



Comparaison des méthodes IEC 61709, RIAC-HDBK-217 Plus, Fides 2009A et 2022A

IEC 61709, RIAC-HDBK-217 Plus, Fides 2009A et 2022A comparison

LE YONDRE Sébastien

DGA MAITRISE DE L'INFORMATION
BP7 – 35998 RENNES CEDEX 9, France
sebastien.le-yondre@intradef.gouv.fr

TOURTELIER Denis

DGA MAITRISE DE L'INFORMATION
BP7 – 35998 RENNES CEDEX 9, France
denis.tourtelier@intradef.gouv.fr

GUITTON Oriane

DGA MAITRISE DE L'INFORMATION
BP7 – 35998 RENNES CEDEX 9, France
Apprentie 2019-2022

I. RÉSUMÉS

Résumé

Pour s'assurer de la pertinence des études de fiabilité prévisionnelle (donnée d'entrée pour les études de sécurité et de soutien logistique intégré), la DGA réalise une veille des différentes méthodes qui peuvent être utilisées dans certains programmes en coopération ou dans le cadre d'achat FMS (Foreign Military Sales). Afin d'être en mesure d'évaluer la pertinence des études livrées, une veille des différents standards est réalisée.

Au travers de cet article, nous proposons un partage macroscopique de travaux d'études menés sur les méthodes 217+ (2015) [1], et IEC 61709 [2] (avec TR63162) [5] par rapport à FIDES 2009A [3] et 2022A [4], qui sont les documents de référence au sein de notre entité. Une étude de couverture des modèles de composants de chacun des différents guides ainsi que l'analyse des principaux paramètres est proposée, en essayant d'identifier les points marquants de chaque méthodologie. Ensuite, il est présenté une étude de quelques modèles au niveau composant pour identifier les variations et différences entre les méthodes. Pour finir, nous proposons les résultats obtenus suite à la modélisation d'une carte électronique selon les 4 méthodologies pour un profil de vie défini.

Abstract

To ensure the relevance of predictive reliability studies (input data for security and integrated logistics support studies), the DGA monitors the different methods that can be used in cooperative programs or in the context of FMS procurement (Foreign Military Sales). In order to be able to assess the relevance of the studies delivered, a monitoring of the different standards is carried out.

This article aims to share at a macro-level, the work that was carried out on 217+ (2015) and IEC 61709 (with TR63162) methods, by comparing them to FIDES 2009A and 2022A which are the reference documents in our entity. The proposed study will examine the coverage of the different guides and analyze the main parameters, with the aim of identifying the highlights of each methodology. Next, a study is done on a few models at the component level to identify the variations and differences between the methods. In the end, we propose the outcomes obtained by modeling an electronic map with four methodologies for a first life profile, with the aim of having the outcomes for five life profiles by the congress.

Keywords — FIDES 2009A, FIDES 2022A, 217plus, IEC 61709, comparatif

II. INTRODUCTION

Dans le cadre du développement des futurs systèmes d'arme de défense, la pertinence des études de fiabilité prévisionnelle impacte les études de sécurité (biens et personnes) mais également celles de de soutien logistique intégré (dimensionnement des rechanges, périodicité de maintenance et maîtrise des coûts).

32 Dans le cadre de ses activités le segment fiabilité obsolescence de DGA Maitrise de l'Information, soutient le développement
33 et la promotion de la méthodologie FIDES. Cependant, il est tout aussi important d'assurer une veille sur l'évolution des autres
34 méthodologies. En effet, il arrive que certains contrats utilisent encore d'autres standards que FIDES, ce qui implique de disposer
35 d'une expertise technique sur les autres standards pour pouvoir apprécier les données qui sont proposées.

36 Au cours de ces trois dernières années, deux standards ont fait l'objet de travaux, les méthodologies RIAC-HDBK217Plus
37 (2015), et l'IEC 61709 (rendu possible grâce aux travaux préparatoire pour la publication du TR 63162 ED1 qui propose des
38 taux de défaillance de base). Outre une analyse de la logique globale des documents, de la structure et éventuellement de la
39 pertinence des formules, des calculs sont réalisés pour déterminer les ordres de grandeurs des résultats. Ces données sont ensuite
40 comparées à la méthodologie FIDES 2009A qui est actuellement la référence au sein de notre entité (en l'absence de logiciels de
41 calculs pour mettre en œuvre la versions FIDES 2022A).

42 III. REVUE DE LITERATURE

43 De très nombreux articles proposent des analyses / lectures de ces trois référentiels, parfois en comparaison par deux ou par
44 trois avec la MIL-HDBK-217F mais il ne semble pas encore y avoir d'article proposant des travaux coordonnés sur les trois
45 standards comme en fait l'objet de cet article. A noter également que la mise à jour de 2015 de la 217Plus n'a pas fait l'objet de
46 beaucoup d'articles. Les publications suivantes comportent des présentations, analyses et points de vue différents qui nous
47 semblent intéressants.

48 Pour l'IEC 61709, nous recommandons la lecture de l'article de MM Turconi et Jones [6] qui comporte une présentation sur
49 le rôle et la philosophie de cette norme. Pour compléter la publication The Extrapolation of Failure Rate of Electrical Components
50 in Specific Operational Conditions [7] de MM Elos et Kosturik, comporte une décomposition détaillée des facteurs qui sont
51 employés dans les formules.

52 Pour les personnes qui ne connaissent pas la méthodologie FIDES, nous recommandons la lecture de la partie dédiée à sa
53 présentation dans la thèse de MMES Peroglio et Ruggieri [8] . Pour expliciter l'origine des différences entre les évaluations
54 réalisées à l'aide de FIDES 2009 A et FIDES 2022A, la lecture de l'article Evolutions du nouveau guide FIDES 2020, édition A
55 octobre 2021 [9] permettra de répondre à la majorité des questions.

56 Autrement il y a deux articles qui traitent de FIDES et de la 217+, une comparaison intéressante entre FIDES et la 217Plus
57 est proposée par MM Held et Fritz [10] et l'article de MM Oh, Park et Jang [11] qui, bien qu'il soit nécessaire de le traduire,
58 présente une lecture différente des méthodes.

59 Dans cet article nous ne présentons et abordons la construction des méthodes que de manière allégée. L'objectif est de se
60 concentrer sur les différences entre les modèles couverts, et de présenter des données numériques pour apprécier les différences
61 au niveau des résultats.

62 IV. METHODOLOGIE

63 Cet article détaille en premier lieu les principes généraux des différentes méthodes, comme les structures des formules, ainsi
64 que les modèles couverts, les points qui nous apparaissent importants et diverses observations sur ces méthodes. Nous détaillons
65 ensuite l'étude réalisée en précisant les calculs sur les familles de composants prises en compte, avec une appréciation sur les
66 différences ou les manques rencontrés, ainsi que le profil de vie. S'ensuit une partie calculatoire, puis une discussion avec
67 différentes perspectives.

69 1. Etude des principes généraux des différentes méthodes

70 Ces méthodes ont pour but d'évaluer la fiabilité des composants électroniques. Plusieurs types de composants sont modélisés,
71 les modèles sont parfois différents en fonction de la méthode considérée ; et tous les composants détaillés dans certaines
72 méthodes ne le sont pas forcément dans les autres.

74 a. Structuration des formules principales

75 Sans surprise toutes ces méthodes prennent en compte un modèle inspiré d'une loi d'Arrhenius pour la partie thermique ainsi
76 que des paramètres plus ou moins complexes pour décrire la prise en compte de l'environnement.

77 Cependant, selon les familles de composants et les référentiels, d'autres contraintes doivent être prises en compte (cyclage
78 thermique, stress électriques...) Dans un premier temps voici une rapide présentation / rappel des formules globales par
79 méthodologie.

- 81 • Pour la méthodologie FIDES, le modèle est le suivant :

$$82 \quad \lambda = \lambda_{0_Composant} \times \sum \pi_{Accélération} \times \pi_{Induit} \times \pi_{Part_Manufacturing} \times \pi_{Process}$$

83 Avec :

- 84 • $\lambda_{0_Composant}$: le taux de défaillance de base lié à la technologie

- 85 • $\sum \pi_{Accélération}$: l'impact des différents stress (thermique, électrique, cyclages
86 thermiques, mécanique, Mécanique, l'humidité relative, contraintes chimiques)
- 87 • $\pi_{PartManufacturing}$: qui traduit la qualité et la maîtrise technique de fabrication de l'article.
- 88 • $\pi_{Process}$ traduit la qualité et la maîtrise technique du processus de développement, de
89 fabrication et d'utilisation du produit contenant l'article.
- 90 • Pour le référentiel 217+, il n'y a pas de modèle général de présenté bien que la structure est très
91 similaire pour les différentes familles :

$$\lambda_p = \pi_G * (\lambda_{OB}\pi_{DCO}\pi_{TO}\pi_S + \lambda_{EB}\pi_{DCN}\pi_{TE} + \lambda_{TCB}\pi_{CR}\pi_{DT}) + \lambda_{SJB}\pi_{SJD T} + \lambda_{IND}$$

92 Avec les taux de défaillances suivants :

- 93 • λ_p : Taux de défaillance prédit en million d'heures calendaires
- 94 • λ_{OB} : Taux de défaillance du stress opérationnel
- 95 • λ_{EB} : Taux de défaillance du stress environnement
- 96 • λ_{TCB} : Taux de défaillance du stress de cyclage thermique
- 97 • λ_{SJB} : Taux de défaillance du stress des joints de soudure
- 98 • λ_{IND} : Taux de défaillance du stress induit

100 Et les facteurs suivants : π_G : Facteur de croissance de fiabilité, π_{DCO}/π_{DCN} : Facteurs liés au temps de fonctionnement et au
101 temps de non fonctionnement, π_{TO}/π_{TE} : Facteurs d'accélération de température en fonctionnement et de température de
102 l'environnement en non fonctionnement, π_S : Facteur de stress électrique, π_{CR} : Facteur d'accélération lié aux cycles thermiques,
103 π_{DT} : Facteur d'accélération lié aux ΔT des cycles thermiques, $\pi_{SJD T}$: Facteur d'accélération lié aux ΔT des joints de soudure,
104 • Enfin, le modèle de l'IEC 61709 est le suivant :

$$\lambda = \lambda_{ref} * \pi_U * \pi_I * \pi_T * \pi_E * \pi_S * \pi_{ES}$$

105 Avec :

- 106 • λ_{ref} Taux de défaillance de référence
- 107 • π_U Facteur traduisant l'influence de la tension
- 108 • π_I Facteur traduisant l'influence du courant
- 109 • π_T Facteur traduisant l'influence de la température
- 110 • π_E Facteur traduisant l'influence de l'environnement
- 111 • π_S Facteur traduisant l'influence de la fréquence de manœuvre
- 112 • π_{ES} Facteur traduisant l'influence des contraintes électriques

114 Bien que présentant des constructions assez similaires, il existe des différences notables sur la nature des stress pris en compte
115 et la plus forte influence de certains facteurs (Pi Process de FIDES par exemple). Certains points de différences notables sont
116 étudiés dans la suite du document mais toutes les méthodes prennent en compte les aspects thermiques. Cependant, seuls FIDES
117 et la 217+ (2015) considèrent d'autres types de stress (cyclages thermiques, vibratoires, humidité...) ainsi que des facteurs
118 accélérateurs autres que la qualité des composants (Facteur Pi Process et autres).

119 b. Modèles annoncés par les différents guides

120 TABLE I. TABLE DES MODELES COUVERTS PAR METHODE

IEC 61709	217 Plus	FIDES 2009A	FIDES2022A
Microprocesseurs et périphériques, microcontrôleurs et processeurs de signaux (NMOS, CMOS, Bipolaire, BiCMOS)	Microprocesseur	FPGA, CPLD, FPGA Antifusible, PAL	
	Circuit Analogique	Microprocesseur, Microcontrôleur, DSP	
Familles logiques numériques et interfaces de bus, circuit de commande et circuit récepteur de bus Flash, EEPROM, EPROM, OTPROM, EAROM	Circuit Numérique	Circuit Analogique et Mixte (MOS, Bipolaire, BiCMOS)	
		Circuit Numérique (MOS, Bipolaire, BiCMOS)	
RAM		Flash, EEPROM, EPROM	
		SRAM	
		DRAM	
Circuits intégrés spécifiques (ASIC)		Application Specific Integrated Circuit (ASIC)	
Diodes	Diode	Diodes	
Transistors communs, à basse fréquence (Bipolar, FET, MOS)	Transistors	Silicium, bipolaire < 5W	
		Silicium, MOS < 5W	

IEC 61709	217 Plus	FIDES 2009A	FIDES2022A
		Silicium, JFET < 5W	
Semi-conducteurs de puissance Rectifier diodes, Rectifier bridges, Schottky diodes, Triacs, diacs, Specialized and custom-made power semiconductors		Silicium, bipolaire > 5W	
		Silicium, MOS > 5W	
		IGBT	
Thyristors	Thyristors		
LED, IRED (diode infrarouge), diodes laser et composants d'émetteurs	Diodes Electroluminescentes (DEL)	Diodes Electroluminescentes (DEL)	
Optocoupleurs et barrières photoélectriques	Optocoupleurs	Optocoupleurs	
Résistances et réseaux de résistances	Résistances	Résistances	
		Fusibles	
Condensateurs	Condensateurs	Condensateurs	
Inductances, transformateurs et bobines	Inductance	Composants Magnétiques : Inductances et Transformateurs	
		Composants piézoélectriques : Oscillateurs et Quartz	
Relais	Relais	Relais électromécaniques monostables	
Commutateurs et boutons poussoirs	Switches	Interrupteurs et commutateurs	
		Circuit imprimé	Complexité technique (géométries, couches, micro via ...)
Connexions électriques (Brasures, Vis, Sertissage, ...)			Report (Nombre de brasures)
Connecteurs et supports	Connecteurs	Connecteurs	
Circuits hybrides		Hybrides et Multi Chip Modules	
			Composants GaN RF HF
			Composants AsGa RF HF
Dispositifs pour hyperfréquences		Circuits Intégrés RF HF	Circuits Intégrés RF HF Si et SiGe
Transistors, hyperfréquence (RF >800Mhz, Bipolar, GaAs FET, MOSFET)		Discrets Actifs RF HF	Discrets Actifs RF HF Si et SiGe
		Composant passifs RF HF	Composant passifs RF HF
Lampes de signalisation et lampes témoins			
Autres composants passifs (Varistances, parafoudre, thermistances, ...)			
Émetteur-récepteur, transpondeur et sous-équipement optique	Composants Photoniques		
Récepteurs de signaux optoélectronique à semi-conducteurs			
Composants optiques passifs			
		Cartes COTS	
		Ecrans LCD (TFT, STN)	
		Disques durs (EIDE, SCSI)	
		Moniteurs CRT	
		Convertisseurs de tension AC/DC et DC/DC	
		Batteries lithium et nickel	
		Ventilateurs	
		Claviers	
	Part Count	Comptage fiabilité par familles d'articles et par types d'articles	

121

122 Le nombre de familles de composants couvert peut être jugé un peu juste en ce qui concerne la 217+, mais la méthodologie
123 FIDES et l'IEC 61709 présentent de larges possibilités (attention cependant sur l'IEC 61709 pour certaines familles, voir ci-
124 après).

125

c. Principaux points d'attention sur les méthodologies

127 Pour la 217+, il apparait exagéré de considérer le nombre restreint de famille de composants comme étant une faiblesse.
 128 Cependant il faudra compléter les modèles manquant à l'aide d'une autre méthodologie pour réaliser un calcul, ce qui complique
 129 notablement le travail à réaliser.

130

131 Pour la partie proposant un taux de défaillance sur les logiciels, nous considérons ce point comme une faiblesse. Cela peut
 132 induire en erreur des utilisateurs et les détourner des « bonnes pratiques » du domaine (DO-254 et la DO-178).

133 La relative simplicité (du moins en apparence) du modèle permet de mettre en œuvre la méthode rapidement pour obtenir les
 134 premiers résultats. Cependant une lecture plus approfondie permet de mettre en évidence, qu'au-delà des valeurs par défaut, il
 135 est nécessaire de réaliser des travaux conséquents. Bien qu'il ne soit pas possible de comparer directement avec certains facteurs
 136 de FIDES, le travail à réaliser va parfois au-delà du facteur PiProcess nécessitant un travail non négligeable.

137

138 Un dernier point concerne la prise en compte des stresseurs, avec pour la majorité des modèles l'aspect thermique et les cyclages
 139 (les sensibilités de certaines familles sont traitées au cas par cas). La prise en compte native des phases hors tension, fait que le
 140 référentiel proposé par le RIAC se situe au milieu des autres méthodes (moins fourni, mais pas non plus simpliste). Nous
 141 pensons cependant que le manque de certains facteurs dans les modèles peut conduire les utilisateurs à ne pas la retenir pour
 142 estimer la fiabilité de matériels dans des environnements contraints ou très contraints.

143

144 Avant-propos sur l'IEC 61709. : En prônant des taux de défaillance de références issus du retour d'expérience, cette norme
 145 veut avoir une approche plus proche de la réalité que les autres. Historiquement, il s'agissait d'une faiblesse du standard, car il
 146 imposait de construire/disposer d'une base de données de taux de défaillance de base. La mise à disposition de données grâce
 147 au TR63162 (recueil des taux de défaillances de références pour l'IEC 61709), va offrir la possibilité de mettre en œuvre cette
 148 norme, bien que certains modèles ne se voient pas proposer de taux de défaillances.

149 Pour l'IEC 61709, nous considérons qu'un point d'importance doit être porté à l'attention des personnes souhaitant mettre en
 150 œuvre cette norme, certains modèles annoncés comme couverts ne disposent pas d'équations et de données.

151

152 Cet écart concerne les modèles suivants :

153

154 Dispositif pour hyperfréquence

Microwave elements	Coaxial and wave guides	Load
Attenuator fixed	Attenuator variable	Fixed elements
Directional couplers	Fixed stubs, Cavities	Variable elements
Tuned stubs	Tuned cavities	Ferrite device
Ferrite device (receiver)	RF/microwave passives	Filter,
Isolator	Circulator	Splitter/combiner
Synthesizer		

155

156 Autres composants passifs

Varistors	PTC thermistors	NTC thermistors
Surge arresters	Ceramic resonators	Filters
Surface wave filters	Surface wave oscillators	voltage controlled oscillators
Piezoelectric components (transducers and sensors)	Crystals, Crystal oscillators:XO (clock)	VCXO (voltage controlled)
TCXO (temperature compensated)	OCXO (oven controlled)	Feed-through capacitors
feed-through filters	Fuses	

157

158 Connexion électrique

Solder (manual, machine)	Wire bond for hybrid circuits	Wire-wrap, Crimp
Termi-point	Press in	Insulation displacement,
Screw	Clamp (elastic force)	

159

160 Connecteurs et support : Plug-in contacts, Coaxial plugs

161

162 Cartes de circuit imprimés (PCB) : Sur ce point il y a un renvoi vers la section 14.1 en pointant l'emploi des connexions brasés
 163 par une machine

164 Circuit hybrides : Il est indiqué qu'il ne faut pas considérer cet élément comme un composant, mais comme un assemblage
 165 (comme une carte).

166

167 Concernant les modèles circuits intégrés et mémoire, ils apparaissent datés (plages nombre de transistors / timing ou
 168 technologies). Il est certain que l'utilisateur va devoir comme pour la MIL-HDBK-217F procéder à des choix et hypothèses
 169 discutables, ce qui limite la répétabilité des évaluations de fiabilité.

170

171 Un dernier point qui nous semble important concerne la prise en compte des stress environnementaux et des phases hors tension.
 172 En effet cette norme se limite pour sa plus grande partie à une estimation de l'impact de la température sur les différents taux

de défaillance. Il y a 3 facteurs environnementaux qui sont proposés, mais ils ne permettent pas de traduire la réalité des contextes d'emploi. Ce référentiel recommande de durcir et protéger le matériel dans le cadre de son intégration, ce qui semble à première vue une bonne pratique mais qui sera inapplicable dans les applications à volume et poids contraint. Il y a des enjeux forts sur ces aspects dans l'aéronautique, les drones et le spatial ainsi que dans de nombreux équipements militaires. En considérant par exemple un missile, il ne sera pas possible d'ajouter de l'isolant pour limiter l'impact des cycles thermiques ou d'y intégrer des systèmes de refroidissement encombrants. Ce point est un facteur limitant pour l'emploi de ce référentiel dans les applications à fortes contraintes ou il n'est pas possible de protéger le système pour correspondre à la description proposée dans la méthode. Pour la prise en compte des phases hors tension un facteur est proposé, mais il est recommandé de déterminer un facteur relatif à l'expérience de l'entreprise. Compte tenu de l'expérience DGA sur les facteurs dormants qui étaient mis en œuvre pour la MIL-HDBK-217F, nous considérons que la pertinence des facteurs ne sera généralement pas démontrée.

FIDES 2009A et 2022A, proposent des familles de composants assez complets, mais comme pour les autres méthodes il faudra pour certaines technologies avoir recours à d'autres référentiels.

La mise en œuvre de ces référentiels est annoncée comme fastidieuse par ses détracteurs, car elle considère plus de paramètres (plus complète que la 217+, mais surtout plus de paramètres que la méthode historique MIL-HDBK-217F). Cependant, les possibilités offertes sont plus importantes (profondeur d'analyse, identification des forces et faiblesses d'un design au travers de l'analyse des stressés, connaissance du poids des phases dans la défaillance...) ce qui sans compenser le temps de mise en œuvre permet un développement plus maîtrisé. Le facteur Pi Process peut être considéré comme un guide dans le guide, mais si l'utilisateur ne souhaite pas utiliser une valeur par défaut et profiter de l'apport de l'audit, il doit prévoir d'y consacrer des ressources (temps et personnels) qui sont non négligeables.

Un point bloquant pour la version 2022A est l'absence d'outil de calcul pour réaliser des estimations de fiabilité dans un format industriel. Le projet P23-3 de l'IMdR pour la mise à jour de l'outil ExperTool va permettre de répondre à ce problème, et il est probable que les éditeurs logiciels proposent un module 2022A prochainement.

2. Etude réalisée

a. Calcul sur quelques familles de composants et sur une carte complète

Le tableau ci-dessous liste le détail des composants étudiés dans la première partie de cette étude. Bien qu'ayant été sélectionné pour avoir un maximum de couverture entre les trois méthodes, il y a des cas non couverts. Pour l'IEC 61709, lorsque le modèle consiste à annoncer uniquement un taux de défaillance de référence, nous avons considéré que le modèle n'existait pas.

TABLE II. TABLEAU PRESENTANT LES FAMILLES DE COMPOSANTS ET CARACTERISTIQUES TESTEES

	FIDES 2009A	217 +	IEC 61709
Condensateur aluminium à électrolyte solide (30µF)	Oui	Oui	Oui
Diode basse fréquence de redressement	Oui	Oui	Oui
Circuit intégré non hermétique contenant un microprocesseur (circuit intégré dans un boîtier plastique PDIP 16 broches contenant un microprocesseur)	Oui	Oui	Oui
Circuit intégré hermétique qui contient un microprocesseur (circuit CLCC 20 broches dans un boîtier céramique contenant un microprocesseur)	Oui	Oui	Oui
Bobine à fort courant	Oui	Oui	Oui
Bobine à faible courant	Oui	Oui	Oui
Transformateur de forte puissance	Oui	Oui	Oui
Transformateur de faible puissance	Oui	Oui	Oui
Photodiode	Oui	Oui	Non
Bouton poussoir monostable à contact argenté (avec deux scénarios pour les deux pouvoirs de coupure)	Oui	Oui	Oui
Relais	Oui	Oui	Oui
Connecteur coaxial traversant à quatre contacts	Oui	Oui	Non
Résistances à film métallique (résistances fixes à couches, à forte et à faible dissipation)	Oui	Oui	Oui
Thyristor	Oui	Oui	Oui
Transistors MOS	Oui	Oui	Oui
PCB	Oui	Non	Non

Nomenclature par type de famille pour la carte modélisée

TABLE III. COMPOSITION DE LA CARTE MISE EN ŒUVRE DANS LES CALCULS

Famille de composants	Qté
Circuits intégrés	14
Composants magnétiques : Inductances et Transformateurs	6
Composants piézoélectriques : Oscillateurs et Quartz	2
Condensateurs céramiques	69
Condensateurs tantale	16

Connecteurs	5
Resistances	105
Semiconducteurs discrets	15
Circuit imprimé (PCB)	1

Il s'agit d'une carte de taille moyenne comportant un ensemble de composants assez équilibré, qui ne peut être considéré comme pleinement représentative (il n'y a pas toutes les familles). Cette carte est utilisée comme référence (étalon) dans nos diverses expérimentations car elle a toujours montré un comportement « moyen » au sein des différentes méthodes. L'intérêt de modéliser une carte réelle est de pouvoir disposer d'un ordre de grandeur du taux de défaillance pour permettre une comparaison entre les méthodes. Une comparaison au seul niveau des familles de composants ne permet pas de se faire une idée car la répartition des composants au niveau d'une carte (quantités par familles) va fortement impacter le résultat.

b. Profil de vie pour les calculs

Les méthodes présentant des différences suffisamment marquées dans la manière de considérer l'environnement d'emploi, il a été décidé de se baser sur FIDES qui est le modèle le plus complet. C'est le profil radio portable militaire du guide FIDES 2009A qui a été mis en œuvre dans cette étude.

TABLE IV. PROFIL DE VIE MIS EN OEUVRE DANS LES CALCULS

		Thermique et Humidité			Cyclage thermique				Mécanique	Chimique			Induit	
Intitulé de la phase	Temps calendaire (heures)	On/Off	Température ambiante (°C)	Taux d'humidité (%)	ΔT (°C)	Nombre de cycles (/an)	Durée du cycle (heures)	Tmax cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution Saline	Pollution Environnement	Pollution Application	Niveau de protection	II application
Journée sans utilisation - Stockage protégé	3960	Off	20	37	5	165	24	23	0,01	Faible	Faible	Modéré	Hermétique	4,1
Opération - Fonctionnement fixe	600	On	30	20	15	200	6	30	0,5	Faible	Faible	Modéré	Hermétique	5,6
Opération - Fonctionnement mobile	600	On	30	20	-	-	-	-	1,5	Faible	Faible	Modéré	Hermétique	7,7
Opération - Non fonctionnement fixe	3200	Off	15	50	10	200	18	20	0,01	Faible	Faible	Modéré	Hermétique	4,3
Opération - Non fonctionnement mobile	400	Off	15	50	-	-	-	-	1,5	Faible	Faible	Modéré	Hermétique	7,7

A ce stade les calculs réalisés se limitent à ce profil, mais il est prévu d'ajouter des calculs pour d'autres profils de vie afin de pouvoir apprécier de manière plus large le comportement des méthodologies face à des stress et taux d'emploi plus ou moins importants.

c. Autres facteurs et absences notables (Pi qualité composant, Pi Apprentissage et ou expérience du fournisseur, Pi process, et autres)

Pour l'IEC 61709, on peut noter l'absence de prise en compte de la qualité de fabrication. Dans le principe, cela peut s'expliquer par le fait que sa philosophie favorise le retour d'expérience, pour se constituer une base de données de taux de défaillances de référence. Ainsi, une fois constituée, sous réserve d'une politique d'achat composant, la base de données peut être représentative de la qualité des différents fabricants.

Pour le facteur dormant nous avons retenu 1/10, qui est la valeur par défaut proposée dans la norme. Pour les lambda0 ce sont les valeurs proposées dans le TR 63162.

Pour les facteurs de FIDES, ils ont été pris par défaut en cohérence avec les préconisations du guide soit pour les principaux : Pi Process à 4, Pi LF à 1, Pi Process HF/RF à 1, Pi part manufacturing à 1.6 pour les composants actifs et 1.7 pour les composants passifs.

Pour les facteurs de la 217+, l'année de fabrication retenue est 2012 et le facteur process grade est de 2.11 (les autres facteurs étant basés ou adaptés du profil de vie FIDES)

3. Partie calculatoire

a. Modélisation de composants

i. Analyse d'un calcul pour un modèle (illustration)

Si nous considérons l'exemple d'un composant de base de l'électronique (une résistance à film métallique), avec un échauffement de 20°C, les modèles sont :

243 Pour FIDES : $\lambda = \lambda_o * \sum_i^{Phases} \left(\frac{t_{annuel}}{8760} \right) * \left(\pi_{therm\ électrique} + \pi_{TCy} + \pi_{Mécannique} + \pi_{RH} \right) * (\pi_{induit}) * \pi_{PM} * \pi_{Process}$
 244 Pour 217+ : $\lambda = \pi_g * (\lambda_{OB} * \pi_{DCO} * \pi_{TO} * \pi_P + \lambda_{EB} * \pi_{DCN} * \pi_{TE} + \lambda_{TCB} * \pi_{CR} * \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} * \pi_{SJDt} + \lambda_{IND}$
 245 Pour IEC 61709 : $\lambda = \lambda_{ref} * \pi_T$

246 TABLE V. TABLE DE RESULTAT POUR UNE RESISTANCE A FILM METALLIQUE

Méthode considérée	Résultat du calcul
FIDES	1.66
217+	0.7833
IEC 61709	0.32

247
 248 ii. Identification des spécificités/curiosités des modèles

249 Bien que les constructions de formules soient notablement différentes, cet exemple (certes limité) met en évidence une certaine
 250 cohérence entre les résultats proposés. Il y a un facteur 5 entre les deux méthodes les plus éloignées, ce qui est négligeable à
 251 l'échelle d'un composant mais pas au niveau d'une carte (100 à 1000 résistances).

252 Le tableau suivant illustre, pour l'impact des différents facteurs sur le taux de défaillance théorique.

253 TABLE VI. TABLE COMPARATIVE DES STRESSEURS SUR TROIS TYPES DE COMPOSANTS

Composant	FIDES			217 +			IEC 61709		
	Taux de défaillance (FIT)	Facteur principal	Part de ce facteur (FIT)	Taux de défaillance (FIT)	Facteur principal	Part de ce facteur (FIT)	Taux de défaillance (FIT)	Facteur principal	Part de ce facteur (FIT)
Condensateur à électrolyte liquide	12.3	Thermo Electrique	7.05	0.863	λ Induit	0.8084	1,53	Thermique	3.73
Résistance à film métallique	1.66	Cyclage Thermique	0.14	0.158	λ Soudure des joints brasés	0.158		Thermique	1.59
Circuit Intégré Hermétique	20.44	Thermique	8.21	3.938	λ Soudure des joints brasés	3.04		Thermique	2.35

254 Pour ne pas alourdir cette publication, nous nous sommes ici intéressés à uniquement trois composants. Nous pouvons constater
 255 que, contrairement aux autres, pour la 61709, le facteur PiThermique est très récurrent. Pour la résistance à film métallique, la
 256 part du facteur thermique est supérieure au taux de défaillance théorique, cela s'explique par le fait que la 61709 annonce un
 257 taux de défaillance de référence de 0.2 pour ce composant.

258 A noter pour l'IEC61709 que les températures de référence sont globalement plus élevées que pour les autres modèles ce qui
 259 minimise le taux de défaillance pour des profils de vie à faible température.

260
 261
 262
 263

265 Les résultats présentés ici restent à consolider par des calculs fait avec des profils de vie différents, mais ils annoncent une
266 tendance à la dispersion en fonction des méthodes.

267 Le tableau suivant dresse le bilan des résultats obtenus.

268 TABLE VII. RESULTATS SUIVANT LE TYPE DE COMPOSANT.

Composant	FIDES 2009A	FIDES 2022	217+	IEC 61709
Condensateur Alu électrolyte Liquide	7,61	8,51	0,86	1,61
Condensateur Alu électrolyte Solide	11,25	12,58	Différence modélisable non	7,11
Diode Faible Courant	0,45	0,52	0,89	0,176
Diode Fort Courant	6,08	8,05	3,17	0,48
Circuit Intégré non Hermétique	4,98	6,42	2,41	16,50
Circuit Intégré Hermétique	9,03	7,77	3,94	16,50
Bobine Faible Courant	0,41	0,51	0,00	2,17
Bobine Fort Courant	1,65	1,37	0,32	2,53
Transformateur Faible Puissance	3,91	3,20	1,92	2,17
Transformateur Forte Puissance	6,87	6,38	0,32	1,36
Optocoupleur à photodiode	1,31	1,35	4,55	0,34
Bouton Poussoir faible pouvoir de coupure	218,18	241,49	110,40	6,49
Bouton poussoir fort pouvoir de coupure	69,56	68,26	Différence modélisable non	1,62
Relais Plastique (non hermétique)	61,12	63,86	182,17	1,35
Relais Métal (Hermétique)	21,40	21,85	Différence modélisable non	2,1
Connecteurs	1,22	0,91	0,50	Composant modélisable non
Résistance à film métallique	1,19	1,12	0,16	0,08
Réseau de résistance	0,31	0,25	2,52	0,42
Transistor (2N2222)	0,59	0,81	10,42	0,74
Thyristor	35,97	47,68	18,09	2,68

269 Ce tableau est révélateur de fortes disparités sur certains des résultats obtenus en fonction de la méthode utilisée.
270

271 Il apparait que les résultats de l'IEC61709 (avec les lambda de base de la TR63162) sont très homogènes à l'exception des
272 circuits intégrés. Cela peut s'expliquer par la faible température moyenne retenue et le delta T relativement contenu, et des
273 températures de référence parfois partagées avec la 217+ et plus hautes que FIDES, L'absence de la prise en compte de manière
274 constante des facteurs environnementaux autres que la thermique, et l'hypothèse de la fiabilisation aux environnements par
275 l'intégration fausse la comparaison numérique entre les méthodes. Bien que les grandeurs proposées ici ne soient pas
276 incohérentes des autres méthodes, il y a un risque très fort de manque de pertinence dans des cas d'emploi très contraints tel
277 que le pont d'un navire ou une soute d'avion non pressurisée.
278

279 La méthode 217+ présente des ordres de grandeurs similaire à FIDES, et l'on retrouve un risque moins important que la 61709
280 pour les environnements contraints pour certaines familles de composants mais néanmoins présent. L'absence de modélisation
281 fine des différences technologiques au sein d'une même famille est un manque que l'utilisateur ne pourra que déplorer. L'impact
282 de cet écueil ne peut être apprécié au travers de calculs réalisés pour un seul profil, l'ajout de profils d'ici à au congrès devrait
283 permettre de répondre à ce manque. Un travail d'approfondissement de la comparaison entre FIDES et la 217+ est à mener.
284

285 Les variations entre FIDES2009A et FIDES2022A apparaissent ici cosmétique tant les différences sont faibles. Cela s'explique
286 par l'absence dans cette nomenclature de tests des familles de composants ayant fait l'objet d'une refonte notable (Asga et
287 GaN, ou encore les semiconducteurs de puissance) et l'utilisation d'un facteur générique pour le Pi Process.
288

289 A ce stade seule la faiblesse de l'IEC 61709 vis-à-vis d'une modélisation fine des stress environnementaux ressort.
290

b. Modélisation d'une carte (référence interne)

TABLE VIII. RÉSULTATS PAR FAMILLE DE COMPOSANTS

Familles de composants	Quantité	IEC 61709	217 +	FIDES 2009A	FIDES 2022A
Circuit imprimé (PCB)	1	0	0	217,84	166,43
Circuits intégrés	14	8,33	53,97	85,91	91,23
Composants magnétiques : Inductances et Transformateurs	6	9,16	2,95	22,19	16,41
Composants piézoélectriques : Oscillateurs et Quartz	2	0	0	146,89	124,62
Condensateurs céramiques	69	6,06	76,42	124,16	137,24
Condensateurs tantale	16	13,29	297,45	259,96	287,08
Connecteurs	5	0	6,09	150,68	49,57
Résistances	105	44,25	104,54	30,33	22,16
Semi-conducteurs discrets*	15	11,86	142,30	155,59	218,71
Total	233	92,98	683,72	1193,55	1113,45

Ce tableau fait apparaître les disparités en termes de prise en compte ou non de certains modèles dans la modélisation d'une carte électronique. On remarque par exemple que l'IEC 61709 ne considère pas la défaillance des connecteurs et du PCB, ou encore que la 217+ n'inclut pas les composants piézoélectriques et le PCB non plus dans le calcul de la fiabilité prévisionnelle. Cela nous fait parvenir à des résultats très disparates entre chaque méthode sauf pour les deux versions du guide FIDES, ce qui est logique puisque construits sur la même base.

On obtient tout de même un facteur dix entre les résultats de l'IEC 61709 et FIDES et un facteur deux entre la 217+ et FIDES. Nous remarquons plus précisément que les circuits intégrés sont gérés très différemment par l'IEC 61709 car l'ordre de grandeur du résultat pour ce modèle est très éloigné de celui des autres méthodes. Dans une moindre mesure, mais suivant le même élan, le modèle des condensateurs céramiques est également très lointain. Concernant la 217+, c'est le modèle des résistances qui fournit des résultats d'un autre ordre de grandeur.

Ces constats sont problématiques car les condensateurs céramiques et les résistances sont des composants présents en très grand nombre sur une carte électronique de manière générale. Ils sont indispensables au soutien des composants complexes qu'ils servent et qui font la fonction de la carte électronique au sein du système.

VI. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les méthodes les plus étoffées, en terme de nombre de modèles de composants, sont la 217 + et FIDES contrairement au guide IEC 61709 qui intègre une couverture bien moindre.

Bien que toutes trois basées sur des lois d'Arrhenius ; il y a des différences notables au niveau des facteurs de fatigue pris en compte par les modèles pour chacune des familles de composants. Les résultats sont de manière assez surprenante relativement concordants, mais des analyses sont toujours en cours pour en identifier les raisons.

Une étude sur une autre méthode importante d'évaluation de la fiabilité (TELCORDIA) reste à réaliser.

VII. CONCLUSION

a. Synthèse Forces et faiblesses de chaque méthode

TABLE IX. FORCES ET FAIBLESSES DE CHACUNE DES METHODES.

Méthode	Forces	Faiblesses
FIDES	Méthode la plus complète Autoporteuse. Prise en compte du profil de vie. Facteurs Pi d'audit	Profil de vie dimensionnant, méthode nécessitant plus d'investissement initial (mais meilleur cashback)
IEC 61709	Favorise le retour d'expérience. Prise en compte de la dormance des composants (mais attention facteur générique)	Sans la TR63162 absence de données de fiabilité. Avec le technical report, manque certains taux de défaillance de références, ou issus d'autres méthodes. Modèles se limitant trop souvent à un échauffement thermique. Pas de prise en compte des circuits imprimés Pas de facteurs liés à des audits (report d'une mauvaise gestion ou d'un mauvais management de la fiabilité dans d'autres référentiels)
217 +	Autoporteuse Relativement facile à mettre en œuvre.	Pas de prise en compte des circuits imprimés.

	Prise en compte du processus qualité	Certaines familles de composants sont trop homogène et ne traduisent pas les faiblesses attendues (retex)
--	--------------------------------------	---

317
318

b. Eléments limitants

319 Une des principales restrictions de l'IEC 61709 est qu'elle ne dispose pas de formule et de taux de défaillance de référence
320 pour un certain nombre de famille de composants courant, ce qui la rend difficilement autoporteuse (nécessité de réaliser des
321 calculs avec plusieurs méthodologies). De plus, et comme la 217+, elle ne modélise pas les circuits imprimés, ce qui selon nous
322 limite la pertinence des études réalisées à l'aide de ces méthodes.

323
324

c. Avis sur l'homogénéité des résultats

325 Selon les composants considérés, nous pouvons voir des différences très importantes sur les résultats. Il est toutefois difficile
326 de se prononcer sur ceux-ci car chacune des méthodes se démarque à des moments différents. C'est aussi la limite de cette
327 étude à ce stade car nous n'avons considéré qu'une carte électronique avec un profil particulier. D'ici la tenue du congrès
328 l'étude sera complétée par la mise en œuvre de calcul sur la même carte mais avec 5 profils différents. Cela devrait permettre
329 d'identifier si une méthodologie présente des faiblesses ou des forces dans le cadre d'emploi plus ou moins contraints.

330
331

d. Recommandations éventuelles

332 Cette analyse se limite à une typologie de nomenclature qui bien considérée comme moyenne n'est pas représentative de tous
333 les cas d'emploi. Les observations formulées dans cette publication ne doivent pas être considérées comme une absolue vérité ;
334 elles sont limitées par la quantité de travaux réalisable et demandent à être étoffées avec d'autres composants et cartes.

335

336 VIII. REMERCIEMENTS

337

338 Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la publication de cet article, et notamment
339 l'ensemble du segment Fiabilité-Obsolescence de DGA Maîtrise de l'Information pour son soutien technique et moral.

340 Nous tenons également à remercier Monsieur Franck DAVENEL pour son apport historique et pour son expérience dans le
341 domaine de la publication scientifique.

342 Enfin, nous adressons une pensée à toutes les personnes qui ont publié en source libre les documents sur lesquels nous nous
343 sommes appuyés pour réaliser notre étude. Sans eux, ce travail n'aurait pas été rendu possible.

344
345
346

347 IX. BIBLIOGRAPHIE

- 348
349 [1] HDBK-217Plus™: 2015 (Pre-Notice 1)
350
351 [2] IEC 61709 - Electric components - Reliability - Reference conditions for failure rates and stress models for conversion
352
353 [3] Guide FIDES 2009 édition A Septembre 2010, Méthodologie de fiabilité pour les systèmes électroniques, **UTE C80-811**,
354 2011.
355
356 [4] Guide FIDES 2022 édition A Juillet 2023, Méthodologie de fiabilité pour les systèmes électroniques
357
358 [5] TR 63162 ED1- Electric components - Reliability - Failure rates at reference conditions
359
360 [6] Turconi, G., & Jones, J. Diagnostics preventive evaluation, the role of IEC 61709. 14th IMEKO TC10 Workshop Technical
361 Diagnostics New Perspectives in Measurements, Tools and Techniques for system's reliability, maintainability and safety
362 Milan, Italy, June 27-28, 2016
363
364 [7] L. Elis and K. Kosturik, "The extrapolation of failure rate of electrical components in specific operational conditions," 2015
365 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2015, pp. 658-661
366
367 [8] Ruggieri, I. M. R. L., & Peroglio, R. (2018). Reliability and Criticality Analysis of Automotive Embedded Systems
368 (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
369
370 [9] Gaëtan, P., Berthon, J., Denis, T., Michel, G., Carton, P., & Thibault, M. (2022, October). Evolutions du nouveau guide
371 FIDES 2020, édition A octobre 2021. In Congrès Lambda Mu 23 «Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable»-
372 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques.
373
374 [10] Marcel Held, Klaus Fritz, Comparison and evaluation of newest failure rate prediction models: FIDES and RIAC 217Plus,
375 Microelectronics Reliability, Volume 49, Issues 9–11, 2009,
376
377 [11] Oh, J., Park, S., & Jang, J. (2017). Sensitivity Analysis for Reliability Prediction Standard: Focusing on MIL-HDBK-
378 217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES. Journal of Applied Reliability, 17(2), 92-102.