueil voire d'utiliser un autre recueil.

3.3.2.5.Comportement par rapport aux mécanismes de défaillance

Rappel : Les mécanismes de défaillance liés au cyclages thermiques ne sont pas modélisés explicitement par les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93. De même les contraintes thermo-chimiques ne sont pas modélisées par ces recueils ainsi que par le recueil UTE-C 80810. Ces points sont cependant communs à l'ensemble des modèles de ces recueils et ne constituent donc pas un critère de sélection technologique.

Mécanismes de défaillance thermo-électriques

L'ensemble des recueils modélisent les contraintes thermo-électriques en considérant la température de jonction. Les autres facteurs d'influence considérés varient selon les recueils. Ces différences n'ont cependant pas permis d'identifier l'élément de sélection entre les différents recueils.

Par conséquent, hormis l'aspect pratique (moins de données d'entrée nécessaires pour les recueils RDF93, UTE-C 80810 et FIDES), il n'y a pas de critère de sélection par rapport à ce mécanisme de défaillance.

Mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques

Les recueils UTE-C 80810, FIDES et 217Plus modélisent le même comportement par rapport au cyclage thermique.

La modélisation de ces mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques est très différente entre ces recueils. Les recueils UTE-C 80810, FIDES considèrent que ces mécanismes de défaillance sont fonction du type de boîtier indépendamment du type de composant alors que le recueil 217Plus considère que ces 2 mécanismes de défaillance sont fonction du type de composant indépendamment du type du boîtier.

Bien que l'approche des recueils UTE-C 80810 et FIDES soit a priori plus facilement justifiable que celle du recueil 217Plus, l'absence d'élément d'information ne permet pas d'en faire un critère de sélection.

Cependant, dans le cas où une modélisation fine de l'influence de ces contraintes est nécessaire, les recueils UTE-C 80810 ou FIDES sont recommandés.

Mécanismes de défaillance thermo-chimiques

Les recueils FIDES et 217Plus modélisent un comportement différent de ce mécanisme par rapport à l'action de la température et de l'humidité. Cependant, dans les 2 cas, l'impact sur la fiabilité globale du composant est négligeable par rapport aux autres mécanismes.

Il n'y a pas de critère de sélection technologique par rapport à ce mécanisme de défaillance.

3.3.2.6.Synthèse

Les principales recommandations par rapport aux discrets actifs sont les suivantes:

- Dans le cas d'environnements et de technologies similaires au retour d'expérience du recueil MIL-HDBK-217, l'utilisation de celui-ci est recommandée.
- Dans le cas où le comportement de la fiabilité entre différents environnements est important, l'utilisation des recueils MIL-HDBK-217, RDF93 et FIDES est recommandée.
- Dans le cas de composants spécialement dimensionnés ou protégés pour être utilisés en interface, les modèles du recueil FIDES sont recommandés par rapport à ceux du recueil UTE-C 80810.
- Dans le cas où l'évaluation de fiabilité doit présenter un niveau de finesse significatif par rapport aux variations de contraintes environnementales, l'utilisation des recueils UTE-C 80810 et FIDES est recommandée à celle du recueil 217Plus.

3.3.3. LES COMPOSANTS INTEGRES ANALOGIQUES ET NUMERIQUES

3.3.3.1.Généralités

Aucun critère de sélection technologique générique n'a été identifié pour l'ensemble des composants de cette famille.

3.3.3.2.Couverture / Exhaustivité des sous-familles

Les composants suivants ne sont pas modélisés par tous les recueils :

- ↗ Circuits intégrés mixtes (MIL-HDBK-217)
- ↗ Circuits intégrés avec boîtier BGA (MIL-HDBK-217)
- ↗ Circuits intégrés Processeur (RDF93, FIDES)
- ↗ Circuits intégrés à boîtier CANS (UTE-C 80810, FIDES)
- ↗ Circuits intégrés MMIC (FIDES)
- ↗ Circuits intégrés PLD (217Plus)

Les recommandations associées à l'absence de modélisation des composants sont présentés ci-dessous.

Circuits intégrés mixtes (MIL-HDBK-217)

Les circuits intégrés mixtes ne sont pas directement modélisés par le recueil MIL-HDBK-217. Le modèle des circuits hybrides susceptible de proposer une modélisation alternative pour ces circuits ne convient pas du fait qu'il est nécessaire de définir si le circuit est de type numérique ou linéaire.

Cependant, les circuits mixtes sont considérés (par les recueils qui les modélisent) en terme de fiabilité comme étant intermédiaires entre les circuits numériques et linéaires.

Dans le cas où une modélisation pessimiste peut convenir, il est possible de considérer ces circuits comme des circuits linéaires ayant les mêmes paramètres.

Dans le cas contraire, il est nécessaire d'utiliser un autre recueil pour ces composants.

Circuits intégrés avec boîtier BGA (MIL-HDBK-217)

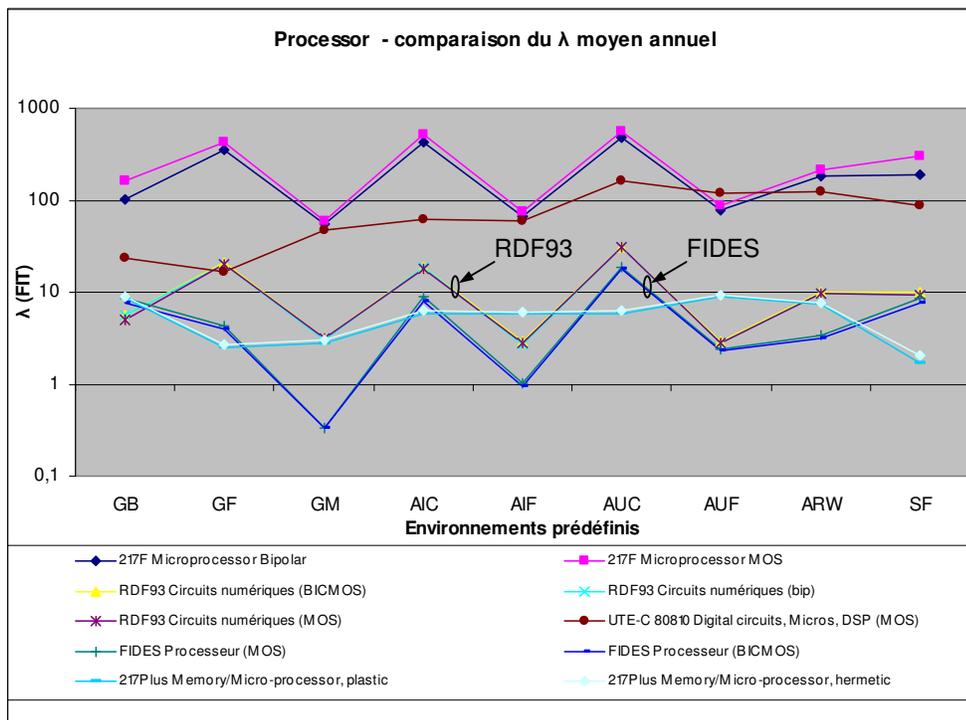
Les boîtiers BGA sont explicitement modélisés par les recueils RDF93, UTE-C 80810 et FIDES. Pour chacun de ces recueils, ce boîtier est considéré à nombre de broches équivalent plus fiable que le boîtier QFP modélisé également dans le recueil MIL-HDBK-217.

Par conséquent, dans le cas où un modèle pessimiste est acceptable, le boîtier BGA peut être considéré comme un boîtier QFP. Dans le cas contraire, il est nécessaire d'utiliser un autre recueil pour les circuits intégrés avec ce type de boîtier.

Circuits intégrés Processeur (RDF93, FIDES)

Les processeurs ne sont pas explicitement modélisés dans le recueil RDF93. Cependant, ce composant étant un circuit numérique particulier, le modèle des circuits numérique est susceptible de le couvrir.

La figure suivante présente le taux de défaillance des circuits numériques du recueil RDF93 par rapport aux modèles équivalents des autres recueils :



Cette figure illustre que l'utilisation des modèles des circuits numériques des recueils RDF93 et FIDES ne présente pas d'anomalie forte par rapport à celle des autres recueils.

Dans le cas où il est possible ou préférable d'utiliser une approche pessimiste, un facteur 5 peut être utilisé avec le recueil RDF93 et 10 avec le recueil FIDES pour obtenir des taux de défaillances proches de ceux du recueil MIL-HDBK-217 proposant les valeurs les plus conservatives.

Dans le cas contraire, le modèle des circuits numériques des recueils RDF93 ou FIDES peut être utilisé tel quel.

Circuits intégrés à boîtier CANS (UTE-C 80810, FIDES)

Seul le recueil MIL-HDBK-217 considère explicitement ce type de boîtier. Le recueil 217Plus le considère de façon implicite dans la famille des circuits à boîtier hermétique.

Compte tenu du fait que le recueil 217Plus modélise le taux de défaillance moyen annuel de même que les recueils UTE-C 80810 et FIDES, il est recommandé d'utiliser préférentiellement le modèle de ce recueil.

Circuits intégrés MMIC (FIDES)

Les circuits intégrés MMIC sont modélisés par les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et 217Plus (modèles génériques).

Du fait de la (plus grande) similarité entre ces recueils, le modèle du recueil UTE-C 80810 est recommandé plutôt que celui du recueil 217Plus qui les modélise au travers des catégories génériques analogiques et numériques.

Circuits intégrés PLD (217Plus)

Les circuits intégrés PLD ne sont pas explicitement modélisés par le recueil 217Plus. Cependant, compte tenu du fait que ces circuits sont des circuits numériques, il est recommandé d'utiliser ce modèle pour ces composants.

3.3.3.3. Paramètres nécessaires au calcul

Les recueils FIDES et 217Plus sont les recueils qui nécessitent le moins de paramètres avec les paramètres les plus simples à déterminer.

Les recueils MIL-HDBK-217, RDF93 et UTE-C 80810, requièrent d'évaluer la complexité du circuit intégré (principalement le nombre de transistors). Dans les cas où ces informations ne sont pas disponibles, il est recommandé de prendre des précautions sur l'utilisation de ces recueils.

Le modèle des mémoires EEPROM et les circuits VHSIC du recueil MIL-HDBK-217 nécessitent des paramètres rarement disponibles et difficiles à évaluer. Dans le cas où ces circuits ne participent pas de manière significative à la fiabilité globale du système à étudier, il est alors possible de considérer ces paramètres par défaut à une valeur moyenne. Dans le cas contraire, il est alors nécessaire de prendre en compte la charge de travail supplémentaire lié à la recherche et l'identification de ces paramètres ainsi qu'à leur validation.

3.3.3.4. Limites des modélisations

Les limites des modélisations sont les suivantes :

- Age des composants (tous les recueils)
- Limites techniques des composants modélisés (MIL-HDBK-217)

Age des composants – tous les recueils

Compte tenu de l'âge du recueil et de l'évolution des circuits intégrés, il est recommandé d'utiliser préférentiellement un recueil dont l'âge concorde avec celui des circuits à analyser. En d'autres termes, selon ce critère de sélection, les recueils FIDES et 217Plus sont recommandés pour des composants récents, le recueil UTE-C 80810 pour des composants datant des années 90, et les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 pour des composants des années 80.

Limites techniques des composants modélisés :

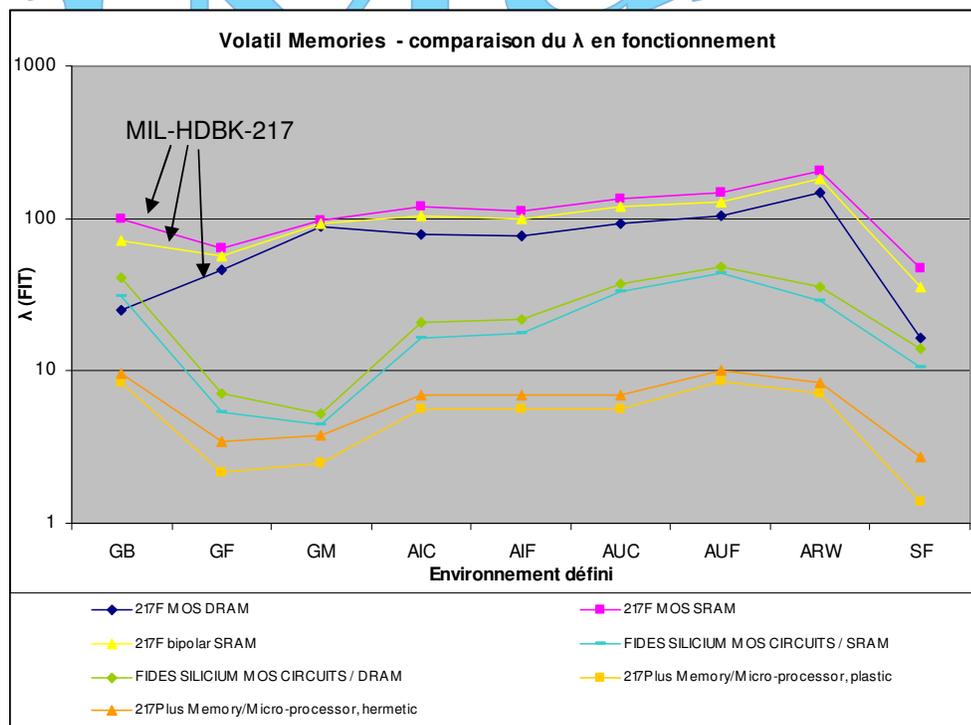
Du fait de son âge, le recueil MIL-HDBK-217 modélise les circuits intégrés avec des limites en terme de complexité qui sont inférieures à de nombreux composants actuels.

Ces limites sont les suivantes :

- mémoires : 1Mbit,
- processeurs : 32bits,
- PLD : 20 000 portes,
- Logique : 60 000 portes,
- Linéaires : 10 000 transistors.

Le taux de défaillance des circuits intégrés du recueil MIL-HDBK-217 modélisés à leur niveau de complexité maximal a été comparé avec celui des recueils les plus récents à savoir FIDES et 217Plus.

La figure suivante présente cette comparaison pour les mémoires de type SRAM :



Il est à noter que les recueils récents ne considèrent pas la complexité comme un facteur d'influence significatif sur la fiabilité des circuits intégrés.

Par conséquent, compte tenu du fait que les modèles du recueil MIL-HDBK-217 présentent des taux de défaillance supérieurs à ceux proposés par les recueils récents, l'utilisation des modèles à leur niveau de complexité maximum pour des composants récents est conservatrice.

Cependant, dans le cas où il n'est pas possible d'utiliser un modèle pessimiste, il est nécessaire d'utiliser un autre recueil pour les circuits intégrés hors limites du recueil MIL-HDBK-217.

3.3.3.5. Comportement par rapport aux mécanismes de défaillance

Rappel : Les mécanismes de défaillance liés au cyclages thermiques ne sont pas modélisés explicitement par les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93. De même les contraintes thermo-chimiques ne sont pas modélisées par ces recueils ainsi que par le recueil UTE-C 80810. Ces points sont cependant communs à l'ensemble des modèles de ces recueils et ne constituent donc pas un critère de sélection technologique.

Mécanismes de défaillance thermo-électriques

L'ensemble des recueils modélisent les contraintes thermo-électriques en considérant la température de jonction. Les autres facteurs d'influence considérés varient selon les recueils. Ces différences n'ont cependant pas permis d'identifier l'élément de sélection entre les différents recueils.

Par conséquent, hormis l'aspect pratique (moins de données d'entrée nécessaires pour les recueils FIDES et 217Plus), il n'y a pas de critère de sélection par rapport à ce mécanisme de défaillance

Mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques

Tous les recueils considèrent que les contraintes liées aux cyclages thermiques agissent sur les boîtiers des circuits intégrés.

La modélisation de ces mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques est très différente entre ces recueils. Les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et FIDES considèrent que ces mécanismes de défaillance sont fonction du type de boîtier indépendamment du type du composant alors que le recueil 217Plus considère que ces 2 mécanismes de défaillance sont fonction du type de composant indépendamment du type du boîtier.

Bien que l'approche des recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et FIDES soit a priori plus facilement justifiable que celle du recueil 217Plus, l'absence d'élément d'information ne permet pas d'en faire un critère de sélection.

De plus, les modèles du recueil 217Plus ne sont pas sensibles au nombre de cycles thermiques : seule l'amplitude des cycles thermiques a une influence significative. De ce fait, un circuit intégré est considéré ayant la même fiabilité avec 1 cycle de 20°C d'amplitude par an ou 3 cycles par heure. Cependant, pour un niveau de contrainte moyen, ces 3 recueils modélisent ce mécanisme de défaillance dans un même ordre de grandeur (facteur 10).

Par conséquent, pour un niveau de contraintes de cyclage thermique moyen, il n'y a pas de critère de sélection entre les recueils.

En revanche, dans le cas de cyclages thermiques peu contraignant, le recueil 217Plus présentera des valeurs pessimistes alors qu'elles seront optimistes pour des cyclages thermiques contraignants. Dans ces cas, l'utilisation des recueils UTE-C 80810 ou FIDES est recommandée.

Par ailleurs, le modèle du recueil RDF93 n'est pas sensible aux cyclages thermiques (report compris). Cette approche est difficile à justifier pour les composants avec des boîtiers CMS compte tenu du fait que tous les autres recueils modélisent l'influence de ces contraintes. Dans le cas où l'influence des contraintes de cyclage thermique doit être modélisés, l'utilisation du recueil MIL-HDBK-217 est recommandée à celle du recueil RDF93.

Mécanismes de défaillance thermo-chimiques

Les recueils FIDES et 217Plus modélisent un comportement différent de ce mécanisme par rapport à l'action de la température et de l'humidité. Cependant, dans les 2 cas, l'impact sur la fiabilité globale du composant est négligeable par rapport aux autres mécanismes.

Il n'y a pas de critère de sélection technologique par rapport à ce mécanisme de défaillance

3.3.3.6.Synthèse

De manière générale, compte tenu de l'évolution des circuits intégrés par rapport à la technologie de référence des recueils, il est recommandé d'utiliser préférentiellement un recueil dont l'âge concorde avec celui des circuits à analyser. En d'autres termes, selon ce critère de sélection, les recueils FIDES et 217Plus sont recommandés pour des composants récents, le recueil UTE-C 80810 pour des composants datant des années 90, et les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 pour des composants des années 80.

Au-delà de cette recommandation générale, les principales recommandations par rapport aux circuits intégrés sont les suivantes:

- Dans le cas de l'utilisation du recueil MIL-HDBK-217 avec des composants dépassant les limites des modèles, il est possible d'utiliser les modèles à leur valeur maximale.
- Dans le cas de composants spécialement dimensionnés ou protégés pour être utilisés en interface, les modèles du recueil FIDES sont recommandés par rapport à ceux du recueil UTE-C 80810.
- Dans le cas où peu d'informations sont disponibles sur les composants, les recueils FIDES et 217Plus sont recommandés.
- Dans le cas de l'utilisation du recueil MIL-HDBK-217, et dans le cas où les mémoires EEPROM et les circuits VHSIC ne participent pas de manière significative à la fiabilité globale du système à étudier, il est possible de considérer ces paramètres par défaut à une valeur moyenne. Dans le cas contraire, il est nécessaire de prendre en compte la charge de travail supplémentaire liée à la recherche et l'identification de ces paramètres ainsi qu'à leur validation.
- Dans le cas où l'évaluation de fiabilité doit présenter un niveau de finesse significatif par rapport aux variations de contraintes environnementales, l'utilisation des recueils UTE-C 80810 et FIDES est recommandée à celle du recueil 217Plus.

3.3.4. SELECTION DE MODELES POUR LES CIRCUITS HYBRIDES

3.3.4.1. Généralités

Les recueils FIDES et 217Plus ne proposent pas de modélisation des circuits hybrides. L'utilisation de tout autre recueil est recommandée.

3.3.4.2. Couverture / Exhaustivité des sous-familles

Il n'y a pas de sous famille dans les circuits hybrides.

3.3.4.3. Paramètres nécessaires au calcul

Le modèle des circuits hybrides des recueils RDF93 et UTE-C 80810 nécessite plus de paramètres plus difficiles à évaluer que celui du recueil MIL-HDBK-217.

3.3.4.4. Limites des modélisations

Les limites de la modélisation des circuits hybrides sont celles des composants constituant le circuit. Les limites associées sont analysées dans les sections correspondantes de ce document.

Support et composants déposés

Dans le cas où le support et les composants déposés sont connus pour avoir une influence significative sur la fiabilité du circuit hybride, les recueils RDF93 et UTE-C 80810 sont recommandés.

Prise en compte de la qualité des composants du circuit hybride

Dans le cas où il est nécessaire de pouvoir prendre en compte l'influence de la qualité des composants sur la fiabilité globale du circuit hybride, le recueil RDF93 est recommandé.

3.3.4.5. Comportement face aux mécanismes de défaillance

Mécanismes de défaillance thermo-électrique

Compte tenu des importantes variations de comportement des circuits hybrides en fonction de leurs constituants, il n'est pas possible d'analyser le comportement des modèles par rapport à ce mécanisme.

Mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques

Seul le recueil UTE-C 80810 prend en compte ce mécanisme de défaillance. Ce point constitue un critère de sélection.

Mécanismes de défaillance thermo-chimiques

Aucun recueil modélisant les circuits hybrides ne modélise ce mécanisme de défaillance. Il n'y a donc pas de critère de sélection.

3.3.4.6. Synthèse

Il n'y a pas de critère de sélection générique pour les circuits hybrides.

Les précautions d'emploi quant aux modèles des circuits hybrides sont les suivantes:

- Le recueil MIL-HDBK-217 est recommandé dans le cas où les paramètres liés au support ne sont pas disponibles,
- Les recueils RDF93 et UTE-C 80810 sont recommandés dans le cas où le support et les composants déposés sont connus pour avoir une influence significative sur la fiabilité du circuit hybride.
- Le recueil RDF93 est recommandé dans le cas où il est nécessaire de pouvoir prendre en compte l'influence de la qualité des composants sur la fiabilité globale du circuit hybride.
- Le recueil UTE-C 80810 est recommandé dans le cas où d'importants cyclages thermiques doivent être pris en compte.

3.3.5. LES COMPOSANTS ELECTROMECHANIQUES

La famille des composants électromécaniques traités par ce guide de sélection comprend :

- les relais,
- les connecteurs,
- les circuits imprimés.

3.3.5.1. Généralités

Le retour d'expérience utilisé pour construire les modèles des composants passifs du recueil MIL-HDBK-217 est très important pour un environnement aéronautique militaire et pour des technologies anciennes (environs 30 ans). Dans le cas de technologies ou d'environnements similaires à ceux du retour d'expérience du recueil MIL-HDBK-217, ce recueil est fortement recommandé compte tenu du niveau de confiance élevé par rapport à sa représentativité.

3.3.5.2. Couverture / Exhaustivité des sous-familles

Les composants suivants ne sont pas modélisés par tous les recueils :

- Relais
 - ↳ Statique (RDF93, UTE-C 80810, FIDES),
- Connecteurs
 - ↳ Téléphone (RDF93, UTE-C 80810, FIDES)
 - ↳ Hexagonal (RDF93, UTE-C 80810, FIDES),
 - ↳ Elastomère (MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810, FIDES),
 - ↳ support de composants (217Plus)
- Circuits imprimés (MIL-HDBK-217, FIDES)

L'ensemble des relais et des connecteurs courants sont modélisés dans chaque recueil.

Les recommandations associées à l'absence de modélisation des composants sont présentées ci-dessous.

Absence de modélisation des Relais statiques – RDF93, UTE-C 80810, FIDES

Ce type de relais n'est pas modélisé dans les recueils RDF93, UTE-C 80810 et FIDES. Ce type de relais peut être considéré comme des transistors de puissance d'un type particulier, et de ce fait modélisé en tant que tel.

Absence de modélisation des connecteurs téléphone – RDF93, UTE-C 80810, FIDES

Ce type de connecteur n'est pas modélisé dans les recueils RDF93, UTE-C 80810 et FIDES. Les recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus qui modélisent ce type de connecteurs, les modélisent avec un taux de défaillance plus faible que le modèle rectangulaire qui présente les taux de défaillance les plus proches. Par conséquent, en l'absence de modélisation et dans le cas où une approche pessimiste est possible, les connecteurs téléphones peuvent être assimilés à des connecteurs rectangulaires.

Absence de modélisation des connecteurs hexagonaux – RDF93, UTE-C 80810, FIDES

Ce type de connecteur n'est pas modélisé dans les recueils RDF93, UTE-C 80810 et FIDES. Les recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus qui modélisent ce type de connecteurs, les considèrent comme le moins fiable de tous les connecteurs (avec le taux de défaillance le plus élevé). Ces recueils le considèrent avec un taux de défaillance entre 2 et 8 fois plus élevé que les connecteurs Rack & panel modélisés par l'ensemble des recueils. Par conséquent, en l'absence de modélisation et dans le cas où une approche pessimiste est possible, les connecteurs hexagonaux peuvent être assimilés à des connecteurs Rack & panel avec un taux de défaillance dégradé d'un facteur 10.

Absence de modélisation des connecteurs support de composants – 217Plus

Les connecteurs support de composants ne sont pas modélisés par le recueil 217Plus. Les autres recueils qui les modélisent les considèrent (à paramètres identiques – nombre de contacts....) plus fiables que les connecteurs de circuits imprimés. Par conséquent, en l'absence de modélisation et dans le cas où une approche pessimiste est possible, les connecteurs support de composants peuvent être assimilés à des connecteurs de circuits imprimés.

Absence de modélisation des connecteurs élastomères – MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810, FIDES

Ce type de connecteur n'est pas modélisé dans les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et FIDES. Ces connecteurs ne sont modélisés que par le recueil 217Plus. Ce recueil considère que ces derniers ont un taux de défaillance 2 fois plus élevé que celui des connecteurs rectangulaires. Par conséquent, en l'absence de modélisation et dans le cas où une approche pessimiste est possible, les connecteurs élastomères peuvent être assimilés à des connecteurs rectangulaires avec un taux de défaillance dégradé d'un facteur 5.

Absence de modélisation des circuits imprimés – MIL-HDBK-217, 217Plus

Les recueils MIL-HDBK-217 et 217Plus ne modélisent pas les circuits imprimés. Cette absence de modélisation est interprétée comme le fait que ces recueils considèrent la contribution du circuit imprimé à la fiabilité globale d'une carte non significative. Cette faible contribution est confirmée par les modélisations des recueils RDF93 et FIDES.

Dans le cas de l'utilisation des recueils MIL-HDBK-217 ou 217Plus, l'absence de modèle pour les circuit imprimé n'est pas jugée pénalisante.

3.3.5.3. Paramètres nécessaires au calcul

Les paramètres nécessaires aux calculs varient entre les recueils (profils de mission exclus). En dehors des modèles des relais des recueils RDF93 et UTE-C 80810, ces variations sont limitées et concernent, dans la plupart des cas, des paramètres simples à évaluer.

En revanche, les recueils RDF93 et RDF2000 nécessitent de connaître les niveaux de tension et d'intensité transitoires lors de la commutation. Ces paramètres dépendent du circuit commuté et peuvent présenter un niveau de difficulté élevée pour leur identification.

Dans le cas de l'utilisation de ces recueils, il est donc nécessaire de prendre en compte la charge de travail supplémentaire liée à l'évaluation de ces paramètres dans le cas d'un équipement utilisant de nombreux relais.

3.3.5.4. Limites des modélisations

Les limites des modélisations sont les suivantes :

- Températures négatives (MIL-HDBK-217, RDF93),
- Relais avec un nombre important de contacts – 217Plus
- Fréquence de commutation – 217Plus
- Stress électrique – MIL-HDBK-217 et FIDES
- Comportement atypique des connecteurs de type circulaire – 217Plus
- Contraintes induites (UTE-C 80810, 217Plus)
- Contribution des circuits imprimés à la fiabilité globale d'une carte – UTE-C 80810

Les recommandations associées aux limites des modélisations des composants sont présentées ci-dessous.

Température négatives – MIL-HDBK-217, RDF93

De part l'équation mathématique utilisée, le recueil RDF93 modélise une augmentation du taux de défaillance pour les températures négatives contrairement à tous les autres recueils. Ce comportement a priori réaliste pour des températures très négatives ne l'est pas pour des températures négatives proches de 0°C.

Le recueil MIL-HDBK-217 indique que ses modèles ne sont plus utilisables pour des températures négatives.

Dans cas d'une application avec des températures négatives, il est par conséquent nécessaire d'utiliser un autre recueil de fiabilité.

Relais avec un nombre important de contacts – 217Plus

Le comportement du modèle 217Plus des relais diverge de celui des autres recueils lorsque le nombre de contacts est importants (>6).

Dans le cas où ce recueil est imposé avec des relais ayant un nombre de contacts importants (>6), il est recommandé de prendre des précautions sur son utilisation voire d'utiliser un autre recueil pour les relais.

Fréquence de commutation – 217Plus

Ce facteur d'influence n'est pas pris en compte dans les modèles du recueil 217Plus. Dans le cas de son utilisation, il est nécessaire de valider l'adéquation entre les relais et la fréquence de commutation.

Stress électrique – MIL-HDBK-217 et FIDES

Seuls ces recueils modélisent l'influence de ces contraintes. Pour un niveau de stress inférieur à 0,7, leur influence sur la fiabilité globale est limitée.

Dans le cas où le stress électrique des relais est important (>0,7), l'utilisation de ces recueils est recommandée.

Comportement atypique des connecteurs de type circulaire – 217Plus

Le modèle du recueil 217Plus des connecteurs de type circulaire présente un taux de défaillance significativement inférieur à celui des autres connecteurs. Ce comportement s'oppose à celui modélisé par l'ensemble des autres recueils étudiés.

L'utilisation de valeurs optimistes peut être inadaptée selon la finalité du calcul (démonstration de performances, arguments commerciaux, dimensionnement de stock, ...).

Dans le cas où ce modèle est utilisé, il est recommandé de prendre des précautions sur son utilisation notamment dans le cas de démonstrations de performances voire d'utiliser un autre recueil pour ce type de connecteur.

Contraintes induites – 217Plus

Le λ_{induit} (correspondant au taux de défaillance extrinsèque lié notamment aux surcharges accidentelles) des modèles des connecteurs du recueil 217Plus est très prépondérant sur le taux de défaillance calculé. Ceci a pour effet que les taux de défaillance calculés varient très peu entre les différents environnements (variations inférieures à un facteur 2) et sont quasiment identiques en fonctionnement et en non fonctionnement.

Par conséquent, le recueil 217Plus est mal adapté à la modélisation fine des variations de fiabilité des connecteurs pour différents cas d'utilisation. L'utilisation de ce recueil n'est donc pas recommandée.

Contribution des circuits imprimés à la fiabilité globale d'une carte – UTE-C 80810

Le recueil UTE-C 80810 modélise une contribution des circuits imprimés qui varie fortement entre les environnements : de 2% à 30%. Les recueils RDF93 et FIDES (qui modélisent également les circuits imprimés) ne présentent pas un tel niveau de variation entre les environnements.

De plus, la contribution modélisée par le recueil UTE-C 80810 est significativement plus importante que celle modélisée par les autres recueils (inférieure à 5%).

Dans le cas où une approche pessimiste de la fiabilité n'est pas souhaitable (dimensionnement de stock), l'utilisation du modèle UTE-C 80810 des circuits imprimés n'est pas recommandée.

3.3.5. Comportement par rapport aux mécanismes de défaillance

Rappel : Les mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques ne sont pas modélisés explicitement par les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93. De même les contraintes thermo-chimiques ne sont pas modélisés par ces recueils ainsi que par le recueil UTE-C 80810. Ces points sont cependant communs à l'ensemble des modèles de ces recueils et ne constituent donc pas un critère de sélection technologique.

Mécanismes de défaillance thermo-électriques

L'ensemble des recueils modélisent les contraintes thermo-électriques en considérant la température ambiante. Les autres facteurs d'influence considérés varient selon les recueils. Ces différences n'ont cependant pas permis d'identifier l'élément de sélection entre les différents recueils.

Mécanismes de défaillance liés aux cyclages thermiques

En dehors du comportement général du recueil UTE-C 80810 par rapport au nombre de cycles, aucun élément de sélection n'a été mis en évidence par rapport à ce mécanisme de défaillance.

Mécanismes de défaillance thermo-chimiques

Contrairement aux autres composants électroniques, le recueil 217Plus considère que pour les relais ce mécanisme prédominant sur les autres mécanismes de défaillance lorsque la température en non fonctionnement dépasse les 30°C. Cette approche opposée à celle du recueil FIDES qui considère ce mécanisme de défaillance non prédominant, est difficile à justifier.

Par conséquent, la modélisation 217Plus de l'influence de ces contraintes sur la fiabilité des relais doit être considérée avec prudence et plus particulièrement dans le cas où ces contraintes sont prépondérantes (température de non fonctionnement élevée, période de non fonctionnement importante).

Pour les connecteurs, contrairement au recueil 217Plus, le recueil FIDES considère qu'en plus de l'humidité, les contraintes purement chimiques (pollution salin, pollution industrielle...) influencent également la fiabilité des connecteurs lorsqu'ils ne sont pas protégés (hermétiques).

Ces recueils s'opposent également sur le poids de ce mécanisme dans la fiabilité globale des connecteurs : le recueil FIDES le considère prépondérant alors que le recueil 217Plus le considère avec une influence mineure.

Par conséquent, dans le cas d'environnements pour lesquels ces contraintes sont fortes ou connues pour être significatives, l'utilisation du recueil FIDES est recommandée pour la modélisation des connecteurs.

3.3.5.6.Synthèse

Les principales recommandations par rapport aux modèles des composants passifs sont les suivantes:

- Dans le cas d'environnements et de technologies similaires au retour d'expérience du recueil MIL-HDBK-217, l'utilisation de celui-ci est recommandée.
- Dans le cas de températures négatives, il est recommandé d'utiliser les recueils UTE-C 80810 et FIDES et 217Plus.
- Dans le cas de relais avec un nombre de contacts importants (>6), il est recommandé d'utiliser les recueils MIL-HDBK-217, RDF93, UTE-C 80810 et FIDES
- Dans le cas de relais avec un stress électrique important (>0,7), il est recommandé d'utiliser les recueils MIL-HDBK-217 et FIDES
- Dans le cas d'environnements où les contraintes thermiques sont fortes, il est recommandé d'utiliser les recueils MIL-HDBK-217, UTE-C 80810 et FIDES
- Dans le cas des connecteurs, il est recommandé d'utiliser les recueils MIL-HDBK-217, UTE-C 80810 et FIDES
- Dans le cas d'environnement pour lesquels les contraintes chimiques sont fortes ou connues pour être significatives, il est recommandé d'utiliser le recueil FIDES
- Dans le cas de l'utilisation du recueil 217Plus, il est recommandé de valider l'adéquation entre les relais et la fréquence de commutation
- Dans le cas de l'utilisation du recueil UTE-C 80810, il est recommandé d'utiliser ce recueil avec précaution par rapport à cette modélisation par rapport à la forte contribution des circuits imprimés vis-à-vis de la fiabilité globale de la carte



3.3.6. COMPOSANTS DIVERS

Cette famille de composants n'est pas traitée dans cette version du guide de sélection.

IMdR

4. UTILISATION DU GUIDE DE SELECTION IMDR

Ce chapitre du guide est une aide à la sélection d'un ou de différents recueils d'évaluation de la fiabilité électronique.

Compte tenu de la très grande variété des cas d'utilisation nous proposons ici une logique de sélection d'un ou de plusieurs recueils suffisamment souple pour s'adapter à la majorité des cas d'utilisation.

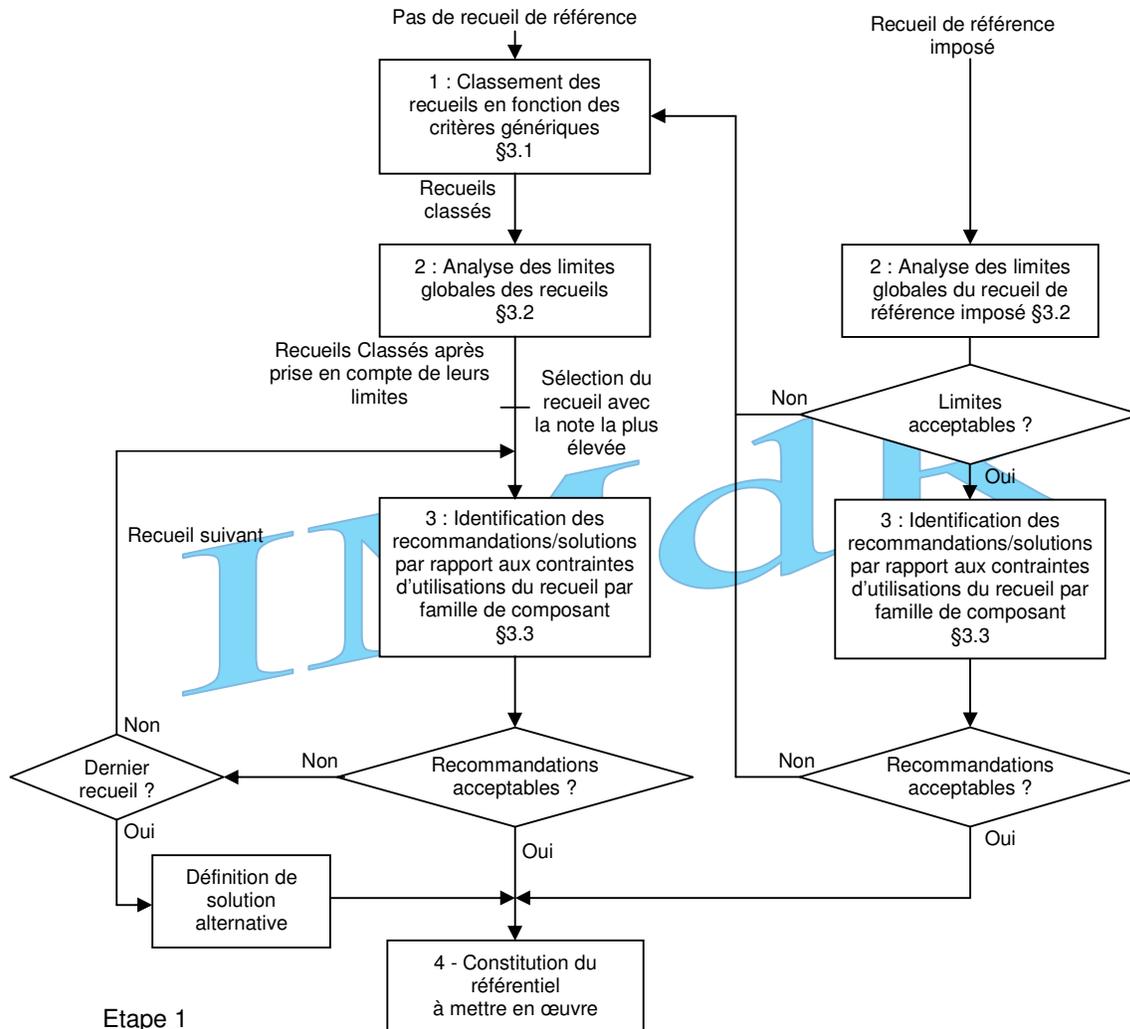
Le principe de sélection d'un recueil s'articule en trois étapes:

- Classement des recueils par rapport aux contraintes génériques des modélisations présentées au chapitre 3.1,
- Classement des recueils par rapport à leurs limites techniques (présentées au chapitre 3.2),
- Identification des recommandations et des solutions par rapport aux contraintes d'utilisations du recueil présentées au chapitre 3.3.

Lorsqu'un recueil de référence est imposé, le guide peut être utilisé pour vérifier l'adéquation de ce guide avec le besoin. Dans ce cas il sera placé en tête de classement.

IMdR

Le diagramme suivant illustre cette procédure :



Etape 1

Un utilisateur de ce guide souhaitant définir un ou plusieurs recueils de référence doit dans un premier temps identifier comment ses contraintes génériques sont prises en compte par les différents recueils de fiabilité.

Ainsi la première étape correspond à l'analyse de l'ensemble des critères génériques de sélection définis au chapitre 3.1 du présent guide. Le paragraphe 4.1 propose un support méthodologique pour structurer et justifier cette analyse qui permet de déterminer un classement des recueils de fiabilité proposés.

Etape 2

Suite à ce premier classement des recueils, il est nécessaire de vérifier si les limites globales de chaque recueil (ie : limites applicables à l'ensemble des modélisations du recueil) sont acceptables ou compatibles avec les besoins. En effet, bien qu'un recueil puisse présenter un compromis

intéressant, il est possible que certaines de ses limites soient particulièrement pénalisantes. Le chapitre 4.2 propose un support méthodologique pour structurer et justifier cette analyse. Ainsi nous obtenons une réévaluation du classement des recueils de fiabilité.

A l'issue de cette étape on obtient donc un classement des recueils en fonction de leurs avantages et de leurs limites d'utilisation: le (ou les) recueil(s) présentant les meilleurs compromis est (sont) considéré(s) comme le (ou les) recueil(s) préférentiel(s).

Etape 3

Pour le (ou les) recueil(s) préférentiels, il est nécessaire de valider les contraintes et limites spécifiques à la modélisation de chaque famille de composants.

Cette troisième étape correspond donc à l'exploitation de l'ensemble des critères de sélection liés aux contraintes techniques définies au chapitre 3.3. Elle est réalisée au travers de la constitution d'une table des points forts de chacun des recueils

Les limites et contraintes technologiques sont décrites au chapitre 3.3 où sont proposées des recommandations pour chacune d'entre elles. Si les recommandations ne sont pas applicables, il convient d'effectuer la même analyse pour le recueil préférentiel suivant.

Le chapitre 4.3 propose un support méthodologique pour structurer et justifier cette analyse.

Si aucune solution à un problème technologique majeur n'est trouvée dans l'ensemble des recueils préférentiels, il est alors possible de déterminer des solutions alternatives propres à chaque industriel.

Etape 4

Cette dernière étape consiste à faire la synthèse des analyses réalisées afin de constituer le document de référence des analyses de fiabilité indiquant :

- soit le recueil de fiabilité à utiliser,
- soit le recueil de fiabilité préférentiel à utiliser en association avec :
 - ↳ un ou plusieurs modèles provenant de un ou plusieurs recueils de fiabilité complémentaires
 - ↳ et si nécessaire, des actions alternatives particulières à chaque industriel.

Différents exemples illustrant ces étapes sont présentés au paragraphe "4.5 – Exemples d'utilisation de ce guide de sélection".

4.1. ETAPE 1 : CLASSEMENT DES RECUEILS DE REFERENCE

Dans le cas de la recherche d'un recueil de référence, il est recommandé de suivre les étapes suivantes :

- identification des critères de sélection de ce guide applicables au(x) projet(s),
- pondération de chacun des critères de sélection pour noter leur importance,
- analyse de chaque critère de sélection et identification pour chacun d'entre eux du(des) recueil(s) recommandé(s),
- identification/sélection du ou des recueils présentant le ou les meilleurs compromis.

Aucune pondération par défaut n'est proposée dans ce guide du fait de la trop grande variabilité des cas.

Le tableau suivant présente une approche possible pour synthétiser dans un contexte donné, l'ensemble des recommandations formulées au chapitre "3.1 – Critères de sélection génériques".

Critères	Poids	Contexte de sélection	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Contraintes contextuelles							
Adéquation du retour d'expérience							Voir § 3.1.1.1
Modélisation de l'environnement							Voir §3.1.1.2
Contraintes opérationnelles							
Réutilisation des résultats							Voir §3.1.2.1
Granularité des modélisations							Voir §3.1.2.2
Prise en compte de l'influence des processus de développement / fabrication							
- pour les donneurs d'ordre							Voir §3.1.2.3



**GUIDE DE SELECTION DES MODELES DE
FIABILITE PREVISIONNELLE POUR LES
COMPOSANTS ELECTRONIQUES**

Octobre 2009

Critères	Poids	Contexte de sélection	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
- pour les fournisseurs					Voir §3.1.2.3		
Coût/délais/difficulté							
- Acquisition du recueil					Voir §3.1.2.4		
- Outils d'exploitation					Voir §3.1.2.4		
- Apprentissage/appropriation des méthodologies du recueil					Voir §3.1.2.4		
- Temps de réalisation de l'analyse					Voir §3.1.2.4		
- Gestion d'une bibliothèque et de Bases de données					Voir §3.1.2.4		
- Réutilisation des résultats					Voir §3.1.2.4		
Contraintes méthodologiques							
Finalité de l'évaluation de fiabilité							
- Comparaison d'architecture					Voir §3.1.3.1		
- Démonstration de performances					Voir §3.1.3.1		
- Évaluation de stocks					Voir §3.1.3.1		
Évaluation préliminaire/amont					Voir §3.1.3.2		
Prise en compte du niveau de qualité des composants					Voir §3.1.3.3		
Support pour l'amélioration de la fiabilité							
- Précautions d'utilisation des composants					Voir §3.1.3.4		
- Amélioration des process					Voir §3.1.3.4		
Total de points des recueils							

Tableau 1 : ETAPE 1

La colonne "Critère" rappelle l'ensemble des critères pris en compte.

La colonne "Poids" indique pour chaque critère l'importance qui lui a été affectée lors de la pondération. (NB: Il est recommandé de conserver aux critères liés à la modélisation de l'environnement une pondération non négligeable)

La colonne "Contexte de sélection" indique les éléments (correspondants à chaque critère de sélection) pris en compte pour identifier les recommandations applicables.

Les colonnes suivantes définissent les notes (valeur entre 0 et 1 ou selon une échelle à définir selon le cas) données aux recueils analysés pour chaque critère. Plus la note est élevée mieux le recueil répond au critère. Voir paragraphe 3.1 pour plus de détails.

Le total des notes pondérées permet de réaliser un classement des recueils analysés.

4.2. ETAPE 2 : ANALYSE DES LIMITES GLOBALES DES RECUEILS

Cette étape permet d'ajuster le classement des recueils par rapport à leurs limites globales à partir des contraintes techniques définies au chapitre 3.2. Ces limites globales correspondent aux limites qui affectent l'ensemble des modélisations d'un recueil. Elles ne sont pas rattachées à une famille de composants particulière .

Il est recommandé de suivre les étapes suivantes :

- identification des limites globales des recueils,
- analyse des limites afin de valider leur compatibilité avec les besoins,
- identification du ou des recueils les plus adaptés aux besoins.

A l'issue de cette étape, il ne doit rester que les recueils dont les limites globales sont toutes compatibles avec les besoins. Dans ce cas, l'ensemble des limites ont la même importance et il suffit d'une seule non compatibilité de limite avec les besoins pour que le recueil ne soit pas utilisable.

Il est également possible d'aborder cette étape comme un élément de classement supplémentaire pour lequel il existe des niveaux intermédiaires entre une limite incompatible et une limite compatible. Dans ce cas, l'importance des limites doit être pondérée de même que le niveau de compatibilité des différents recueils.

Le tableau suivant présente une approche possible pour synthétiser cette seconde étape :

Limites globales	Contexte d'analyse	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Modélisation du non fonctionnement						
Prise en compte des périodes de jeunesse						
Influence la modélisation des cycles thermiques						
Sensibilité aux hypothèses						
Contraintes induites						
Modélisation d'environnements complexes						
Prise en compte d'une politique de surveillance et d'amélioration de la fiabilité						
Influence de la modélisation du processus sur le taux de défaillance						
Produit des limites						
Notes de l'étape 1						
Total						

Tableau 2 : ETAPE 2

La colonne " Limites globales" rappelle l'ensemble des critères pris en compte.

La colonne "Contexte de sélection" indique les éléments pris en compte dans l'analyse de la limite.

Les colonnes suivantes indiquent la compatibilité ou non des limites globales au contexte industriel. Cette indication peut être représentée avec une notation entre 0 et 1, dans le but de moduler les recueils de fiabilité pour privilégier un critère donné., la note 0 étant attribuée si une limite a été jugée totalement incompatible.,.

La ligne "Produit des limites" correspond au produit des notes de chaque recueil.

La ligne "Notes de l'étape 1" rappelle le classement issu de la première étape.

La ligne "Total" correspond pour chaque recueil au produit du "Produit des limites" et de la "Notes de l'étape 1".

Les cellules grisées du tableau correspondent aux cas pour lesquels la limite n'est pas applicable au recueil correspondant à la colonne.

4.3. ETAPE 3 : IDENTIFICATION DES RECOMMANDATIONS/SOLUTIONS PAR RAPPORT AUX CONTRAINTES D'UTILISATIONS DU/DES RECUEILS DE REFERENCE

Cette troisième étape consiste à valider pour le ou les recueils issus de la seconde étape, les contraintes et limites spécifiques à la modélisation de chaque famille de composants.

Ces limites sont décrites au chapitre 3.3 qui propose également des recommandations pour chacune de ces limites. Si les recommandations ne sont pas applicables, et qu'aucune solution alternative ne peut être définie, il convient de choisir un autre recueil de référence et de recommencer cette étape.

Le tableau suivant présente une approche possible pour synthétiser cette seconde étape :

Contraintes d'utilisation	Recommandation du guide	Applicabilité	Justification	Solution alternative
Composants passifs				
Première contrainte des composants passifs	Recommandation du paragraphe 3.3.1	Oui / Non		
Composants actifs discrets				
Première contrainte des composants actifs	Recommandation du paragraphe 3.3.2			
Composants intégrés analogiques				
Première contrainte des composants intégrés analogiques	Recommandation du paragraphe 3.3.3			
Composants intégrés numériques				
Première contrainte des composants intégrés numériques	Recommandation du paragraphe 3.3.3			
Composants hybrides				
Première contrainte des composants hybrides	Recommandation du paragraphe 3.3.4			
Composants électromécaniques				
Première contrainte des composants électromécaniques	Recommandation du paragraphe 3.3.5			
Autres composants				

Tableau 3 : ETAPE 3

La colonne “Contraintes d’utilisation” liste l’ensemble des contraintes pour les différentes familles de composants.

La colonne “Recommandation du guide” indique pour chaque contrainte la ou les solutions identifiées au paragraphe 3.3.

La colonne “Applicabilité” indique si les solutions/recommandations de la colonne précédente sont applicables ou non.

La colonne “Justification” indique les motivations ayant conduit à la décision d’applicabilité ou non des solutions/ recommandations

4.4. ETAPE 4 : CONSTITUTION DU REFERENTIEL A METTRE EN ŒUVRE

Cette étape consiste à rédiger un document de référence faisant la synthèse des étapes précédentes pour le référentiel des analyses de fiabilité de l’industriel en indiquant :

- soit le recueil à utiliser,
- soit le recueil préférentiel à utiliser en priorité, associé:
 - à une ou des modélisations d’un ou de différents recueils complémentaires,
 - et si nécessaire à des actions alternatives propres à l’industriel.

4.5. EXEMPLES D'UTILISATION DE CE GUIDE DE SELECTION

4.5.1. EXEMPLE 1

L'exemple ci-dessous considère le cas d'un équipementier de taille réduite du secteur aéronautique concevant et produisant des équipements non critiques. Du fait de sa taille restreinte, cette entreprise ne possède pas de compétence spécialisée dans les calculs de fiabilité.

Dans le cadre du projet utilisé comme référence pour la sélection d'un recueil, l'équipementier doit démontrer les performances de fiabilité de son équipement au travers de son MTBF ainsi que quelques exigences de sécurité.

Etape 1 : Classement des recueils de référence

Critères	Poids	Contexte de sélection	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Contraintes contextuelles							
Adéquation du retour d'expérience	50	Environnement avion civil	0	0	0,5	1	0
Modélisation de l'environnement	100	Environnement de l'équipement très proche de catégories des recueils MIL-HDBK-217 et RDF93. Période de non fonctionnement négligeable devant le fonctionnement.	1	1	0	0,5	0
Contraintes opérationnelles							
Réutilisation des résultats	50	Compte tenu de l'absence de service dédié à la fiabilité, il est nécessaire que la réutilisation de résultats soit plutôt simple sans générer de risque d'erreur en phase de réponse à appel d'offre pour les prochains projets.	1	1	0,5	0	0
Finesse des modélisations	20	FIDES présente le meilleur niveau de finesse	0,5	0	0,5	1	0
Prise en compte de l'influence des processus de développement / fabrication							
- pour les donneurs d'ordre	0	Non applicable					
- pour les fournisseurs	10	La prise en compte des processus est considérée comme un axe prioritaire	0	0	0	1	0,5
Coût/délais/difficulté							
- Acquisition du recueil	50	Non applicable	1	1	1	0	0
- Outils d'exploitation	20	Volontairement exclu des critères de sélection	1	0	1	0	0
- Apprentissage/appropriation des méthodologies du recueil	80	Petit bureau d'étude sans service spécialisé dans les calculs de fiabilité. Plutôt orienté vers la rapidité et la facilité de réalisation d'une étude.	1	1	0,5	0	0



**GUIDE DE SELECTION DES MODELES DE
FIABILITE PREVISIONNELLE POUR LES
COMPOSANTS ELECTRONIQUES**

Octobre 2009

Critères	Poids	Contexte de sélection	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
- Temps de réalisation de l'analyse	80	La définition du profil de mission présente un risque important en termes de temps et de résultat. Les composants utilisés sont souvent les mêmes, et ne présentent donc pas de difficulté au niveau des paramètres technologiques	1	1	0,5	0	0
- Gestion d'une bibliothèque et de Bases de données	50	Non applicable	1	0	0,5	0	0
- Réutilisation des résultats		Voir au dessus					
Contraintes méthodologiques							
Finalité de l'évaluation de fiabilité							
- Comparaison d'architecture	30	Comparaison de quelques fonctions nécessaires dans le cadre du projet	1	0	0	0	1
- Démonstration de performances	80	Justification de fiabilité (MTBF) et d'exigences de sécurité	1	1	0,5	0	0
- Évaluation de stocks	0	Non applicable					
Évaluation préliminaire/amont	30	Justification du guide	1	0	0	0	1
Prise en compte du niveau de qualité des composants	20	Justification des niveaux de qualité nécessaire auprès du donneur d'ordre	1	1	0	1	0
Support pour l'amélioration de la fiabilité							
- Précautions d'utilisation des composants	10	Informations utiles mais qui n'ont pas un poids important	0,5	0,5	1	1	0
- Amélioration des process	0	L'amélioration des processus n'est pas considérée comme un axe prioritaire et peut être réalisée indépendamment du recueil utilisé					
Total des notes pondérées			485	415	190	160	65

La correspondance des recueils avec chaque critère à été définie selon l'échelle suivante :

- 1 : très bonne,
- 0,5 : moyenne
- 0 : mauvaise.

Dans le cas de cet équipementier, le recueil qui présente le meilleur compromis à l'issue de la première étape est le recueil MIL-HDBK-217.



Etape 2 : Analyse des limites globales des recueils

Limites globales	Contexte d'analyse	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Modélisation du non fonctionnement	Les périodes de non fonctionnement ne sont pas prépondérantes et leur modélisation n'est pas primordiale	0,5	0,5			
Prise en compte des périodes de jeunesse	Il n'est pas nécessaire de modéliser la fiabilité durant les périodes de jeunesse	1	1		1	
Influence la modélisation des cycles thermiques	Le nombre de cycles thermique est significatif sans être voisin de 1 cycle par heure			1		1
Sensibilité aux hypothèses	Les informations sur l'environnement ne permettent pas de renseigner FIDES sans faire d'hypothèses nécessitant une étude de sensibilité				0,5	
Contraintes induites	UTE-C 80810 : Les équipements ont en général de nombreuses interfaces électriques avec les protections associées 217Plus : Il est nécessaire de pouvoir justifier de l'influence sur la fiabilité d'une implantation dans une zone différente			0,5		0,5
Modélisation d'environnements complexes	Il n'est pas nécessaire de modéliser des environnements complexes					1
Prise en compte d'une politique de surveillance et d'amélioration de la fiabilité	Il est possible de mettre en place une politique de surveillance et d'amélioration de la fiabilité					1
Influence de la modélisation du processus sur le taux de défaillance	L'influence des process sera modélisée en utilisant les valeurs par défaut proposées dans les recueils					1
Produit des limites		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Notes de l'étape 1		485	415	190	160	65
Total de l'étape 2		243	208	95	80	33

La correspondance des recueils avec chaque limite à été définie selon l'échelle suivante :

- 1 : compatible/limite non applicable,
- 0,5 : moyennement compatible/limite acceptable mais gênante,
- 0 : non compatible.

Dans le cas de cet équipementier, le recueil qui présente le meilleur compromis à l'issue de la seconde étape est le recueil MIL-HDBK-217.

Ce recueil est choisi comme recueil de référence.



**GUIDE DE SELECTION DES MODELES DE
FIABILITE PREVISIONNELLE POUR LES
COMPOSANTS ELECTRONIQUES**

Octobre 2009

Etape 3 : Identification des recommandations/solutions par rapport aux contraintes d'utilisations du recueil de référence

Recueil de référence : MIL-HDBK-217				
Contraintes d'utilisation	Recommandation du guide	Acceptable ?	Justification	Solution alternative
Composants passifs				
Absence de modélisation des condensateurs variables FEP, Glass, Mica, Papier	Utiliser les valeurs "part count" du condensateur général du recueil 217Plus	Oui	Ce type de composants n'est pas utilisé dans l'équipement	
Absence de modélisation des condensateurs vacuum	Utiliser les valeurs "part count" du condensateur général du recueil 217Plus	N/A	Ce type de composants n'est pas utilisé dans l'équipement	
Paramètres des condensateurs aluminium à électrolyte liquide	Prendre en compte la charge de travail supplémentaire liée à l'évaluation des paramètres associés à ces composants	N/A	Ce type de composants n'est pas utilisé dans l'équipement	
Températures négatives	Utiliser les modèles équivalent des recueils UTE-C 80810, FIDES ou 217Plus	N/A	L'équipement n'est pas soumis à des températures négatives	
Composants actifs discrets				
<i>Pas de contrainte spécifique à cette famille</i>				
Composants intégrés				
Absence de modélisation des circuits intégrés mixtes	Utiliser le modèle des circuits linéaires si une modélisation pessimiste peut convenir. Sinon utiliser un autre recueil pour ces composants.	Oui		
Absence de modélisation des circuits intégrés avec boîtier BGA	Utiliser le modèle des boîtiers QFP si une modélisation pessimiste peut convenir. Sinon utiliser un autre recueil pour les circuits avec ce type de boîtier.	Oui		
Paramètres du modèle des mémoires EEPROM et des circuits VHSIC	Utiliser des valeurs par défaut pour des composants pour les paramètres non disponibles si ces composants n'ont pas une contribution significative sur la fiabilité. Sinon, prendre en compte la charge de travail supplémentaire lié à la recherche et l'identification des paramètres ainsi qu'à leur validation.	Oui	Ces composants sont peu utilisés. Le complément de temps pour l'identification des paramètres associés n'est pas problématique	
Age des composants	Utiliser préférentiellement les recueils FIDES et 217Plus sont recommandés pour des composants récents, le recueil UTE-C 80810 pour des composants datant des années 90, et les recueils MIL-HDBK-217 et RDF93 pour des composants des années 80.	Oui		



**GUIDE DE SELECTION DES MODELES DE
FIABILITE PREVISIONNELLE POUR LES
COMPOSANTS ELECTRONIQUES**

Octobre 2009

Recueil de référence : MIL-HDBK-217				
Contraintes d'utilisation	Recommandation du guide	Acceptable ?	Justification	Solution alternative
Limites techniques des composants modélisés	Utiliser les modèles à leur niveau de complexité maximum si une approche conservative est possible, sinon utiliser un autre recueil pour les circuits intégrés au-delà des limites du recueil MIL-HDBK-217	Oui/Non	Dans le cas où le nombre de circuits important ce qui peut induire une erreur non acceptable	Les modèles du recueil UTE-C 80810 ou FIDES peuvent être utilisés si les résultats ont besoin d'être affinés
Composants hybrides				
Support et composants déposés	Utiliser les recueils RDF93 et UTE-C 80810 si le support et les composants déposés sont connus pour avoir une influence significative sur la fiabilité du circuit hybride	N/A	Ce type de composants n'est pas utilisé dans l'équipement	
Prise en compte de la qualité des composants du circuit hybride	Utiliser le recueil RDF93 s'il est nécessaire de pouvoir prendre en compte l'influence de la qualité des composants sur la fiabilité globale du circuit hybride	N/A	Ce type de composants n'est pas utilisé dans l'équipement	
Composants électromécaniques				
Absence de modélisation des connecteurs élastomères	Utiliser le modèle des connecteurs rectangulaires avec un taux de défaillance dégradé d'un facteur 5 si une approche pessimiste est possible	N/A	Ce type de composants n'est pas utilisé dans l'équipement	
Absence de modélisation des circuits imprimés	Utiliser le recueil tel qu'il a été prévu sans modéliser les circuits imprimés	Oui		
Températures négatives	Utiliser les modèles équivalent des recueils UTE-C 80810, FIDES ou 217Plus	N/A	L'équipement n'est pas soumis à des températures négatives	
Autres composants				
N/A				

Il existe une solution pour chaque contrainte d'utilisation du recueil MIL-HDBK-217.

Etape 4 : Constitution du référentiel à mettre en œuvre

Les évaluations prévisionnelles de fiabilité seront réalisées à partir du recueil MIL-HDBK-217 avec les règles d'utilisation suivantes :

- Utilisation des valeurs constructeur ou "part count" du condensateur variable du recueil 217Plus pour les condensateurs variables FEP, Glass, Mica, Papier
- les circuits intégrés mixtes sont considérés comme des circuits linéaires ayant les mêmes paramètres,
- Les boîtiers BGA sont considérés comme des boîtiers QFP,
- Les circuits intégrés ayant un niveau de complexité supérieur aux limites indiquées seront modélisés en utilisant les limites hautes des modèles dans le cas où leur nombre et leur contribution à la fiabilité globale est acceptable. Dans le cas contraire, les modèles des recueils FIDES ou UTE-C 80810 seront utilisés.
- Le circuit imprimé n'est pas modélisé.

4.5.2. EXEMPLE 2

L'exemple ci-dessous couvre le domaine spatial, il s'agit du choix d'un référentiel de calcul de fiabilité pour des satellites à visée constellations. Les satellites ont des architectures différentes avec un profil de vie similaire (orbite, beaucoup de cycles thermiques et ON/OFF).

Etape 1 : Classement des recueils de référence

Critères	Ref	Poids	Contexte de sélection	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Contraintes contextuelles								
Adéquation du retour d'expérience	§3.1.1.1	10	Spatial (assimilé aéronautique civile /militaire)	1	0	1	1	0
Modélisation de l'environnement	§3.1.1.2	80	Paramétrage du profil de vie, contraintes de cycles thermiques	0	0	1	1	1
Contraintes opérationnelles								
Réutilisation des résultats	§3.1.2.1	50	Environnement identique, équipementiers qualifiés ASF pour le spatial (donc Pi process FIDES connu)	1	1	1	1	0
Finesse des modélisations	§3.1.2.2	20	Fides présente le meilleur niveau de finesse	0	0	0	1	0



**GUIDE DE SELECTION DES MODELES DE
FIABILITE PREVISIONNELLE POUR LES
COMPOSANTS ELECTRONIQUES**

Octobre 2009

Critères	Ref	Poids	Contexte de sélection	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Prise en compte de l'influence des processus de développement / fabrication								
pour les donneurs d'ordre	§3.1.2.3 3.1.2.3	0	Pris en compte dans les agréments ASF	0	0	0	0	0
pour les fournisseurs	§3.1.2.3 3.1.2.3	0	Pris en compte dans les agréments ASF	0	0	0	0	0
Coût/délais/difficulté								
Acquisition du recueil	§3.1.2.4 3.1.2.4	0	Non applicable	0	0	0	0	0
Outils d'exploitation	§3.1.2.4 3.1.2.4	0	Non applicable	0	0	0	0	0
Apprentissage/appropriation des méthodologies du recueil	§3.1.2.4 3.1.2.4	0	Non applicable	0	0	0	0	0
Temps de réalisation de l'analyse	§3.1.2.4 3.1.2.4	0	Non applicable	0	0	0	0	0
Gestion d'une bibliothèque et de Bases de données	§3.1.2.4 3.1.2.4	0	Non applicable	0	0	0	0	0
Réutilisation des résultats	§3.1.2.4 3.1.2.4	0	Voir contraintes opérationnelles	0	0	0	0	0
Contraintes méthodologiques								
Finalité de l'évaluation de fiabilité								
Comparaison d'architecture	§3.1.3.1 3.1.3.1	100		1	1	1	1	0
Démonstration de performances	§3.1.3.1 3.1.3.1	30	Décomposition par phase	1	1	1	1	0
Évaluation de stocks	§3.1.3.1 3.1.3.1	0		0	0	0	0	0
Évaluation préliminaire/amont	§3.1.3.2 3.1.3.2	50		1	0	0	0	1
Prise en compte du niveau de qualité des composants	§3.1.3.3 3.1.3.3	80		1	1	0	1	0
Support pour l'amélioration de la fiabilité								
Précautions d'utilisation des composants	§3.1.3.4 3.1.3.4	10	Pris en compte dans les agréments ASF	0	0	1	1	0
Amélioration des process	§3.1.3.4 3.1.3.4	0	Pris en compte dans les agréments ASF	0	0	0	0	0
Total de points des recueils								
		430		320	260	280	380	130

Les recueils MIL-HDBK-217, UTE-C 80810 et FIDES sont sélectionnés pour l'analyse des limites.



Etape 2 : Analyse des limites globales des recueils

Limites globales	Contexte d'analyse	217F	RDF93	UTE-C 80810	FIDES	217Plus
Modélisation du non fonctionnement	pas de période de non fonctionnement	1	NA			
Prise en compte des périodes de jeunesse	Pas de besoin : déverminage des composants	1	NA		1	
Influence la modélisation des cycles thermiques	Forte contrainte			REJET		NA
Sensibilité aux hypothèses	Les informations sur l'environnement ne permettent pas de renseigner le profil de mission sans faire d'hypothèses nécessitant une étude de sensibilité : étude faite				1	
Contraintes induites	UTE-C 80810 : Les équipements ont en général de nombreuses interfaces électriques avec les protections associées			1		NA
Modélisation d'environnements complexes	Il n'est pas nécessaire de modéliser des environnements complexes					NA
Prise en compte d'une politique de surveillance et d'amélioration de la fiabilité	Il est possible de mettre en place une politique de surveillance et d'amélioration de la fiabilité					NA
Influence de la modélisation du processus sur le taux de défaillance	L'influence des process sera modélisée en utilisant les valeurs par défaut proposées dans les recueils					NA
Produit des limites		1	0	0	1	0
Notes de l'étape 1		320	260	280	380	130
Total		320	0	0	380	0

Dans le cas de ce donneur d'ordre, le recueil qui présente le meilleur compromis à l'issue de la première étape est le recueil FIDES.

Etape 3 : Identification des recommandations/solutions par rapport aux contraintes d'utilisations du recueil de référence

Les contraintes technologiques ne sont pas connues (pas de liste de composants) en dehors des composants intégrés (nouvelles technologies à forte intégration) pour lesquels le recueil FIDES est recommandé au recueil MIL-HDBK-217.

Il n'est donc pas réalisé d'analyse approfondie de cette étape.

Etape 4 : Constitution du référentiel à mettre en œuvre

Les évaluations prévisionnelles de fiabilité seront réalisées à partir du recueil FIDES. Aucune règle d'utilisation particulière n'a été identifiée.