

Guide FIDES 2022

Décembre 2022

**Méthodologie de fiabilité
pour les systèmes électroniques**



FIDES

AVANT PROPOS

Le Guide FIDES 2022 a été réalisé par un Consortium cofinancé par la DGA et est proposé par l'Institut pour la Maîtrise des Risques (IMdR) » dans le cadre du Groupe de Travail et de Réflexion (GTR) « Maintien de la méthodologie FIDES ».

RÉSUMÉ ET PRINCIPE DE LA RÉVISION

Le Guide FIDES 2022 remplace le Guide FIDES 2009 édition A (publié par l'UTE sous la référence UTE-C 80811 Janvier 2011). Cette mise à jour a été faite pour prendre en compte les évolutions technologiques, augmenter la couverture des modèles et apporter des améliorations. Un principe directeur de ces évolutions a été de réaliser un document dont l'usage soit aussi pratique et universel que possible.

Entre le Guide FIDES 2009 édition A et le Guide FIDES 2022, de nombreux chapitres du document sont révisés.

Les évolutions qui ne sont pas des points de forme sont listées dans la table des évolutions.

COPYRIGHT

Copyright © IMdR

CONTACT

Pour tout contact s'inscrire sur le site internet :

www.fides-reliability.org

AVERTISSEMENT

L'IMdR n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour des réalisations déclarées conformes à cette publication.

Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IMdR, aux entreprises du Consortium PISTIS, aux entreprises du Groupe FIDES, à leurs administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris leurs experts particuliers, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette publication ou du crédit qui lui est accordé.

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente publication peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'IMdR ne saurait être tenu pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

TABLE DES EVOLUTIONS

Pages	Paragraphes	Evolutions
2 et suivantes	Avant-propos Résumé et principe de la révision Copyright En-têtes et pieds de pages Avertissement	Mise à jour
4	Table des évolutions	Mise à jour
14	Acronymes	Mise à jour et compléments
33	Profil de vie et unité de temps	Modification de la durée de référence de toutes les formules pour passer à la durée totale du profil de vie et non 8760h qui est le cas particulier d'un profil de vie d'une durée d'un an
45	Physique des défaillances et modélisation	Réécriture de la formule pour la rendre indépendante de la durée annuelle
49	Quantification des paramètres	Mise à jour des références normatives
51	Quantification des paramètres	Ajout d'une recommandation de considérer 0,01 Grms minimum, même en l'absence de vibration
en page 56	Sources des données	Ajout de quelques exemples de normes et de sites consultables
56	Méthodologie de construction du profil de vie	Introduction d'un paragraphe méthodologique avec des recommandations pour la construction d'un profil de vie
63	Exemples de profil de vie	Modification du nombre de cycles thermiques et des durées pour respecter la durée totale de cycles par jour de 24h. Ajout de profils de vie exemple : automobile et spatial
111 et suivantes	Fiches de calcul du guide d'évaluation : Composants électroniques	Evolution des sensibilités relatives des composants
112	Facteur induit	Modification du paragraphe $C_{\text{sensibilité}}$ Modification du paragraphe $\Pi_{\text{Placement}}$ Ajout d'un guide méthodologique de détermination du paramètre $\Pi_{\text{placement}}$ Evolution du critère 1 dans l'évaluation du paramètre $\Pi_{\text{application}}$
120	Résistances thermiques des composants	Mise à jour des valeurs de C_{type} pour les circuits intégrés en accord avec la nouvelle liste de boîtiers

Pages	Paragraphes	Evolutions
125	EC : Circuits Intégrés	Remplacement t_{annuel} par t_{phase} Ajout de nouvelles catégories de boîtiers Ajout du traitement de l'underfill Evolution des taux de défaillance de base associés aux puces des composants circuits intégrés Ajout d'une proposition de modèle de vieillissement pour les matrices DSM
136	EC : Discrets actifs : diodes, transistors faible puissance et transistors de puissance bipolaires	Remplacement t_{annuel} par t_{phase} Evolution des taux de défaillance de base associés aux boîtiers
140	EC : Discrets actifs de puissance Silicium, MOS > 5W et IGBT	Ajout du paragraphe Evolution des taux de défaillance de base associés aux puces
145	EC : Diodes Electroluminescentes	Remplacement t_{annuel} par t_{phase}
148	EC : Résistances	Clarification des dénominations des types de résistances
153	EC : Condensateurs Céramique	Ajout des classifications X5R et X7R pour les condensateurs céramiques type 2 Modification des bornes de classification des produits CV
160	EC : Condensateurs film	Ajout du modèle
178	EC : Connecteurs	Ajout de précisions sur la Gauge
182	Hybrides et MCM	Note : Pas de mise à jour dans cette version du Guide FIDES
201	RF HF : Circuits Intégrés & Discrets actifs	Modifications du modèle
255	Comptage par type	Suppression de la méthode « Comptage par famille », Note : Pas de mise à jour de la méthode Comptage par types dans cette version du Guide FIDES
257	AQ _{fabricant}	Modification de la table pour être en accord avec les autres tables du Guide FIDES
287	Exemple de découpage industriel	Ajout de précisions sur la prise en compte du découpage industriel
289	ISO 9001 et EN 9100	Ajout des informations ISO 9001 et EN 9100
291	Traiter l'information recueillie	Ajout d'une précision sur le recueil de l'information
296	Tables des recommandations avec les pondérations	Reprise complète des tables (hors Durcissement) et sans modification des n° lorsque la recommandation existait déjà.
327	Fiches détaillées des recommandations	Reprise complète des fiches (hors Durcissement) sans modification des n° lorsque la recommandation existait déjà.
495	Annexes	Ajout du chapitre

Pages	Paragraphes	Evolutions
496	Recommandation pour l'utilisation des composants DSM	Ajout du chapitre

Sommaire

I	Présentation du Guide FIDES.....	11
1.	Introduction	12
2.	Avertissement sur la méthodologie FIDES	13
3.	Terminologie	14
3.1.	Acronymes	14
3.2.	Définitions	20
4.	Références	22
5.	Champ d'application	23
5.1.	Domaines d'application.....	23
5.2.	Couverture des modèles.....	23
5.3.	Nature de la prédiction.....	24
5.4.	Confiance dans la prédiction	26
5.5.	Articles couverts	27
II	Guide d'évaluation prévisionnelle de la fiabilité	28
1.	Présentation des modèles.....	29
1.1.	Origines des données de fiabilité	29
1.2.	Approche FIDES	30
1.3.	Méthode complète et méthode simplifiée	30
1.4.	Données d'entrée génériques.....	31
1.5.	Modèle Général	32
1.6.	Profil de vie et unité de temps	33
1.7.	Taux de défaillance d'un produit électronique	34
1.8.	Contributeurs physiques et technologiques $\lambda_{\text{Physique}}$	35
1.9.	Contributeurs processus.....	38
2.	Profils de vie.....	41
2.1.	Principes de construction du profil de vie	41
2.2.	Durée des phases.....	42
2.3.	Domaines d'applicabilité	42
2.4.	Température (contraintes thermique et thermoélectrique)	43
2.5.	Cyclage thermique (contrainte thermomécanique)	45
2.6.	Humidité relative	48
2.7.	Niveau vibratoire (contrainte mécanique).....	51
2.8.	Contrainte chimique	54
2.9.	Type d'application	55
2.10.	Sources des données	56
2.11.	Méthodologie de construction du profil de vie	56
2.12.	Profil de vie standard	60
3.	Exemples de profil de vie	63
3.1.	Profil de vie d'un calculateur de navigation embarqué sur un hélicoptère	63
3.2.	Profil de vie d'un équipement (en baie avionique) monté sur un avion civil moyen courrier.....	81

3.3. Profil de vie d'un équipement (en baie avionique) monté sur un avion civil turbopropulsé.....	86
3.4. Profil de vie d'un équipement de type système industriel	91
3.5. Profil de vie de machine à laver le linge.....	95
3.6. Profil de vie d'emport externe d'avion d'armes multi-rôles	99
3.7. Autres exemples	103

III Fiches de calcul du guide d'évaluation110

Composants électroniques.....111

Facteur induit	112
Facteur fabrication composant	118
Résistances thermiques des composants	120
Circuits Intégrés.....	125
Application Specific Integrated Circuit (ASIC)	132
Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires.....	135
Discrets Actifs de puissance : Silicium, MOS > 5W et IGBT	140
Diodes Electroluminescentes (DEL)	143
Optocoupleurs.....	146
Résistances	148
Fusibles	151
Condensateurs Céramiques.....	153
Condensateurs Aluminium.....	156
Condensateurs au Tantale.....	158
Condensateurs à Film Plastique	160
Composants Magnétiques : Inductances et Transformateurs	162
Composants piézoélectriques : Oscillateurs et Quartz	164
Relais électromécaniques monostables.....	166
Interrupteurs et commutateurs	170
Circuit imprimé (PCB).....	175
Connecteurs	178

Hybrides et Multi Chip Modules182

Modèle général	183
Facteur induit	184
Facteur processus H&M	185
Microcomposants	186
Câblage, boîtier, substrat, connexions externes	193
Contraintes physiques.....	199

Composants hyperfréquence (HF) et radiofréquence (RF).....201

Facteur processus RF et HF	202
Composants GaN RF HF.....	205

Composants AsGa RF HF	207
Circuits Intégrés RF HF Si et SiGe	210
Discrets Actifs RF HF Si et SiGe	213
Composant passifs RF HF	216
Cartes COTS	219
Généralités	220
Facteur induit	221
Facteur fabrication article.....	222
Fonctions électroniques embarquées	223
Sous-ensembles divers	229
Généralités	229
Durée de vie.....	231
Facteur induit et fabrication article.....	233
Ecrans LCD (TFT, STN).....	234
Disques durs (EIDE, SCSI).....	237
Moniteurs CRT.....	240
Convertisseurs de tension AC/DC et DC/DC	243
Batteries lithium et nickel.....	245
Ventilateurs	248
Claviers.....	251
Comptage fiabilité par types d'articles	255
Principes généraux	256
Comptage par types d'articles : Paramètres	260
Prise en compte du passage au sans plomb	270
Conséquences sur la fiabilité.....	271
Facteur process sans plomb.....	274
IV Guide de maîtrise et d'audit du processus fiabilité	277
1. Cycle de vie	278
2. Le facteur processus	279
3. Recommandations métier - Maîtrise de la fiabilité.....	279
4. Calcul du facteur processus $\Pi_{Process}$	280
4.1. Influence relative des phases du cycle de vie	280
4.2. Niveau de satisfaction aux recommandations	281
4.3. Etalonnage.....	282
4.4. Calcul de la note d'audit	283
4.5. Calcul du facteur processus	284
5. Guide d'audit	285
5.1. Procédure d'audit.....	285
5.2. Identifier le périmètre de l'audit.....	286

5.3.	ISO 9001 et EN 9100.....	289
5.4.	Préparer l'audit.....	289
5.5.	Réalisation de l'audit.....	291
5.6.	Traiter l'information recueillie.....	291
5.7.	Présenter le résultat d'audit.....	291
5.8.	Principe de positionnement.....	292
5.9.	Profil des acteurs de l'audit.....	293

V Recommandations du guide de maîtrise et d'audit du Processus Fiabilité.....295

Tables des recommandations avec les pondérations.....296

Spécification.....	297
Conception.....	299
Fabrication carte ou sous-ensemble.....	303
Intégration équipement.....	309
Intégration système.....	315
Exploitation et maintenance.....	319
Activités support.....	322
Durcissement.....	325

Fiches détaillées des recommandations.....327

Annexes 495

Recommandations dans l'utilisation des composants DSM.....	496
--	-----

I

Présentation du Guide FIDES

1. Introduction

Le Guide FIDES, méthodologie globale d'ingénierie de la fiabilité en électronique, est constitué de deux parties :

- un guide d'évaluation prévisionnelle de la fiabilité,
- un guide de maîtrise et d'audit du processus fiabilité.

Les objectifs de ce guide sont d'une part de permettre une évaluation réaliste de la fiabilité des produits électroniques, y compris dans les systèmes qui rencontrent des environnements sévères ou très bénins (stockage), et d'autre part de fournir un outil concret pour la construction et la maîtrise de cette fiabilité.

Ses principales caractéristiques sont :

- L'existence de modélisations tant pour les composants Electriques, Electroniques, Electromécaniques que pour les cartes électroniques ou certains sous-ensembles,
- La mise en évidence et la prise en compte de tous les facteurs technologiques et physiques qui ont un rôle identifié dans la fiabilité,
- La prise en compte précise du profil de vie,
- La prise en compte des surcharges accidentelles électriques, mécaniques et thermiques (ou overstress),
- La prise en compte des défaillances liées aux processus de développement, de production, d'exploitation et de maintenance,
- La possibilité de distinguer plusieurs fournisseurs d'un même composant.

Au travers de l'identification des contributeurs à la fiabilité, qu'ils soient technologiques, physiques ou de processus, le Guide FIDES permet d'agir sur les définitions et dans tout le cycle de vie des produits pour améliorer et maîtriser la fiabilité.

2. Avertissement sur la méthodologie FIDES

Le consortium qui a élaboré la méthodologie FIDES est composé d'entreprises des domaines de l'aéronautique et de la défense. Ce consortium a été créé sous la tutelle de la Direction Générale de l'Armement (DGA).

La méthodologie FIDES est fondée sur la physique des défaillances et étayée par des analyses de données d'essais, de retours d'expérience et de modélisations existantes. Elle se distingue ainsi des méthodes antérieures développées principalement à partir d'exploitations statistiques de retours d'expérience.

Cette démarche permet d'éviter que les résultats de fiabilité prédits ne soient influencés par les domaines industriels des concepteurs de la méthodologie.

Après mise au point des modèles, la méthodologie a été calibrée à partir de l'expérience des membres du consortium, en particulier dans le cas des facteurs processus.

3. Terminologie

3.1. Acronymes

Acronyme	Définition
ABS	Anti-lock Braking System
AF	Acceleration Factor
AMDE	Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
ATA	Advanced Technology Attachment
BGA	Ball Grid Array
BICMOS	Bi-polar Complementary Metal Oxide Semiconductor
BOC	Board On Chip
BT	Bismaleimide Triazine
CAN	Convertisseur Analogique-Numérique
CBGA	Ceramic Ball Grid Array
CBIT	Continuous Built In Test
CDIP	Ceramic Dual In-line Package
CERDIP	CERamic Dual In-line Package
CGA	Column Grid Array
CLCC	Ceramic Leadless Chip Carrier
CMS	Composant Monté en Surface
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
COCISPER	COnception Circuits Intégrés Spécifiques et PERennité
COTS	Commercial Off-The-Shelf
CPGA	Ceramic Pin Grid Array
CPLD	Complex Programmable Logic Device
CPU	Central Processing Unit
CQFP	Ceramic Quad FlatPack
CRT	Cathode-Ray Tube
CSP	Chip Scale Package
CV	Capacitance-Voltage
DBGA	Dimpled Ball Grid Array
DC	Direct Current
DDR	Double Data Rate
DDV	Durée De Vie
DEL	Diode Electroluminescente
DFN	Dual-Flat No-leads
DGA	Direction Générale de l'Armement

DMA	Direct Memory Access
DPAK	Decawat PAcKage
DPDT	Double-Pole Double-Throw
DPST	Double-Pole Single-Throw
DRAM	Dynamic Random-Access Memory
DSP	Digital Signal Processor
DSM	Deep Sub Micron
DT	Double Travail
Ea	Energie d'activation
EEE	Electrique, Electronique, Electromécanique
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EIA	Electronic components Industry Association
EIDE	Enhanced Integrated Drive Electronics
EMC	Electromagnetic Compatibility
EOS	Electrical OverStress
ESD	Electro Static Discharge
FC	Flip Chip
FIT	Failure In Time
FLASH	Fast Low-Latency Access with Seamless Handoff
FMDS	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité
FPGA	Field Programmable Gate Array
FPROM	Field Programmable Read Only Memory
GEO	GEOsynchronous Satellite
GPS	Global Positioning System
GRMS	G Root Mean Square
HALT	Highly Accelerated Life Test
HAST	Highly Accelerated Stress Test
HBT	Heterojunction Bipolar Transistor
HF	HyperFréquence
HQFP	Heat-sinked Quad Flat Pack
HTGB	High Temperature Gate Bias
HTOL	High Temperature Operating Life
HTRB	High Temperature Reverse Bias
IBIT	Initiated Built-In Test
IEC	International Electrotechnical Commission
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor

ISO	International Organization for Standardization
JEDEC	Joint Electron Device Engineering Council
JFET	Junction gate Field-Effect Transistor
LCD	Liquid-Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
LEO	Low Earth Orbit
LGA	Land Grid Array
LQFP	Low profile Quad Flat Package
MCM	Multi Chip Module
MELF	Metal Electrode Leadless Face
MESFET	Metal Semiconductor Field Effect Transistor
MIL HDBK	MILitary HanDBookS
MPP	Maintenance Préventive Périodique
MSOP	Micro Small Outline Package
MTBF	Mean Time Between Failures
NAND	Not And
NO	Normalement Ouvert
NOR	Not Or
PAL	Programmable Array Logic
PBGA	Plastic Ball Grid Array
PBIT	Power up Built-In Test
PCB	Printed Circuit Board
PCT	Pressure Cooker Test
PDIP	Plastic Dual In-line Package
PEN	PolyEthylene Naphthalate
PET	PolyEthylene Terephthalate
PHEMT	Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor
PLCC	Plastic-Leaded Chip Carrier
PM	Part Manufacturing
PPGA	Plastic Pin Grid Array
PPS	Poly(P-phenylene Sulfide)
PQFP	Plastic Quad Flat Pack
PSD	Power Spectral Density
PTFE	PolytEtraFluoroEthylene
PTH	Plated-Through Holes
QFN	Quad Flat No-leads

QFP	Quad Flat Package
QSOP	Quarter-size Small-Outline Package
RDF	Recueil de Données de Fiabilité
RF	RadioFréquence
RH	Relative Humidity
ROHS	Restriction of Hazardous Substances
RQFP	Power Quad Flat Pack
SAS	Serial Attached Small computer system interface
SATA	Serial Advanced Technology Attachment
SBGA	Super Ball Grid Array
SCSI	Small Computer System Interface
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
SGRAM	Synchronous Graphics Random Access Memory
SIL	Single In-Line
SIP	System In a Package
SMD	Surface Mounted Device
SOIC	Small Outline Integrated Circuit
SOJ	Small-Outline J-leaded
SOL	Small Out Line
SOP	Small Outline Package
SPC	Statistical Process Control
SPDT	Single-Pole Double-Throw
SPST	Single-Pole Single-Throw
SQFP	Shrink Quad Flat Package
SRAM	Static Random Access Memory
SSOP	Shrink Small Outline Package
ST	Simple Travail
STANAG	STANdardization AGreement
STN	Super-Twisted Nematic
TBGA	Tape Ball Grid Array
TC	Temperature Cycling
TCY	Thermal CYcling
TFT	Thin Film Transistor
THB	Temperature Humidity Biased
TOS	Thermal OverStress
TQFP	Thin Quad Flat Pack

TSOP	Thin Small Outline Package
TSSOP	Thin-Shrink Small Outline Package
TTF	Time To Fail
TVS	Transient Voltage Suppression
TVSOP	Thin Very Small Outline Package
USB	Universal Serial Bus
UTE	Union Technique de l'Electricité
VGA	Video Graphics Array
VIP	Very Important Person
VQFP	Very small Quad Flat Package
VSOP	Very Small Outline Package
WLP	Wafer Level Packaging
ZIP	Zig-zag In-line Package

3.2. Définitions

Fiabilité

Aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

La fiabilité est généralement exprimée quantitativement par des caractéristiques appropriées. Dans certaines applications, l'une de ces caractéristiques est une expression de cette aptitude par une probabilité, appelée aussi fiabilité.

Mécanisme de défaillance

Ensemble des relations "cause-effet" d'un processus physique, chimique, ou autre qui relie la cause racine de la défaillance au mode de panne.

Mode de panne

Un des états possibles d'une entité en panne pour une fonction requise.

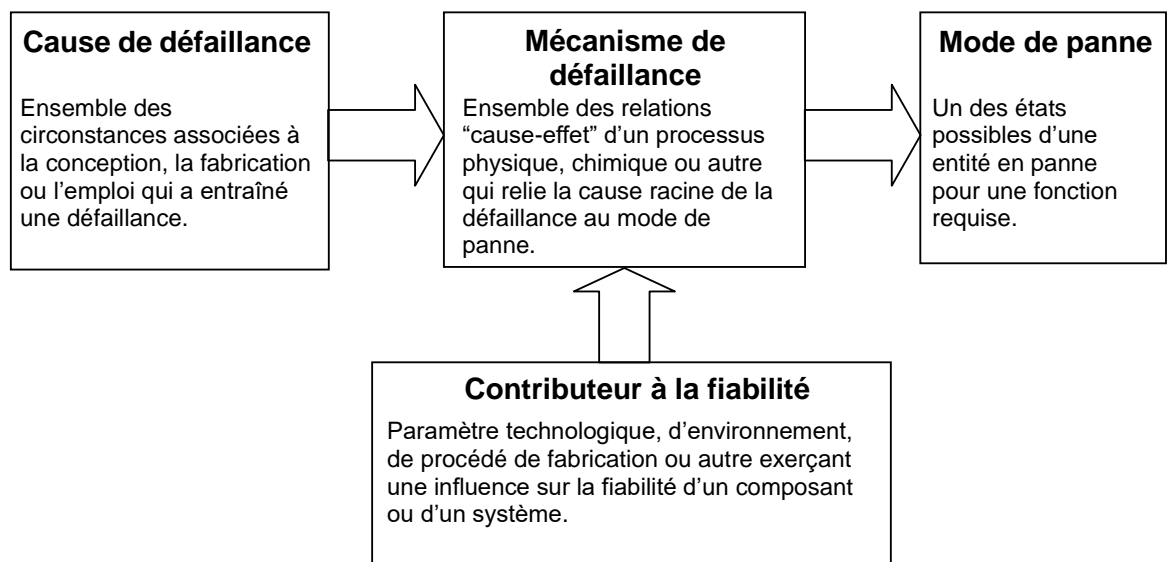
Cause de défaillance

Ensemble des circonstances associées à la conception, la fabrication ou l'emploi qui a entraîné une défaillance.

Contributeur à la fiabilité - Facteur influant pour la fiabilité

Paramètre technologique, d'environnement, de procédé de fabrication ou autre exerçant une influence sur la fiabilité d'un composant ou d'un système.

La logique qui sous-tend les définitions qui précèdent peut être résumée par le schéma suivant :



Système

Un ensemble d'équipements capables de réaliser ou de supporter un rôle opérationnel. Un système complet comprend tous les équipements, matériels, logiciels, services et personnels nécessaires pour son fonctionnement de manière à ce qu'il puisse se suffire à lui-même dans son environnement d'utilisation. Exemples : automobile, avion, micro-ordinateur.

Sous-système

Un ensemble d'équipements capables de réaliser une fonction opérationnelle d'un système. Le sous-système est une subdivision majeure du système. Le sous-système est souvent lui-même dénommé système. Exemple : système ABS d'une automobile, système GPS d'un avion.

Équipement

Terme désignant un groupe d'articles capables de réaliser une fonction complète. Exemple : calculateur du système ABS, moniteur du système GPS.

Sous-ensemble

Terme désignant un article ou un groupe assemblé d'articles capables de réaliser une fonction de l'équipement. Exemple : carte électronique d'un calculateur, disque dur.

Composant électronique

Terme désignant un élément destiné à être assemblé avec d'autres afin de réaliser une ou plusieurs fonctions électroniques. Exemple : transistor, résistance. Cette définition englobe également le circuit imprimé (ou PCB).

Produit

Dans ce guide, désigne l'entité assemblée dont la fiabilité est étudiée. Généralement un équipement.

Article

Dans ce guide, désigne une entité élémentaire, non décomposée, dont il est possible d'étudier la fiabilité. Désigne un composant ou un sous ensemble.

4. Références

IEC 60050 (191) A1 (1999-03)

Vocabulaire électrotechnique - Chapitre 191 : sûreté de fonctionnement et qualité de service

MIL-HDBK-217F (+ notice 1 et 2)

Reliability prediction of electronic equipment

UTE C 80-810

RECUEIL DE DONNEES DE FIABILITE : RDF 2000 - Modèle universel pour le calcul de la fiabilité prévisionnelle des composants, cartes et équipements électroniques

IEC 61709

Composants électroniques - Fiabilité - Conditions de référence pour les taux de défaillances et modèles d'influence des contraintes pour la conversion

IEC 62308:2006

Fiabilité de l'équipement - Méthodes d'évaluation de la fiabilité

SSB-1.003

EIA Engineering Bulletin - Acceleration Factors - November 1999 and September 2002

JEDEC JEP122C

Failure Mechanisms and Models for Semiconductor Devices

5. Champ d'application

5.1. Domaines d'application

La méthodologie FIDES est applicable à l'ensemble des domaines utilisant l'électronique :

- Aéronautique,
- Naval,
- Militaire,
- Production et distribution de l'électricité,
- Automobile,
- Ferroviaire,
- Spatial,
- Industriel,
- Télécommunications,
- Informatique, domotique, électroménager,
- Et cetera.

5.2. Couverture des modèles

La méthodologie FIDES modélise les défaillances ayant des origines intrinsèques aux articles étudiés (technologie ou qualité de fabrication et de distribution de l'article) et extrinsèques (spécification et conception de l'équipement, sélection de la filière d'approvisionnement, production et intégration équipement).

Sont prises en compte par la méthodologie :

- Les pannes issues d'erreurs de développement ou de fabrication,
- Les surcharges accidentelles (électriques, mécaniques, thermiques) liées à l'application et non répertoriées comme telles par l'utilisateur (l'occurrence de la surcharge est restée cachée).

Les défaillances non traitées par la méthodologie sont :

- Les défaillances d'origine logicielle,
- Les pannes non confirmées,
- Les défaillances liées à des opérations de maintenance préventive non effectuées,
- Les défaillances liées à des agressions accidentelles lorsqu'elles sont identifiées ou avérées (propagations de pannes, utilisations hors spécifications, mauvaises manipulations : l'occurrence de la surcharge est connue).

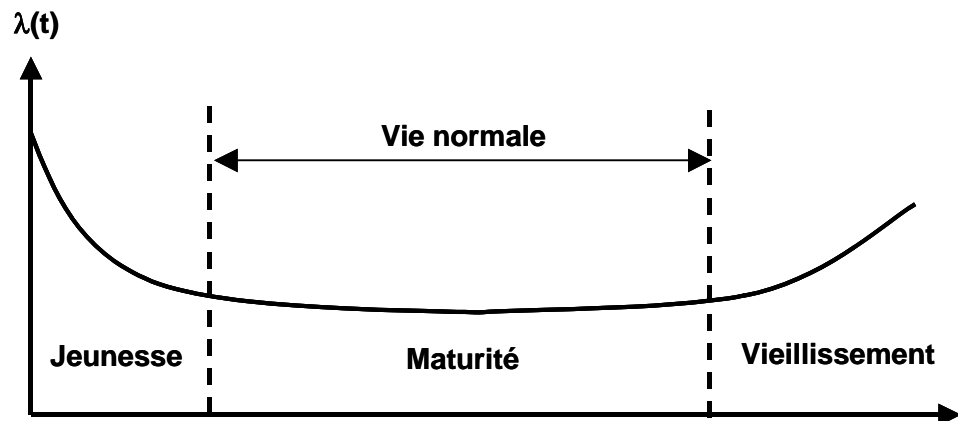
La méthodologie FIDES permet de traiter les phases de non fonctionnement, qu'il s'agisse des périodes dormantes entre les utilisations ou du stockage proprement dit.

5.3. Nature de la prédiction

5.3.1. Cas général

Les prévisions de fiabilité données par la méthodologie FIDES sont des taux de défaillance, notés λ .

L'observation expérimentale montre que l'évolution du taux de défaillance en fonction du temps est en général représentée par la courbe suivante dite "courbe en baignoire".



La vie d'un produit peut donc être divisée en trois périodes :

- Période de jeunesse, défaillances précoces,
- Période de vie utile, taux de défaillance sensiblement constant,
- Période de vieillesse, défaillances d'usure.

Lors de la période de jeunesse, le taux de défaillance diminue. La fiabilité du produit croît avec le temps. C'est la période où les défaillances sont dues à des problèmes de mise en place des procédés et au déverminage de la conception et des composants.

La période de vie utile est représentée par un taux de défaillance constant. Le taux de défaillance est indépendant de l'âge du produit (ces pannes sont souvent qualifiées d'aléatoires pour cette raison). Cette période, souvent inexistante pour la mécanique, est celle de référence pour l'électronique.

Lors de la période de vieillesse, la fiabilité décroît avec le nombre d'heures de fonctionnement : plus le produit est vieux, plus il est probable d'avoir une défaillance. Ce type de comportement est caractéristique des articles soumis à usure ou autres détériorations progressives. Cela correspond à des taux de défaillance croissants.

Le modèle d'évaluation FIDES propose une évaluation de la fiabilité à taux de défaillance constant (en fait, à taux de défaillance moyen). Les périodes de jeunesse et de vieillesse sont exclues de la prévision (avec un cas particulier pour certains sous-ensembles). Cela pour les raisons suivantes :

- Tout d'abord, la période de jeunesse est représentative de la mise au point d'un équipement ou d'un système. La maîtrise de la croissance de fiabilité pendant cette phase est une étape cruciale pour l'obtention rapide d'une bonne fiabilité.
- La période de vieillesse est également exclue de FIDES car elle est en principe suffisamment lointaine par rapport à la durée de vie utile des systèmes électroniques que couvre FIDES. Cependant, la vérification de cette hypothèse lors de la conception d'un produit est un point clé. Dans le cas d'articles à durée de vie insuffisante, d'autres approches que la seule fiabilité prévisionnelle doivent traiter cet aspect, comme par exemple la définition de maintenances préventives.
- Il est certain qu'au niveau microscopique très peu de mécanismes de défaillance répondent strictement à une loi d'apparition de type "taux constant". Cependant :
 - Beaucoup de mécanismes de défaillance bien que cumulatifs, donc croissants dans le temps, ont une telle dispersion qu'ils sont assimilables à une constante sur les périodes considérées,
 - La multiplicité et la diversité des composants, même sur une seule carte, vont conduire à un cumul des taux de défaillance proche d'une constante,
 - Les différences d'âge entre les équipements d'un même système ou d'un parc conduisent à l'obtention d'un taux constant pour l'observateur de niveau système.

Pour ces raisons, l'utilisation d'un taux de défaillance constant reste l'approche la plus pertinente pour l'estimation de la fiabilité prévisionnelle d'un système.

La physique des défaillances est employée dans certains cas pour prédire des valeurs probabilistes de durée de vie (Time To Fail). Ce type de prédiction est complémentaire à la prédiction de fiabilité, mais ne peut pas la remplacer.

5.3.2. Défaillance liées au vieillissement dans le cas des sous-ensembles

Pour les composants électroniques, dans la majorité des cas, la durée de vie est suffisamment grande devant la période d'utilisation opérationnelle et son impact est donc négligeable (rappel : la vérification de cette hypothèse lors de la conception d'un produit est un point clé). Mais ce n'est plus le cas, par exemple, lorsque des phénomènes d'usures liés à des pièces mécaniques en mouvement se présentent.

Dans le cas de certains sous-ensembles dont la durée de vie peut être plus courte que celle du système complet, les défaillances liées à du vieillissement peuvent avoir une contribution non négligeable à la fiabilité. Une modélisation particulière est proposée pour ces cas-là.

5.4. Confiance dans la prédiction

Les évaluations réalisées suivant la méthodologie FIDES visent à donner des valeurs réalistes des niveaux de fiabilité, proches des valeurs moyennes couramment observées (par opposition à des valeurs pessimistes ou prudentes).

Une question primordiale à l'issue d'une estimation de fiabilité prévisionnelle est de savoir quelle confiance lui accorder. Cette question est d'autant plus importante que les utilisateurs n'ont pas confiance dans les résultats bruts fournis par les méthodologies antérieures et que la maîtrise de la fiabilité (quantification et ingénierie) dans les projets est devenue essentielle.

L'un des objectifs du projet FIDES est de construire cette confiance. Cependant, l'exactitude de la prédiction n'est pas la seule finalité de la méthodologie FIDES. L'identification et la maîtrise des facteurs influant sur la fiabilité peuvent être considérées comme des objectifs plus importants encore.

En règle générale, une estimation ponctuelle de fiabilité prévisionnelle ne peut pas être assortie d'un intervalle de confiance comme il est possible de le faire lors d'une mesure du taux de défaillance à partir d'un retour d'expérience. Dans le cas de FIDES, s'il serait éventuellement possible de calculer un intervalle de confiance sur certains taux de défaillance de base mais il est pratiquement impossible d'estimer la confiance dans tous les paramètres d'ajustement, même lorsqu'il s'agit de lois d'accélération physiques connues et largement utilisées.

Il est important de garder en considération que la fiabilité est une notion probabiliste.

La représentativité de la prédiction augmente avec le nombre d'articles considérés. Les prédictions ne sont en général pas applicables au niveau d'un article seul. Il est recommandé de se placer au moins à un niveau équipement (ensemble de cartes électroniques).

Note : L'utilisation dans les modèles de valeurs numériques comprenant plusieurs chiffres significatifs n'est pas une indication sur la précision attendue des résultats.

Dans tous les cas, la comparaison entre une fiabilité prévisionnelle et une fiabilité mesurée par retour d'expérience est une démarche délicate, car la mesure de fiabilité en service présente elle aussi des incertitudes. Ces incertitudes sont liées par exemple :

- A l'évolution de la fiabilité dans le temps,
- A la méconnaissance de la vie réelle du produit,
- Au filtrage des pannes entre pannes imputables au produit et pannes non imputables au produit,
- Aux cas des effets de lots, dont la prise en compte pour le calcul de fiabilité est délicate.

Un prérequis pour la comparaison entre une fiabilité prévisionnelle et une fiabilité mesurée par retour d'expérience est en tout cas de s'assurer que le profil de vie effectivement vécu par le produit est bien suffisamment proche de celui utilisé pour faire la prévision. Sinon, la comparaison porte sur la sévérité relative des deux profils de vie (prévisionnel et réel) et pas sur la fiabilité elle-même.

L'une des caractéristiques de la méthode FIDES est de considérer que les pannes sont en très grande partie la conséquence des situations de vie rencontrées par le produit. La confiance dans la prévision de fiabilité ne peut donc en aucun cas être meilleure que la confiance dans la prévision de ce que sera la vie du produit.

5.5. Articles couverts

La méthodologie FIDES couvre les articles allant du composant électronique élémentaire au module ou sous-ensemble électronique à fonction bien définie. La couverture des familles d'articles par FIDES n'est pas exhaustive. Cependant, la couverture est largement suffisante pour permettre une évaluation représentative de la fiabilité dans la majorité des cas.

La méthodologie s'applique aux COTS (pour lesquels elle a été initialement développée) mais aussi aux articles spécifiques dans la mesure où leurs caractéristiques techniques correspondent à celles décrites dans ce guide.

L'acronyme COTS (Commercial Off-The-Shelf) désigne tout article acheté sur catalogue, disponible sur le marché domestique ou étranger, selon une référence fournisseur, et pour lequel le client n'a aucune maîtrise de la définition, ni de la production. Cet article peut être modifié, arrêté de fabrication, arrêté de maintenance sans que le client ne puisse s'y opposer. Un seul fournisseur ou plusieurs fournisseurs peuvent exister pour un même article.

Les COTS traités dans FIDES sont :

- Des composants tels que des circuits intégrés, des circuits discrets actifs ou des composants passifs,
- Des sous-ensembles tels que des disques durs ou des écrans,
- Des cartes COTS assemblées.

II

Guide d'évaluation prévisionnelle de la fiabilité

1. Présentation des modèles

1.1. Origines des données de fiabilité

Les données utilisées pour la construction des modèles proviennent :

- de bases de données d'analyses de défaillances du domaine des systèmes d'armes et du domaine aéronautique civil,
- de données de fiabilité des fabricants de composants et de sous-ensembles,
- de recueils de fiabilité existants lorsque cela était pertinent et exploitable.

Ces données ont permis de développer et de calibrer les modèles selon trois méthodes :

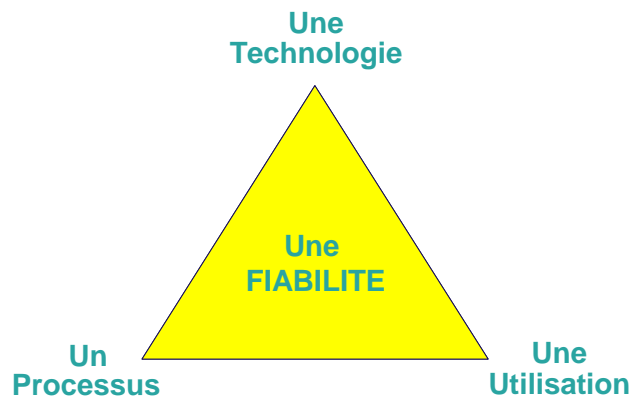
Méthode 1 : Utilisation des bases de données opérationnelles (aéronautiques et militaires) sur les mécanismes de défaillances.

Méthode 2 : Utilisation des données d'essais fabricants de composants et sous-ensembles (essais environnementaux, données technologiques...).

Méthode 3 : Utilisation de données mixtes (données fabricants, retours d'expérience, résultats d'essais). Cette méthode permet principalement de construire les modèles des sous-ensembles.

1.2. Approche FIDES

L'approche fiabilité de FIDES est basée sur la prise en compte des trois composantes Technologie, Processus et Utilisation. Ces composantes sont considérées pour l'ensemble du cycle de vie depuis la phase de spécification du produit jusqu'à la phase d'exploitation et de maintenance.



La Technologie couvre aussi bien celle de l'article lui-même que celle de son intégration dans le produit.

Le Processus considère toutes les pratiques et règles de l'art depuis la spécification du produit jusqu'à son remplacement.

L'Utilisation prend en compte à la fois les contraintes d'emploi définies par la conception du produit et celles en exploitation chez l'utilisateur final.

Les modèles considèrent donc une Technologie face à des contraintes d'Utilisation selon une approche mécanismes de défaillances et contributeurs associés, et surtout pondèrent le risque de défaillance par l'ensemble des contributeurs Processus pouvant activer, accélérer ou minorer ces mécanismes.

1.3. Méthode complète et méthode simplifiée

L'évaluation de la fiabilité est possible avec différents niveaux de finesse pour s'adapter au déroulement des projets :

- Méthode détaillée, la plus complète,
- Méthode simplifiée de comptage fiabilité par types d'articles.

La méthode de comptage fiabilité par types d'articles est dérivée de la méthode détaillée complète. Tous les modèles généraux s'appliquent de la même manière aux deux méthodes qui ne diffèrent que par le niveau d'information sur le produit qu'il est nécessaire de traiter.

1.4. Données d'entrée génériques

Les données d'entrée sont, de manière générique :

Les données sur les environnements et les conditions d'emploi du produit.

Ce sont typiquement :

- Température de fonctionnement,
- Amplitude et fréquence des cycles thermiques,
- Niveau vibratoire,
- Humidité relative,
- Niveau de pollution ambiante,
- Exposition aux surcharges accidentelles (type d'application).

Ces données sont à décliner pour chacune des phases de vie du produit. La finesse de la description du profil de vie du produit au sein d'un système opérationnel conditionne la précision de l'évaluation de fiabilité. Aussi, cette étape de l'analyse prévisionnelle devra être menée avec le plus grand soin.

Les données sur la définition du produit.

Ce sont typiquement :

- Nomenclatures,
- Caractéristiques techniques ou technologiques des articles issues des fiches de données des constructeurs.

Les renseignements liés à l'application sont à évaluer pour chaque phase du cycle de vie :

- Niveaux de contrainte ou de charge des articles (puissances dissipées, stress en tension...),
- Aggravations (ou améliorations) locales de température ou d'un autre paramètre d'environnement.

En pratique ces données sont souvent constantes ou supposées constantes pour toutes les phases de fonctionnement, mais ce n'est pas toujours le cas.

Les données sur le cycle de vie du produit.

Ces données doivent être collectées au moyen d'un audit du processus. Cet audit porte sur la maîtrise de la fiabilité. Cet audit couvre les phases de spécification, conception, fabrication carte, intégration équipement, intégration système, exploitation et maintenance du produit ainsi que les activités transverses. Bien entendu la rigueur et la profondeur de cet audit sont à mettre en adéquation avec le niveau de fiabilité recherché.

Les données sur les fournisseurs des articles utilisés dans le produit.

Ces données proviennent du fournisseur de l'article et de la connaissance qu'a l'industriel de son fournisseur.

1.5. Modèle Général

Le modèle général de fiabilité FIDES d'un article se base sur l'équation ci-dessous :

$$\lambda = (\Sigma_{Contributions_physiques}) \times (\Pi_{Contributions_processus})$$

Où :

- λ est le taux de défaillance de l'article.
- $\Sigma_{Contributions_physiques}$ représente un terme de construction principalement additive, qui représente les contributions physiques et technologiques à la fiabilité.
- $\Pi_{Contributions_processus}$ représente un terme multiplicatif qui représente l'impact du processus de développement, de production et d'exploitation sur la fiabilité.

En pratique, cette équation devient :

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Où :

- $\lambda_{physique}$ représente la contribution physique.
- Π_{PM} (PM pour Part Manufacturing) traduit la qualité et la maîtrise technique de fabrication de l'article.
- $\Pi_{Process}$ traduit la qualité et la maîtrise technique du processus de développement, de fabrication et d'utilisation du produit contenant l'article.

1.6. Profil de vie et unité de temps

Les taux de défaillance prédits par la méthodologie FIDES sont des taux de défaillance horaires, exprimés par heure calendaire et basés sur la prise en compte d'un profil de vie annuel.

Le taux de défaillance de chaque phase est pondéré par la durée de la phase :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{T_{\text{phase}_i}}{T_{\text{Total}}} \cdot \lambda_{\text{phase}_i} \right)$$

Avec

- λ_{phase_i} la contribution de la phase i au taux de défaillance total,
- T_{phase_i} la durée de la phase i,
- T_{Total} la durée totale du profil de vie.

Les taux de défaillances prédits sont exprimés en FIT (1 FIT vaut 10^{-9} défaillances par heures).

Remarques :

- Il ne s'agit donc pas de taux de défaillance exprimés par heure de fonctionnement et pour cette raison (entre autres) les taux de défaillance prédits par la méthodologie FIDES ne peuvent pas être comparés directement à des résultats issus d'approches différentes,
- Si le profil de vie est défini sur une année, T_{Total} vaut 8760 h.

L'usage généralisé du "FIT calendaire" comme unité de mesure du taux de défaillance permet au responsable fiabilité de se constituer une référence fixe pour la comparaison des valeurs de taux de défaillance. De plus, lorsque le type de produit est suffisamment connu, le taux de défaillance devient également une indication de la sévérité du profil de vie.

Malgré la meilleure universalité du taux de défaillance exprimé en FIT calendaire, il faut parfois présenter le taux de défaillance sous la forme de "MTBF en heure de mission". Ce calcul consiste à imputer toutes les pannes aux heures où le produit est réputé "en mission". A partir du taux de défaillance calendaire, le taux de défaillance en mission se calcule comme suit :

$$\lambda_{\text{Mission}} = \lambda_{\text{Calendaire}} \times \frac{\text{Durée calendaire}}{\text{Durée en mission}}$$

1.7. Taux de défaillance d'un produit électronique

Le modèle général FIDES permet le calcul du taux de défaillance d'un produit électronique avant toute considération de redondance ou d'architecture.

Le taux de défaillance global du produit électronique (en général un équipement) s'obtient en faisant la somme de l'ensemble des taux de défaillance de chacun des éléments le constituant.

$$\lambda_{Produit} = \left(\sum_{Article} \lambda_{Article} \right)$$

Ou, sous une autre forme :

$$\lambda_{Produit} = \left(\begin{array}{l} \sum_{Composants} \lambda_{Composants} \\ + \sum_{PCB} \lambda_{PCB} \\ + \sum_{Cartes\ COTS} \lambda_{Cartes\ COTS} \\ + \sum_{Sous-ensembles_autres} \lambda_{Sous-ensembles_autres} \end{array} \right)$$

1.8. Contributeurs physiques et technologiques $\lambda_{\text{Physique}}$

La contribution physique se décompose elle-même en différentes sous-contributions selon le modèle ci-dessous :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \left[\sum_{\text{Contributions physiques}} (\lambda_0 \times \Pi_{\text{Accélération}}) \right] \times \Pi_{\text{Induit}}$$

Où :

- Le terme entre crochets représente la contribution des contraintes nominales d'utilisation.
- Π_{Induit} représente la contribution des facteurs induits (aussi appelés surcharges accidentelles ou overstress) inhérents à un domaine d'application.

1.8.1. Contraintes réelles appliquées

Cet élément du modèle général englobe le taux de défaillance de base attribué à l'article, la contribution liée aux caractéristiques de la technologie employée, ainsi que les facteurs d'accélération permettant d'affecter à l'article les contraintes physiques qu'il subit lors de son utilisation opérationnelle.

$$\lambda_{\text{physique}} = \left[\sum_{\text{Contributions physiques}} (\lambda_0 \times \Pi_{\text{Accélération}}) \right] \times \Pi_{\text{Induit}}$$

Où :

- λ_0 est le taux de défaillance de base de l'article,
- $\Pi_{\text{Accélération}}$ est un facteur d'accélération traduisant la sensibilité aux conditions d'utilisation.

La prise en compte des caractéristiques technologiques d'un article se fait :

- Soit directement par le choix du λ_0 ,
- Soit par la présence de paramètres dans l'expression du $\Pi_{\text{Accélération}}$.

Ces facteurs, et en particulier le facteur $\Pi_{\text{Accélération}}$, sont déclinés pour chaque contrainte physique. Est appelée contrainte physique toute contrainte normalement appliquée au produit lors de son utilisation opérationnelle, y compris pour les aspects relevant de la conception. Les contraintes physiques sont regroupées en différentes familles :

- Thermique : $\Pi_{\text{Thermique}}$
- Electrique : $\Pi_{\text{Electrique}}$
- Cyclage thermique : Π_{TCy}
- Mécanique : $\Pi_{\text{Mécanique}}$
- Humidité : Π_{RH}
- Chimique : Π_{Chimique}

Les contributions de ces contraintes physiques sont en général additives. Pour certaines familles d'articles les contributions thermiques et électriques sont conjointes : $\Pi_{\text{Thermo-électrique}}$.

1.8.2. Surcharges accidentelles : Π_{Induit}

Les facteurs induits considérés sont d'origine mécanique (MOS), électrique (EOS) et thermique (TOS).

Le facteur Π_{Induit} représente la contribution des surcharges accidentelles non répertoriées comme telles. Il se calcule pour chacune des phases « i » du profil de vie.

Il est de la forme suivante :

$$\Pi_{\text{induit}_i} = (\Pi_{\text{Placement}_i} \times \Pi_{\text{Application}_i} \times \Pi_{\text{Durcissement}})^{0,511 \times \text{Ln}(C_{\text{Sensibilité}})}$$

- $\Pi_{\text{Placement}}$ traduit l'influence du placement de l'article dans l'équipement ou le système. Le placement désigne ici la position de l'article ou la fonction dans laquelle il est intégré (interface ou non en particulier).
- $\Pi_{\text{Application}}$ traduit l'influence de l'environnement d'utilisation de l'application du produit contenant l'article. A titre d'exemple, l'exposition à un overstress mécanique est a priori plus importante dans une électronique intégrée dans un système mobile que dans un système à poste fixe. Ce facteur est variable en fonction de la phase du profil de vie.
- $\Pi_{\text{Durcissement}}$ traduit l'influence de la politique de prise en compte des overstress dans le développement du produit.
- $C_{\text{Sensibilité}}$ représente le coefficient de sensibilité aux overstress inhérent à la technologie de l'article considéré.
- i est l'indice de la phase considérée.

La plage de variation théorique du facteur Π_{Induit} est de 1 (pour le meilleur cas) à 100. Cependant, seule une partie réduite de cette plage est atteinte en pratique, les cas extrêmes n'étant jamais rencontrés simultanément.

1.9. Contributeurs processus

1.9.1. Le facteur fabrication composant

Le facteur Π_{PM} (PM pour Part Manufacturing) est un facteur représentatif de la qualité de l'article. La méthode d'évaluation se décline selon la nature de l'article considéré (composant électronique EEE, cartes assemblées, autres sous-ensembles).

Il est de la forme :

$$\Pi_{PM} = e^{\delta_1 \times (1 - Part_Grade) - \alpha_1}$$

avec:

$$Part_Grade = \left\lfloor \frac{(AQ_{Fabricant} + AQ_{Article} + AF_{Composant}) \times \varepsilon}{36} \right\rfloor$$

La méthode d'évaluation prend en compte des critères d'assurance qualité du fabricant ($AQ_{Fabricant}$), d'assurance qualité de l'article ($AQ_{Article}$) et également l'expérience que l'acheteur de l'article peut avoir de son fournisseur (ε).

δ_1 et α_1 sont des facteurs de corrélation qui déterminent l'amplitude de l'impact du Π_{PM} sur la fiabilité de l'article et permettent d'obtenir des résultats contenus dans l'intervalle requis.

$$\begin{cases} \delta_1 = \ln(Min) \\ \alpha_1 = \ln(Max) \end{cases}$$

Pour les composants actifs, le principe d'évaluation du facteur Π_{PM} prend également en compte les essais de qualification et de suivi périodique de fiabilité tant au niveau du boîtier que de la partie active : assurance fiabilité composant, $AF_{Composant}$. Ces données se trouvent notamment dans les rapports de fiabilité (Reliability Reports) et les résultats d'audits.

La plage de variation du facteur Π_{PM} est de 0,5 (fournisseur supérieur à l'état de l'art) à 2 (le pire cas).

En l'absence d'évaluation du Π_{PM} , il est proposé une valeur par défaut de 1,7 pour les composants actifs et de 1,6 pour les autres composants, les cartes COTS et les sous-ensembles divers. L'utilisation de la valeur par défaut peut nuire à la précision des résultats finaux.

1.9.2. Le facteur $\Pi_{Process}$

Le facteur $\Pi_{Process}$ est un facteur représentatif de la qualité et de la maîtrise technique de la fiabilité dans le cycle de vie du produit.

Il a pour objectif d'évaluer globalement la maturité de l'industriel sur sa maîtrise de son processus d'ingénierie fiabilité.

Il est de la forme :

$$\Pi_{Process} = e^{\delta_2 \times (1 - Process_Grade)}$$

Où le *Process_grade* est la note reflétant cette maîtrise processus, et δ_2 un facteur de corrélation qui détermine la plage de variation du facteur $\Pi_{Process}$.

La méthode d'évaluation se base sur le niveau d'application de recommandations qui portent sur l'ensemble du cycle de vie. Le cycle de vie du produit est décomposé comme suit :

1. Spécification,
2. Conception,
3. Fabrication carte ou sous-ensemble (fabrication),
4. Intégration équipement (fabrication),
5. Intégration système (fabrication),
6. Exploitation et maintenance.

A ces six phases qui constituent un enchaînement temporel ont été adjointes un ensemble d'activités transverses :

7. Activités de support telles que qualité et ressources humaines.

Les recommandations ne prétendent pas être exhaustives, mais correspondent plus à un échantillonnage représentatif des bonnes pratiques pour l'amélioration de la fiabilité finale des produits.

La plage de variation du facteur $\Pi_{Process}$ est de 1 (pour le meilleur processus) à 8 (pour le pire processus).

En l'absence d'évaluation du $\Pi_{Process}$, il est proposé une valeur par défaut de 4,0. L'utilisation de la valeur par défaut peut nuire à la précision des résultats finaux.

1.9.3. Remarque sur l'approvisionnement

L'approvisionnement d'un article correspond à une phase de vie située entre la sortie de l'usine de fabrication de l'article jusqu'au moment de son assemblage dans le produit (par exemple report sur une carte).

Dans les modèles FIDES il n'y a pas de facteur spécifique à l'approvisionnement.

L'influence sur la fiabilité de la phase d'approvisionnement est reconnue comme dépendant de :

- la politique d'achat de l'entreprise,
- la politique de sélection de l'article (études technologiques réalisées en amont),
- la politique de stockage, de déverminage, de manipulation et contrôle de l'article.

Ces points sont concrétisés dans des recommandations dépendantes des phases du cycle de vie : *support*, *conception*, et *fabrication carte* (recommandations dont l'effet est considéré dans l'évaluation du Π_{Process}) et dans le choix du facteur ε du Π_{PM} .

La politique d'approvisionnement a aussi une influence indirecte sur les autres paramètres du Π_{PM} .

2. Profils de vie

2.1. Principes de construction du profil de vie

2.1.1. Généralités

L'élaboration du profil de vie pour une prévision de fiabilité nécessite de se questionner sur ce qui va causer les pannes du produit durant sa vie. Il s'agit d'une démarche d'ingénierie de la fiabilité. Elle est cruciale pour les évaluations de fiabilité car elle conditionne totalement la fidélité des prévisions.

Les modèles FIDES ont été conçus pour être sensibles aux contributeurs physiques. Lors de la construction du profil de vie, le fait de choisir des valeurs majorantes ou sévères par prudence conduit à enlever une grande part de la valeur prévisionnelle du résultat.

Le niveau de détail et de précision de la description du profil de vie peut être limité au niveau de précision avec lequel il est possible de prévoir la vie du produit.

2.1.2. Description générale du profil de vie

Pour en permettre la meilleure utilisation, le profil de vie doit d'abord être convenablement décrit d'un point de vue qualitatif.

Il convient en particulier d'identifier :

- Le type précis de plate-forme lorsque le produit est intégré dans un système,
- L'emplacement dans la plate-forme le cas échéant,
- La région géographique ou climatique considérée,
- Le type d'emploi.

Un maître d'ouvrage ou un maître d'œuvre doit construire un profil de vie de niveau système, par opposition à un profil de niveau équipement. Un profil de vie de niveau équipement est la déclinaison à un équipement d'un profil de vie système. Le profil de vie équipement doit prendre en compte les conditions locales internes à l'équipement et qui ne sont pas généralisables : les élévations de températures liées à l'équipement lui-même, l'amortissement ou l'amplification du niveau vibratoire, d'éventuelles mesures dessicatives, et cetera.

2.1.3. Choix des phases

Le choix des phases doit permettre de décrire aussi complètement que possible les différentes situations d'emploi.

Pour permettre une bonne compréhension d'un profil de vie complexe il peut être utile qu'un paragraphe descriptif soit consacré à chaque phase. Au moins, pour la bonne compréhension, il est indispensable de donner un titre clair à chaque phase.

Il faut distinguer une phase spécifique chaque fois que les conditions environnementales changent significativement au niveau des contraintes rencontrées. Dans cette démarche il faut également prendre en compte le questionnaire sur l'application (relatif au facteur induit).

L'identification des situations d'emploi doit d'abord se faire au niveau du système et pas au niveau de l'équipement électronique. En effet, des changements de situation au niveau du système ont généralement un impact au niveau de l'équipement.

Le profil de vie de niveau équipement comprend a priori au moins autant de phases que le profil de vie de niveau système. Il est aussi possible que des changements puissent se produire au niveau de l'équipement alors qu'il n'y a pas de changement notable au niveau du système. Dans ce cas le profil de vie de niveau équipement distinguera plus de phases que le profil de vie système.

Il n'y a pas de méthode universelle pour le découpage en phases. Il est souvent pertinent de procéder par l'analyse des "journées types" d'utilisation du produit.

Dans certains cas il peut être utile de distinguer les saisons (un exemple est donné dans le profil de vie Hélicoptère VIP).

2.2. Durée des phases

Le profil de vie peut être construit sur la durée T_{Total} qui permet le plus facilement d'exprimer les caractéristiques des phases qui le composent. Il peut être intéressant de construire le profil de vie sur la durée de vie opérationnelle du produit.

Il est recommandé, si cela est possible sans perdre d'information, de construire les profils de vie avec une durée totale de 1 an, soit 8760 heures. Dans le cas de la méthode FIDES, toutes les heures sont prises en compte : 24 heures par jour, 730 heures par mois (en moyenne), 8760 heures par an ; pour clarifier le terme "heure calendaire" est employé.

L'objectif est de produire des taux de défaillance exprimés en FIT calendaire (1 FIT représente une défaillance par 10^9 heures), dont l'usage est le plus large possible. Ce choix est recommandé par opposition à l'emploi de taux de défaillance exprimés "par heure de fonctionnement" ou "par heure de mission", qui peuvent être trompeurs.

La durée des phases doit être exprimée en heures.

Les durées doivent être choisies pour décrire de la façon la plus réaliste possible l'activité du produit.

2.3. Domaines d'applicabilité

Pour chacun des contributeurs physiques traités par la méthode FIDES, il est proposé un domaine d'applicabilité. Les contributeurs physiques concernés sont :

- Température,
- Cyclage thermique,
- Humidité,
- Vibration.

De façon générale la prévision de fiabilité n'est applicable que dans le domaine d'environnement pour lequel le composant est qualifié. La qualification d'un composant à un environnement donné peut soit être garantie par le fournisseur soit obtenue par d'autres moyens. Dans tous les cas c'est un pré-requis.

Les domaines d'applicabilité proposés sont définis sur une base théorique. Le fait d'utiliser la méthodologie à l'intérieur de ces domaines ne constitue pas une garantie sur

le résultat. De plus, même à l'intérieur du domaine d'applicabilité, le réalisme des prévisions faites avec la méthode FIDES pourrait se dégrader pour des conditions d'environnement les plus éloignées des conditions de références.

2.4. Température (contraintes thermique et thermoélectrique)

2.4.1. Physique des défaillances et modélisation

La loi d'Arrhenius est utilisée pour modéliser l'accélération apportée par la température à certains mécanismes de défaillance.

Le facteur d'accélération s'écrit :

$$AF = e^{\frac{E_a}{K_B} \times \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

Avec :

- AF : facteur d'accélération,
- E_a : énergie d'activation,
- K_B : constante de Boltzmann = $8,617 \cdot 10^{-5}$ eV/K,
- T_1 : température de référence,
- T_2 : température d'applications.

La prise en compte des mécanismes de défaillance activés par le fonctionnement électrique des composants se fait souvent en prenant en compte la dissipation thermique dans le calcul de la température d'application (par exemple température de jonction pour les composants actifs) et en ajoutant dans le modèle le ratio de la tension d'utilisation sur la tension nominale. Le facteur d'accélération devient par exemple :

$$AF = \left(\frac{1}{S_{Référence}} \times \frac{V_{Appliquée}}{V_{Nominale}} \right)^p \times e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{273+T_0} - \frac{1}{273+T_{Ambiante}} \right]}$$

Avec :

- $T_{Ambiante}$: la température d'utilisation,
- T_0 : la température de référence,
- $V_{Appliquée}$: tension d'utilisation,
- $V_{Nominale}$: tension nominale,
- $S_{Référence}$: niveau de référence pour la contrainte électrique (stress),
- p : puissance accélératrice pour la contrainte électrique,
- La valeur de l'énergie d'activation E_a est fonction de la technologie considérée.

Nota : 11604 est une approximation de $\frac{1}{K_B}$.

2.4.2. Conditions de référence

Les conditions de références sont :

- Une température T_0 de 20°C,
- Un niveau de contrainte électrique défini en fonction des technologies lorsque nécessaire.

2.4.3. Domaine d'applicabilité

La prédiction de fiabilité n'est applicable que dans la gamme pour laquelle le composant est qualifié. La gamme théorique de température pour laquelle le Guide FIDES est applicable est : $-55^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{ambiante}} \leq +125^{\circ}\text{C}$.

2.4.4. Quantification des paramètres

Les données d'entrée sont, pour chaque phase considérée :

- La température ambiante T ($^{\circ}\text{C}$),
- L'état de fonctionnement ou non (dans la plupart des cas la contrainte thermique est annulée en non-fonctionnement).

Même si c'est un facteur commun avec les méthodes antérieures et en particulier la MIL-HDBK-217, la température ne doit pas être estimée de la même façon pour FIDES que pour la MIL-HDBK-217.

Pour la MIL-HDBK-217, la température était le seul facteur physique pris en compte. En conséquence, avec cette méthodologie ce facteur a souvent été utilisé pour ajuster la sévérité générale de l'environnement.

Le modèle physique de FIDES pour la température est en général plus sensible que dans les méthodes plus anciennes. Il convient donc de considérer une température réaliste. La démarche qui consiste à prendre une température forfaitaire majorante conduit inexorablement à des estimations majorantes.

La température à utiliser dans le modèle est la température ambiante de l'environnement. De façon générale, la température à considérer ici est la température du milieu dans lequel se trouve l'article étudié qu'il soit sous tension ou hors tension. Lorsque nécessaire, les modèles traitent explicitement de l'élévation de température de l'article par rapport à son milieu (en particulier les composants actifs, pour lesquels le modèle s'intéresse à la température de jonction).

Lorsque le produit est hors tension, les conditions climatiques environnantes peuvent fournir les températures ambiantes auxquelles le système est soumis.

Pour les évaluations de fiabilité au niveau composant, la température ambiante à considérer est la température ambiante autour de la carte électronique. Par exemple dans le cas d'une carte intégrée dans un équipement, c'est la température ambiante à l'intérieur de l'équipement qu'il faut prendre en compte. Dans une phase de fonctionnement, cette température doit comprendre l'élévation de température liée à la dissipation thermique des composants dans cette phase.

Les outils de simulation thermique permettent d'avoir une connaissance très approfondie des températures dans un équipement électronique dès les phases amont d'un développement. A partir de telles simulations des affinages sont possibles. En particulier, lorsque la température dans un équipement n'est pas homogène et si cela reste cohérent avec la finesse attendue de l'analyse, il est possible d'adapter la température en fonction de la zone, en considérant une température différente pour chaque carte. Cette démarche permet d'utiliser FIDES comme un outil discriminant, également utile pour la conception de l'agencement interne d'un équipement électronique.

Pour les évaluations de fiabilité au niveau carte câblée, la même règle est à appliquer. Pour les évaluations de fiabilité des sous-ensembles autres que les cartes, c'est la température ambiante du milieu qu'il faut considérer. Les informations sur les élévations de température des sous-ensembles ne sont généralement pas directement accessibles et les modèles sont donc conçus pour s'en dispenser.

Pour une phase où la température évolue d'abord pour se stabiliser ensuite (cas usuel de l'échauffement après démarrage), il est en général représentatif de considérer la température stabilisée pour toute la phase. Pour une phase pendant laquelle la température est en évolution constante et ne se stabilise pas, la température à considérer n'est pas forcément la moyenne temporelle, en raison de l'influence non linéaire de la température. Dans ce cas la température représentative est plus élevée que la moyenne temporelle (un exemple est donné dans le profil de vie Hélicoptère VIP) .

2.5. Cyclage thermique (contrainte thermomécanique)

Cette contrainte est associée aux cyclages en température du produit qu'il soit en mode fonctionnel ou dormant, en considérant les variations de température liées à son fonctionnement (marche/arrêt en particulier) et celles du milieu environnant (jour/nuit par exemple).

2.5.1. Physique des défaillances et modélisation

Le modèle de Norris-Landzberg est utilisé pour modéliser l'accélération apportée par les variations thermiques sur le mécanisme de fatigue. Ce modèle est un dérivé du modèle de Coffin-Manson habituellement utilisé pour la fatigue thermomécanique. Il permet de prendre en compte le fait que plus les cycles thermiques sont lents, plus ils sont endommageant, du fait de l'activation du phénomène de fluage (cas des brasures). Le modèle de Norris-Landzberg a été lui-même modifié dans le cas de ce guide, en particulier pour convertir de façon pertinente la prédiction habituelle du modèle (un nombre de cycles) en facteur d'accélération applicable à un taux de défaillance.

Le facteur d'accélération s'écrit :

$$AF = \left(\frac{24}{N_0} \times \frac{N_{cy}}{t_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{\min(\theta_0, 2)} \right)^p \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{\Delta T_0} \right)^m \times e^{\frac{E_a}{K_B} \times \left[\frac{1}{273+T_0+\Delta T_0} - \frac{1}{(T_{max-cyclage}+273)} \right]}$$

Avec :

- N_{cy} : Nombre de cycles ,
- N_0 : Nombre de cycles de référence,
- t_{phase} : durée de la phase,
- θ_{cy} : durée du cycle en heures,
- θ_0 : durée du cycle de référence,
- $\Delta T_{cyclage}$: amplitude thermique du cycle,
- ΔT_0 : amplitude thermique de référence du cycle,
- E_a : énergie d'activation,
- K_B : constante de Boltzmann ($8,617 \cdot 10^{-5}$ eV/K),
- $T_{max-cyclage}$: La température maximale atteinte pendant le cycle,
- T_0 : température de référence,
- m : coefficient de fatigue, par exemple $m=1,9$ pour la fatigue des brasures SnPb (valeur applicable également à d'autres types de brasures),

- $p=1/3$, puissance accélératrice du facteur de durée.

En pratique, dans la suite du document, la formule suivante est utilisée :

$$AF = \left(\frac{24}{N_0} \times \frac{N_{cy}}{t_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{\min(\theta_0, 2)} \right)^p \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{\Delta T_0} \right)^m \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{273 + T_0 + \Delta T_0} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$$

Nota : La constante 1414 correspond à une énergie d'activation de 0,122eV.

Le modèle de cyclage thermique ne traite pas les chocs thermiques (dont la vitesse de transition est supérieure à 20°C / min - cf. § II2.5.3 Domaine d'applicabilité).

2.5.2. Conditions de références

Les conditions de références sont :

- Une amplitude de cycle ΔT_0 de 20°C,
- Une fréquence de cycle N_0 de 2 cycles par jour,
- Une durée de cycle θ_0 de 12 heures,
- Une température maximale $T_{max-cyclage}$ (soit $T_0 + \Delta T_0$) de 40°C.

2.5.3. Domaine d'applicabilité

La gamme théorique de cycle thermique pour laquelle le Guide FIDES est applicable est $\Delta T_{cyclage} \leq 180^\circ\text{C}$, $T_{max_cyclage} \leq 125^\circ\text{C}$, vitesse de transition thermique $\leq 20^\circ\text{C} / \text{minute}$.

2.5.4. Quantification des paramètres

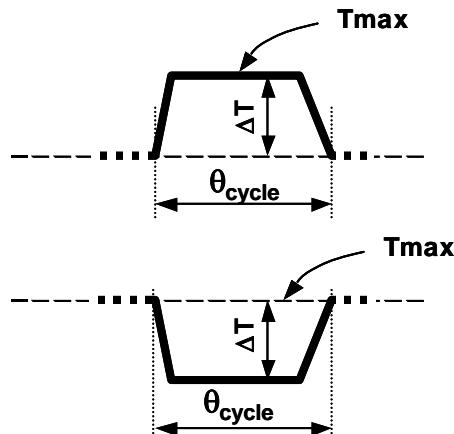
Les données d'entrée sont, pour chaque phase considérée :

- L'amplitude du cycle en température ΔT (°C),
- Le nombre de cycles associé sur une année (quantité),
- La durée d'un cycle θ_{cycle} (en heure),
- La température maximale du cycle (°C).

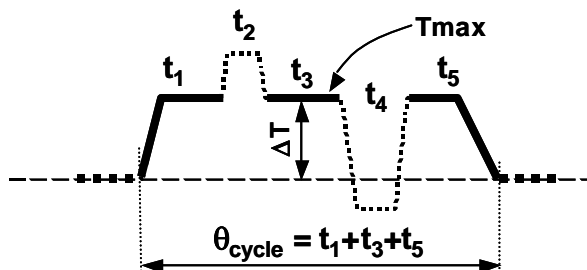
Les températures considérées pour les cyclages thermiques doivent être les mêmes que celles décrites pour l'aspect température proprement dit.

Les règles suivantes devraient être appliquées pour une bonne représentativité et une bonne reproductibilité de la description des cycles thermiques :

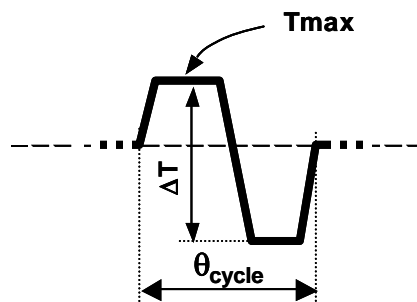
1. L'appréciation des cycles se fait à partir d'une température repère initiale du matériel ; état de repos (arrêt) par exemple.
2. Un cycle correspond généralement à un écart de température ΔT par rapport à la température repère ; le temps de cycle θ_{cycle} s'étend jusqu'à ce que l'on revienne à la température initiale.



3. Sur un cycle, d'autres cycles peuvent se superposer ou s'insérer ; dans ce cas, il y a lieu de défalquer les temps des sous-cycles de celui du cycle primaire auquel ils viennent se superposer.



4. Dans certains cas particuliers, Il peut être nécessaire de considérer un cycle comme une variation de température autour d'une température moyenne (cas du cyclage jour/nuit par exemple).



5. Dans de nombreux cas, $\theta_{cycle} = \frac{\text{Durée de la phase}}{\text{Nombre de cycles}}$, mais c'est en général une simplification (un exemple est donné dans le profil de vie Hélicoptère VIP et dans le profil de vie Radio portable militaire).
6. Un cycle thermique doit correspondre à un phénomène identifié générant la contrainte. Par exemple : mise sous tension, montée en altitude, surchauffe liée à un état système. Un cycle doit être considéré de façon intégrée et ne doit pas être scindé en plusieurs sous-cycles arbitraires, ne correspondant pas à une réalité temporelle d'une phase du profil.

7. Plusieurs cycles identiques peuvent se succéder dans une même phase. Dans ce cas, il faudra dénombrer le nombre de cycles identiques.

La bonne application des règles 3 et 6 citées ci-dessus est spécialement importante. La simple lecture du profil de température du produit sans prise en compte de la règle numéro 6 peut conduire à des confusions. L'application de la règle numéro 6 est prioritaire. A savoir :

- En premier lieu identifier quel est le phénomène qui provoque le cycle thermique. Par exemple :
 - Mise sous tension ; la fin du cycle doit donc correspondre à la mise hors tension,
 - Changement de phase de fonctionnement ; par exemple commutation d'une charge supplémentaire sur une alimentation,
 - Changement de la température de l'environnement ; cycle jour-nuit par exemple,
 - Changement lié au déplacement du système dans son environnement ; passage d'une zone climatisée à une zone non climatisée par exemple ; changement d'altitude pour un aéronef.
- Dans l'examen du profil de température en fonction du temps, il est important de repérer l'intégralité d'un cycle thermique, aussi bien la phase de changement de température qui initie le cycle que la phase de retour à la température initiale. En cas de cycles imbriqués, attention de ne pas associer un cycle par transition de température au lieu d'associer un cycle par aller-retour.
- Lorsqu'il y a superposition de cycles thermiques, appliquer les principes de décompte de la règle 3. Il est alors important de déterminer chaque cycle thermique indépendamment, en éliminant les autres cycles. La température de palier du premier cycle thermique devient la température de référence du suivant.

En général, le cycle thermique a un peu de retard sur l'événement qui le provoque (par exemple la mise hors tension ne ramène pas instantanément à la température ambiante). Selon le cas cet effet peut ou non être négligé.

2.6. Humidité relative

2.6.1. Physique des défaillances et modélisation

L'humidité relative (exprimée en %) est le rapport entre la pression de vapeur d'eau contenue dans l'air et la pression de vapeur saturante (qui dépend de la température de la masse d'air).

Le modèle de Peck est utilisé pour modéliser l'accélération apportée par le couple taux d'humidité-température sur certains mécanismes de défaillance.

$$AF = \left(\frac{RH_{Ambiante}}{RH_0} \right)^p \times e^{\frac{E_a}{K_B} \times \left[\frac{1}{273+T_0} - \frac{1}{273+T_{Ambiante}} \right]}$$

Avec :

- $RH_{ambiante}$: taux d'humidité de l'environnement considéré,
- RH_0 : taux d'humidité de référence,
- $T_{ambiante}$: température de l'environnement considéré,

- T_0 : température de référence,
- E_a : énergie d'activation,
- K_B : constante de Boltzmann ($8,617 \cdot 10^{-5}$ eV/K),
- p : puissance accélératrice pour cette contrainte.

Dans la suite du Guide FIDES, la formule peut être rencontrée comme suit :

$$AF = \left(\frac{RH_{Ambiante}}{RH_0} \right)^p \times e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{273+T_0} - \frac{1}{273+T_{Ambiante}} \right]}$$

Où 11604 est l'arrondi de $\frac{1}{K_B}$.

2.6.2. Conditions de références

Les conditions de références sont :

- Une humidité relative RH_0 de 70%,
- Une température ambiante T_0 de 20°C.

2.6.3. Domaine d'applicabilité

La gamme de validité théorique est de 0% à 100%,

Les cas de la condensation ou du givrage ne sont pas traités.

2.6.4. Quantification des paramètres

Les données d'entrée sont, pour chaque phase considérée :

- Le taux d'humidité relative RH (%),
- La température ambiante T (°C),
- L'état de fonctionnement ou non (dans la plupart des cas la contrainte humidité est annulée en fonctionnement).

La température est la même que celle décrite au paragraphe température.

Comme la température, le taux d'humidité varie selon les climats, il est important de prendre en compte un taux d'humidité représentatif du climat considéré.

Les documents de type STANAG 4370 et similaires donnent des tableaux de valeurs minimales et maximales d'hygrométrie dans les différentes zones géographiques mondiales et peuvent être exploités à défaut de meilleure information (cf. §2.10).

Dans l'estimation du taux d'humidité relative, il est important de prendre en compte le niveau d'humidité relative réellement vu par les composants. Par exemple, il faut considérer l'herméticité du produit, la possibilité d'emprisonnement d'humidité dans un boîtier hermétique ou le rôle de mesures dessicatives qui peuvent sensiblement diminuer le taux d'humidité subit par les composants par rapport à celui de l'environnement.

Des moyens dessicatifs sont parfois utilisés pour réduire le niveau d'humidité relative. Par exemple, en disposant des sachets de gel de silice d'une masse d'environ 1g dans un boîtier contenant moins de 10L d'air, l'humidité relative atteint une valeur en général inférieure à 10%. Le document DIN 55474 propose une méthode de calcul de la quantité de déshydratant en fonction de l'humidité finale tolérée (et de différents autres

paramètres). Les produits déshydratants doivent être renouvelés quand leur pouvoir d'absorption est épuisé.

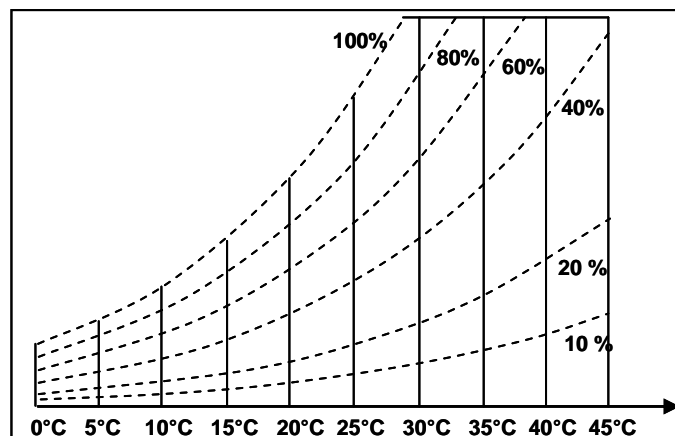
Il peut être nécessaire de prendre en compte la présence ou non d'une climatisation, qui souvent assèche l'air jusqu'à 30% ou 40% d'humidité relative (en-dessous de ces valeurs l'environnement est moins confortable pour l'homme).

Evolution de l'humidité en fonction de la température : A composition de l'air constante, le taux d'humidité décroît lorsque la température augmente. A l'intérieur d'un équipement en fonctionnement il y a généralement un échauffement de l'air qui conduit à une baisse du taux d'humidité vu par les composants.

A composition de l'air constante et en l'absence de condensation, l'évolution du RH en fonction de la température peut se calculer selon la formule :

$$RH_{final} = RH_{initial} \times e^{17,2694 \times \left[\frac{T_{initial}}{238,3 + T_{initial}} - \frac{T_{final}}{238,3 + T_{final}} \right]}$$

L'évolution du RH en fonction de la température peut aussi être lue sur un diagramme hygrothermal.



Evolution de l'humidité en fonction de l'altitude : le taux d'humidité varie en fonction de l'altitude. La tendance globale est une décroissance, le taux d'humidité devenant nul au delà de la troposphère. Néanmoins, cette évolution est très irrégulière et mal prévisible. Le taux d'humidité augmente en particulier dans les couches nuageuses. Il est simplificateur de considérer un taux d'humidité moyen indépendant de l'altitude.

Dans les profils de vie qui comprennent beaucoup de stockage, ce facteur humidité relative peut devenir prépondérant. Il faut alors apporter un soin aussi important à sa détermination qu'à celle de la température.

Note : l'influence de la température est plus forte en stockage (au travers de l'humidité) qu'en fonctionnement.

2.7. Niveau vibratoire (contrainte mécanique)

2.7.1. Physique des défaillances et modélisation

L'utilisation de la loi de Basquin permet de prendre en compte le fait que plus le niveau de vibration en utilisation est élevé, plus il y a un risque de panne sur les composants et les cartes électroniques. Les mécanismes de défaillance sont très divers, et ne sont pas toujours des mécanismes de fatigue pour lesquels la loi de Basquin est habituellement utilisée. Dans certains cas les vibrations vont révéler des faiblesses, comme par exemple des soudures sèches, des fissurations de pièces (substrat, boîtiers de composant...), des problèmes d'adhérence aux interfaces (défaut de collage, délaminations...). Dans le cas de défaut de type présence de particules métalliques dans un boîtier hermétique, les vibrations vont augmenter le risque de court-circuit par la mise en mouvement de ces particules. De plus dans le cas où le mécanisme est effectivement de la fatigue mécanique, les matériaux pouvant être dégradés par fatigue ou usure sont très variés (aluminium, cuivre, silicium, époxy, verre, céramique...).

$$AF = \left(\frac{G_{RMS}}{G_{RMS0}} \right)^p$$

Avec :

- G_{RMS} : niveau de vibration efficace (Root Mean Square) dans l'environnement considéré,
- G_{RMS0} : niveau de vibration de référence,
- p : puissance accélératrice pour la contrainte mécanique.

Le coefficient de la loi d'accélération tiré du modèle de Basquin, pour le modèle FIDES est choisi à $p=1,5$. Cette valeur est plutôt dans le bas de la fourchette des « coefficients de fatigue » usuellement rencontrés pour la loi de Basquin. L'utilisation du modèle mécanique FIDES en conjonction avec des modèles d'accélération utilisés pour des essais doit donc prendre cette caractéristique en considération.

Ce modèle mécanique ne traite pas les chocs. Les chocs doivent être couverts en robustesse par la qualification du produit à son utilisation future.

2.7.2. Conditions de références

Les conditions de références sont :

- Un niveau vibratoire G_{RMS0} de $0,5 G_{RMS}$.

2.7.3. Domaine d'applicabilité

La gamme de validité théorique est $G_{RMS} \leq 40 G_{RMS}$.
Les chocs ne sont pas traités.

2.7.4. Quantification des paramètres

La donnée d'entrée est, pour chaque phase considérée :

- Le niveau de vibration aléatoire exprimé en G_{RMS} .

Le niveau vibratoire doit être considéré dans le domaine de fréquences pertinent pour le produit considéré. Étant donné que les fréquences à prendre en compte sont variables le calcul doit se faire sur une bande de fréquence large (20-2000 Hz). L'axe de vibration

auquel les cartes électroniques sont le plus sensibles est en général l'axe perpendiculaire au plan de la carte.

Pour faire de la physique des défaillances au niveau du composant, le niveau de vibration à prendre en compte serait celui vu par l'élément sollicité, comme par exemple :

- brasure d'un composant sur une carte,
- broche d'un composant piqué,
- soudure d'une lame à l'intérieur d'un relais,
- collage d'un microcomposant à l'intérieur d'un hybride.

Mais ce niveau de vibration dépend d'une multitude de facteurs :

- niveau de vibration en entrée de la carte électronique,
- amplification de la carte à l'endroit où est positionné le composant,
- fréquences des sollicitations par rapport aux modes propres de la carte,
- fréquence propre de l'élément sollicité (dans certain cas),
- ...

Etant donné qu'il n'est pas envisageable de prendre en compte tous ces paramètres dans une étude de fiabilité prévisionnelle, le paramétrage du modèle doit se faire avec le niveau d'entrée du produit (niveau vu par l'équipement ou par la carte). Il relève de la maîtrise de la fiabilité (aspects processus) de ne pas placer les composants les plus sensibles aux endroits les plus sévères d'une carte.

Le niveau à prendre en compte doit être le plus proche possible du niveau effectivement vu en utilisation.

La quantification du niveau de vibrations pour les études de fiabilité doit bien souvent se faire à partir de spécifications techniques, avant que les niveaux réels puissent être mesurés. Il ne faut pas utiliser sans précaution les niveaux de vibration spécifiés pour des essais. Ces niveaux sont souvent soit des niveaux correspondant à des essais accélérés ou durcis, soit les niveaux extrêmes auxquels le produit peut être confronté. Les bons niveaux à retenir sont les niveaux de vibration d'endurance, non accélérés, non durcis.

Une attention particulière est portée sur les confusions suivantes :

- Confusion entre niveau de vibration en entrée et niveau de vibration amplifié au niveau des composants de la carte électronique,
- Confusion entre les niveaux de qualification (en général majorants car durcis) et les niveaux typiques,
- Confusion entre des niveaux d'essais accélérés (par exemple de durée de vie) et des niveaux d'essais nominaux.

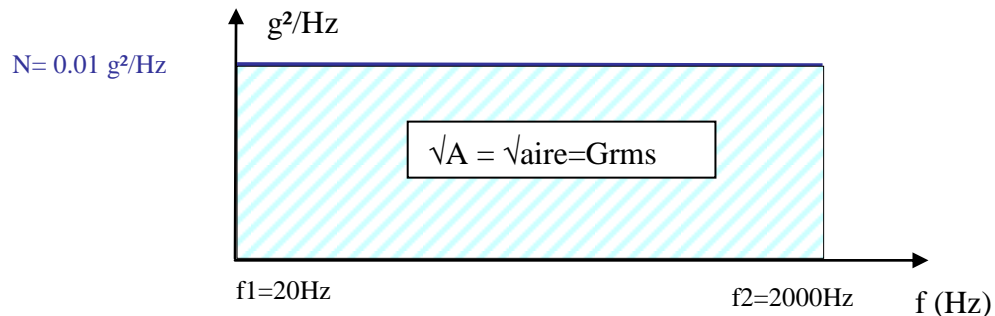
Le plus souvent les niveaux vibratoires sont donnés sous la forme de la densité spectrale de puissance (DSP ou PSD pour Power Spectral Density). Dans ce cas le niveau d'excitation en G_{RMS} peut être déterminé à partir de cette DSP. Le niveau de G_{RMS} est calculé comme la racine carrée de l'aire située sous la courbe du spectre de DSP.

Il est recommandé de conserver une valeur de 0,01 Grms pour les phases n'ayant aucunes vibrations aléatoires prévisibles.

Un exemple de calcul est proposé dans les paragraphes qui suivent.

2.7.5. Calcul du niveau de G_{RMS} (ou accélération efficace) à partir de la densité spectrale de puissance

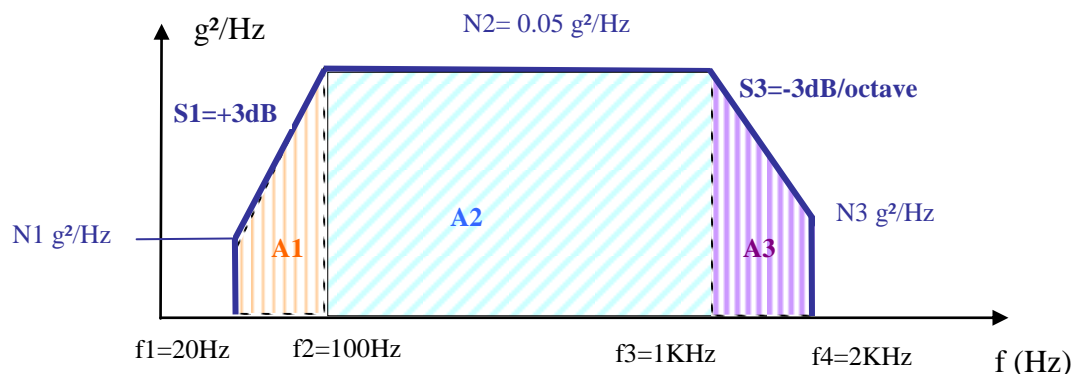
Pour un niveau d'excitation constant sur toute la bande de fréquence, le calcul de l'aire peut se faire directement.



$$G_{RMS} = \sqrt{A}$$

$$G_{RMS} = \sqrt{19,8} = 4,45$$

Dans le cas d'un spectre avec différents niveaux en fonction des bandes de fréquences, il faut décomposer l'aire totale comme sur l'exemple ci-dessous.



Lorsque la pente (slope) est différente de -3dB par octave :

$$A_1 = \frac{3N_2}{3+S_1} \left(f_2 - \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^{S_1/3} \times f_1 \right) \text{ ou bien } A_1 = \frac{3N_1}{3+S_1} \left(\left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{S_1/3} \times f_2 - f_1 \right)$$

$$A_1 = \frac{3 \times 0.05}{3+3} \left(100 - \left(\frac{20}{100} \right)^{3/3} \times 20 \right) = 2.4$$

Lorsque le niveau est constant sur une bande de fréquence :

$$A_2 = N_2(f_3 - f_2)$$

$$A_2 = 0.05(1000 - 100) = 45$$

Lorsque la pente est de -3dB par octave :

$$A3 = f3 \times N2 \times \ln\left(\frac{f4}{f3}\right) \text{ ou bien } A3 = -f4 \times N3 \times \ln\left(\frac{f3}{f4}\right)$$

$$A3 = 1000 \times 0.05 \times \ln\left(\frac{2000}{1000}\right) = 34$$

Si la pente S3 n'est pas de -3dB par octave, A3 se calcule comme A1:

$$A3 = \frac{3N3}{3 + S3} \left(f4 - \left(\frac{f3}{f4} \right)^{S3/3} \times f3 \right)$$

Finalement :

$$G_{RMS} = \sqrt{(A1 + A2 + A3)}$$

$$G_{RMS} = \sqrt{81.4} = 9$$

2.8. Contrainte chimique

2.8.1. Modélisation

La contrainte chimique est modélisée de façon qualitative, il n'y a pas de modèle physique pour cette contrainte. Dans certains modèles la contrainte chimique devient un facteur d'accélération d'autres contraintes physiques.

La contribution chimique sur la fiabilité du produit est exprimée via quatre contributeurs liés à l'utilisation du produit.

- Dans son environnement :
 - Salinité de l'environnement (salinité plus forte dans les environnements côtier ou marin),
 - Contribution chimique environnementale industrielle ou naturelle (pollution).
- Dans son système :
 - Contribution chimique due au placement du produit dans le système ou à la nature du système (pollution locale),
 - Niveau de protection du produit au sein du système, hermétique ou non (attention, il ne s'agit pas de l'herméticité des boîtiers de composant).

2.8.2. Quantification des paramètres

Les quatre critères sont décrits dans les tableaux suivants.

Niveau de pollution saline	Exemple
Faible	Région continentale
Fort	Région côtière

Niveau de pollution d'environnement	Exemple
Faible	Région rurale
Modéré	Région urbaine
Fort	Région urbaine et industrielle

Niveau de pollution d'application	Exemple
Faible	Zone habitée ou entretenue
Modéré	Zone inhabitée ou sans entretien
Fort	Zone moteur

Niveau de protection produit	Exemple
Hermétique	Protection hermétique
Non hermétique	Autres protections

2.9. Type d'application

Il s'agit d'un questionnaire permettant de déterminer le paramètre $\Pi_{\text{Application}}$ du facteur induit.

Différents critères permettent d'apprécier la sévérité d'une phase d'emploi en terme d'exposition aux overstress. Il y a trois niveaux par critère. L'évaluation de ces niveaux permet de calculer le paramètre $\Pi_{\text{Application}}$. La méthode complète est détaillée dans les fiches de calcul. Les critères sont les suivants :

- Type d'utilisateur : Traduit le professionnalisme, le respect des procédures, le poids des contraintes opérationnelles,
- Qualification de l'utilisateur : Traduit le niveau de maîtrise de l'utilisateur ou de l'intervenant vis-à-vis d'un contexte opérationnel,
- Mobilité du système : Traduit les aléas liés aux possibilités de déplacement du système,
- Manipulation du produit : Traduit les risques de fausses manipulations, chocs, chutes...
- Type d'alimentation : Traduit le niveau de perturbation électrique attendu sur les alimentations et signaux : mises sous tension, commutation d'alimentation, connexion/déconnexion,
- Exposition à l'activité humaine : Traduit l'exposition aux aléas liés à l'activité humaine : choc, détournement de destination...
- Exposition aux perturbations de machines : Traduit les aléas liés aux fonctionnements de machines, moteurs, actionneurs tels que chocs, surchauffes, perturbations électriques, polluants agressifs,
- Exposition aux intempéries : Traduit l'exposition à la pluie, la grêle, le givre, le vent de sable, la foudre, la poussière...

La description complète d'un profil de vie doit comprendre les réponses à ce questionnaire.

La principale règle à respecter concernant la réponse à ces questions est de répondre à la question au bon niveau (niveau produit, niveau système).

Le point de vue à privilégier est décrit dans le tableau qui suit.

Critères	Niveau
Type d'utilisateur dans la phase considérée	Système complet

Critères	Niveau
Niveau de qualification de l'utilisateur dans la phase considérée	Utilisateur du produit dans le système complet
Mobilité du système	Système complet
Manipulation du produit	Produit
Type de réseau électrique du système	Système et produit
Exposition du produit à l'activité humaine	Produit dans le système complet
Exposition du produit aux perturbations de machines	Produit dans le système complet
Exposition du produit aux intempéries	Produit dans le système complet

2.10. Sources des données

Les sources de données pour établir un profil de vie sont nombreuses. Les principales sources sont :

- Expression de besoin du client ou du systémier,
- Statistiques météorologiques et climatiques,
- Normes,
- Retour d'expérience,
- Résultats d'essais, de simulations.

A titre d'exemple, des standards internationaux tels que le STANAG 4370 peuvent permettre d'identifier les conditions climatiques associées à certaines zones géographiques mondiales en fournissant des tableaux de valeurs minimales et maximales ; des normes tels que la NF X 50-122 peuvent aider à clarifier le séquençement des situations et leur nombre d'occurrences ; des sites Internet tels que www.meteofrance.com peuvent fournir des données climatiques plus précises localement que les standards internationaux.

Il est à noter que les documents de type STANAG 4370 sont destinés au dimensionnement des essais des systèmes militaires et restent à manipuler avec précaution pour l'établissement de profil de vie destiné aux études de fiabilité.

Une difficulté dans l'exploitation des documents d'entrée peut provenir des confusions suivantes :

- La confusion entre les niveaux de qualification (qui sont des extrêmes) et les niveaux typiques (utiles pour la fiabilité),
- La confusion entre des niveaux d'essai et des niveaux spécifiés,
- La confusion entre des niveaux d'essais accélérés (de durée de vie) et des niveaux d'essais nominaux,
- L'hétérogénéité (voire le désaccord) entre les différentes références normatives.

2.11. Méthodologie de construction du profil de vie

Les étapes recommandées pour la construction d'un profil de vie sont les suivantes :

- Analyser et « traduire » le profil de vie communiqué par le client,
- Créer un logigramme des situations rencontrées,

- Créer des thermographes pour chaque journée/situation type,
- Créer un profil de vie pour chaque journée/situation type,
- Concaténer les profils de vie des journées/situations types,
- Réunir/fusionner les phases similaires du profil de vie,
- Evaluer le $\Pi_{\text{application}}$,
- Simplifier le profil de vie.

Recommandations :

1. Les différentes étapes de construction du profil de vie doivent être formalisées dans un fichier qui permettra de tracer les données d'entrée, hypothèses et étapes intermédiaires de la construction.

2.11.1. Analyser le profil de vie client

Recommandations (suite) :

2. L'ensemble des hypothèses qui sont nécessaires à la construction du profil de vie doit être tracé dans un document ⁽¹⁾. Ce document doit être discuté et validé avec le client. Chaque hypothèse doit se traduire, le cas échéant, par une valeur retenue. Il est important que chaque valeur se trouve consignée ; elle servira dans les formules, assurant une bonne traçabilité de la démarche.

⁽¹⁾ En général, les données d'entrée ne suffisent pas à créer un profil de vie FIDES ; elles doivent être complétées par un certain nombre d'hypothèses qui permettront de construire et chiffrer le profil de vie.

2.11.2. Créer un logigramme des situations

L'utilisation de normes de type NF X50-144-2 (Annexe A) peut aider à visualiser les successions de situations types que rencontrera le produit au cours de sa vie ainsi que le nombre d'occurrences et les situations antérieures et postérieures. La démarche proposée permet également d'illustrer efficacement les différentes branches de la vie d'un parc de produits.

2.11.3. Créer des thermographes

Points d'attention :

3. Il est important de faire un thermographe (un exemple illustratif peut être trouvé au §3.1.3 ou §3.2.7 et suivants) pour rendre compte de l'enchaînement des phases de vie.
4. Il est nécessaire de faire apparaître les phases de stockage dans les journées types pour éviter les erreurs, très fréquentes, dans la description de ces phases.
5. Il existe deux types de cycles thermiques :
 - Les cycles « francs », usuellement représentés par des créneaux et pour lesquels la durée de palier est prépondérante sur les temps de montée et descente ; ils correspondent généralement à des changements de mode de fonctionnement (ON/OFF, passage de veille à fonctionnement, émission/réception, etc.) ou à des changements soudains d'environnement thermique (changement d'altitude).

- Les cycles « oscillants » pour lesquels la température varie de façon régulière autour d'une température moyenne (exemple : cycle jour/nuit) ; ils correspondent généralement à des phases de non fonctionnement (mode dormant, stockage).
- 6. Un cycle démarre et se termine à la même température; ce point est particulièrement important lorsque des cycles sont imbriqués (cf. recommandation 10).
- 7. La description des cycles thermiques imbriqués est une source fréquente d'erreurs ; le thermographe permet facilement de les reconnaître et de les décrire correctement (voir chapitre 2.5).
- 8. La température ambiante est la température vue le plus longtemps dans la phase :
 - Pour les cycles « francs », température du palier ;
 - Pour les cycles « oscillants », température moyenne (par approximation).
- 9. Si le cycle thermique n'est pas stabilisé (c'est le cas lorsque la constante de temps thermique de l'équipement est non négligeable devant la durée du cycle), l'estimation de la température ambiante peut être délicate. Dans ce cas, le principe de Sedyakin peut être utilisé pour estimer une température ambiante équivalente ; par simplification, la température ambiante peut être généralement approchée par Tréférence + $0,7 \times \Delta T$ mais est à moduler si des conditions spécifiques de management thermique sont actives.

2.11.4. Crée un profil de vie pour chaque journée/situation type

Recommandations (suite) :

10. La création du profil de vie de chaque journée/situation type étant étroitement liée aux thermographes, il est recommandé de créer un sous profil par « Thermographe ».

Points d'attention (suite) :

11. Un cycle thermique ne doit être décrit qu'une seule et unique fois (voir chapitre 2.5); en d'autres termes, il doit être porté par une seule et unique phase même s'il affecte plusieurs phases.
12. Seule une description scrupuleuse des cycles thermiques permet d'estimer correctement la durée des phases, la durée des cycles thermiques et leur nombre.
13. Cette description scrupuleuse des cycles thermiques - rendue compréhensible par l'utilisation des thermographes - explique le fait que lors des cycles imbriqués : $t_{\text{phase}} \neq \Theta_{\text{cy}} \times N_{\text{cy}}$ (un exemple est donné au §3.2).
14. Les thermographes des journées / situations types portent sur un nombre entier de jours ; le nombre de cycles thermiques doit donc être, lui aussi, entier.

Recommandations (suite) :

15. Il est recommandé de conserver une trace écrite des calculs ayant mené aux différents profils de vie.

2.11.5. Concaténer les différents profils de journée(s)/situation(s) type(s)

Points d'attention (suite) :

16. Après concaténation, le nombre de cycles doit toujours être entier.

17. S'il n'y a qu'une journée type incluant une phase de stockage et que la durée de référence du profil de vie est d'un an, il devrait y avoir 365 cycles de type « jour/nuit ».

2.11.6. Réunir/fusionner les phases identiques ou similaires

Points d'attention (suite) :

18. Une attention particulière est requise pour évaluer la durée des cycles thermiques lors de l'opération de fusion :

- Si les cycles thermiques des phases à fusionner ont une durée individuelle supérieure à 2h (correspondant à la durée des cycles de référence de la loi de Norris-Landzberg modifiée pour FIDES - voir § II2.5.1), la durée du nouveau cycle sera évaluée selon la formule :

$$\theta_{\text{equiv}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m N_i \theta_i}{\sum_{i=1}^m N_i} \right) \text{ où } m \text{ est le nombre de cycles à fusionner, } N_i \text{ le nombre de cycles de la phase } i \text{ et } \theta_i \text{ la durée du cycle portée par la phase } i.$$

- Si les cycles thermiques des phases à fusionner ont une durée individuelle inférieure à 2h, la durée du nouveau cycle sera évaluée selon la formule :

$$\theta_{\text{equiv}} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^m N_i} \right)^3 \left(\sum_{i=1}^m N_i \theta_i^{\frac{1}{3}} \right)^3$$

où m est le nombre de cycles à fusionner, N_i le nombre de cycles de la phase i et θ_i la durée du cycle portée par la phase i .

- Dans les deux cas, le nombre du nouveau cycle est la somme du nombre des cycles fusionnés :

$$N_{\text{equiv}} = \sum_{i=1}^m N_i.$$

19. Après fusion, le nombre de cycles doit toujours être entier.

Recommandation (suite) :

20. Si le nombre de phases est raisonnable (inférieur à 20) et que le profil est compréhensible par les différentes parties prenantes sans informations complémentaires, il est recommandé de conserver le profil issu de l'étape de concaténation.

2.11.7. Ne pas oublier le $\Pi_{\text{application}}$

Recommandations (suite) :

21. Le questionnaire du $\Pi_{\text{application}}$ doit être documenté par profil de vie.

2.11.8. Simplifier le profil de vie FIDES final

Point d'attention (suite) :

22. A ce stade, le nombre de cycles thermiques doit toujours être entier car aucune modification n'a été apportée au nombre de journées et/ou situations types. Toutefois, il est possible que le profil de vie ne corresponde pas à ce que le client attend ; par exemple, la considération des journées/situations types peut conduire à un profil de vie couvrant plusieurs années alors que le client souhaite, pour une raison x ou y , afficher un profil de vie annuel. Il convient alors de pratiquer une homothétie temporelle, c'est-à-dire d'appliquer un

même coefficient sur la durée de la phase et le nombre de cycles pour ramener le profil pluriannuel à un profil annuel.

2.12. Profil de vie standard

2.12.1. Principe

Le profil de vie standard est destiné à être employé tel quel pour donner une fiabilité de référence d'un produit (sur sa datasheet notamment), équipement ou sous-ensemble, proposé sur étagère (COTS).

Ce profil de vie ressemble à celui de l'utilisation d'un matériel électronique de bureau, mais il n'a pas pour objectif de décrire un cas d'emploi réel. Il a pour caractéristique d'être le plus proche possible des conditions de références pour chaque contributeur physique (il n'est pas possible d'être dans les conditions de référence de tous les contributeurs physique à la fois). Il décrit un environnement bénin.

Nota : Si le profil de vie standard est utilisé pour une datasheet, il est recommandé de préciser sur celle-ci que le profil doit être adapté au cas d'utilisation.

2.12.2. Description

Ce profil de vie correspond à un produit utilisé 365 jours par an pendant 10 heures (soit 3650 heures par an) dans des conditions d'emploi de type bureau ou laboratoire. Lorsqu'il n'est pas employé (soit 14 heures par jour, 5110 heures par an) le produit est hors tension.

⇒ Dans un profil de vie réel, il faudrait considérer la durée et le nombre réels de mise sous tension.

A l'arrêt le produit est à une température moyenne de 20°C et subit un cyclage thermique jour/nuit modéré représentatif d'un bureau non climatisé (5°C autour de la valeur moyenne de 20°C).

⇒ Dans un profil de vie réel, il faudrait considérer les conditions climatiques appropriées. Lorsque le temps de non fonctionnement est prépondérant dans le profil de vie, il est important d'affiner le niveau des cycles thermiques jour/nuit.

En phase de fonctionnement le produit considéré subit une élévation de température de 20°C liée à sa puissance dissipée. Sa température ambiante est donc fixée à 40°C et un cyclage thermique d'amplitude 20°C est pris en compte. Le nombre de cycles correspond au nombre de mises sous tension, soit 365 pour ce profil. Remarque: La durée de fonctionnement est défalquée de la durée du cycle jour/nuit.

⇒ Dans un profil de vie réel, il faudrait considérer les élévations de température appropriées.

Le niveau d'humidité relative est considéré à 70% dans l'air ambiant à 20°C. Dans le produit en fonctionnement, compte tenu de l'échauffement, le RH tombe à 22%.

⇒ Dans un profil de vie réel il faudrait considérer les conditions climatiques appropriées. Lorsque le temps de non fonctionnement est prépondérant dans le profil de vie, il est important d'affiner le niveau de RH en stockage.

Le niveau vibratoire est considéré nul en non fonctionnement et modéré en fonctionnement.

⇒ Dans un profil de vie réel, il faudrait considérer les niveaux vibratoires appropriés. Lorsque le temps de non fonctionnement est prépondérant dans le profil de vie, il peut être important de vérifier l'existence d'un niveau vibratoire résiduel dans cette phase.

Le niveau de pollution est considéré comme faible pour ce produit. Le système n'est pas hermétique et le produit subit donc malgré tout une faible contrainte chimique.

⇒ Dans un profil de vie réel, il faudrait considérer les contraintes chimiques appropriées.

L'exposition aux surcharges accidentelles est fixée très faible pour ce profil de vie de référence. Un niveau aussi faible suppose en particulier un utilisateur qualifié et très respectueux des procédures.

⇒ Le facteur $\Pi_{\text{application}}$ joue un rôle déterminant dans l'évaluation de la fiabilité. Il est très important de l'évaluer spécifiquement pour chaque profil de vie et de le décliner pour chaque phase.

2.12.3. Table

Profil de vie standard														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Arrêt	5 110	Off	20	70	5	365	14	23	0,01	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	1
Marche	3 650	On	40	22	20	365	10	40	0,5	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	1,9

3. Exemples de profil de vie

La finesse de la description du profil de vie du produit au sein d'un système opérationnel conditionne la justesse de l'évaluation de fiabilité. Aussi, cette étape de l'analyse prévisionnelle devra être menée avec le plus grand soin. Les exemples de profils de vie présentés ici illustrent les règles de construction données au chapitre précédent. Ils ne sont pas proposés pour être utilisés directement. Ils doivent être considérés comme des bases de départ qu'il convient d'adapter.

3.1. Profil de vie d'un calculateur de navigation embarqué sur un hélicoptère

Il existe différentes méthodes possibles pour élaborer un profil de vie. L'exemple du profil de vie d'un calculateur de navigation embarqué sur un hélicoptère VIP (Very Important Person) illustre en particulier la méthode «de séquençement en journées type».

De plus l'exemple proposé ici détaille comment choisir et construire les phases du profil de vie à partir du séquençement de la vie du système. Cette démarche permet de bien assurer la reproductibilité de construction du profil de vie et en particulier pour la détermination des aspects temporels et climatiques du profil de vie.

3.1.1. Quantification des données temporelles

Séquençement d'une année

Principe : Identifier les journées types différentes vécues par le système et quantifier leur occurrence dans l'année.

L'hélicoptère VIP vit deux journées différentes :

- Une journée de « Fonctionnement », 100 jours par an,
- Une journée de « Non Fonctionnement », 265 jours par an.

Remarque : Le climat est un paramètre qui peut jouer un rôle dans cette identification. En effet, pour accroître la précision du profil de vie et donc de la prévision, il est possible de différencier les journées types en fonction de la variation de la température extérieure. Dans le cas d'application cité, en considérant un climat tempéré dont les variations de température extérieure et/ou d'humidité au cours d'une année sont significatifs, il peut être pertinent, pour augmenter la précision des prévisions, de diviser chaque journée type en 3 :

- une journée « fonctionnement - hiver », pendant 3 mois soit $100 \times 3 / 12 = 25$ j/ an,
- une journée « fonctionnement - intersaison », 6 mois soit $100 \times 6 / 12 = 50$ j/ an,
- une journée « fonctionnement - été », 25 j/ an,
- une journée « non fonctionnement - hiver », $265 \times 3 / 12 = 66$ j/ an,
- une journée « non fonctionnement - intersaison », 133 j/an ,
- une journée « non fonctionnement - été », 66 j/ an.

Ce découpage plus fin qui permet de prendre en compte des températures extérieures appliquée plus proches de la réalité peut être justifié (ou non) en évaluant a posteriori l'importance de l'écart de prévision finale entre le profil détaillé et le profil simplifié.

Séquencement des journées

Principe : Séquencer chaque journée type identifiée en étapes chronologique dans chacune desquelles les contraintes extérieures (températures, vibration, humidité, pollution, type d'application) peuvent être supposées constantes. Pour cela, il s'agit d'identifier les événements de la journée qui génèrent une modification de ces contraintes extérieures.

La journée commence alors que l'hélicoptère est en phase « parking ». Un hélicoptère VIP réalise en moyenne deux vols (un vol aller et un vol retour) par jour de fonctionnement. Chaque vol voit l'enchaînement des événements suivants :

- Evènement 1 : « Allumage du calculateur de navigation » (modification du stress thermique),
 - Evènement 2 : « Démarrage du moteur » (modification du stress vibratoire),
 - Evènement 3 : « Décollage » (modification du stress vibratoire et thermique),
 - Evènement 4 : « Atterrissage » (modification du stress vibratoire et thermique),
 - Evènement 5 : « Arrêt du moteur » (modification du stress vibratoire),
 - Evènement 6 : « Extinction du calculateur » (modification du stress thermique).
- Et retour en phase parking.

Il y a donc 7 étapes séparées par les 6 événements :

Evènement		Etapes	
1	Allumage du calculateur de navigation	1	Parking
2	Démarrage du moteur	2	Tests avant vol des systèmes électroniques
3	Décollage	3	Préparation au décollage
4	Atterrissage	4	Vol aller
5	Arrêt du moteur	5	Sol - Moteur On
6	Extinction du calculateur	6	Tests après vol des systèmes électroniques
		7	Parking

Cette chronologie s'opère deux fois par journée de fonctionnement (vol aller puis vol retour).

Pour la journée de « non fonctionnement », il n'y a aucun événement à considérer sinon la variation de température extérieure au cours de la journée. Il y a donc une seule phase : Parking.

Quantification de la durée des étapes

Principe : Recueillir ou prévoir la durée moyenne de chaque étape identifiée.

Journée Non Fonctionnement :

Etapas		Durée
1	Parking	1440 minutes

Journée Fonctionnement :

Etapas		Durée
1	Parking	
2	Tests des systèmes électroniques 1	1 minute
3	Préparation au décollage 1	11 minutes
4	Vol 1	60 minutes
5	Sol - Moteur On 1	3 minutes
6	Tests puis Arrêt des systèmes 1	1 minute
7	Parking	
8	Tests des systèmes électroniques 2	1 minute
9	Préparation au décollage 2	11 minutes
10	Vol 2	60 minutes
11	Sol - Moteur On 2	3 minutes
12	Tests puis Arrêt des systèmes 2	1 minute
13	Parking	

Regroupement des étapes en phases

Principe : le regroupement des étapes se fait en trois temps.

1. Identification des cycles d'utilisation.
Pour cela, il faut tout d'abord, pour chaque journée type, identifier les étapes dans lesquelles l'équipement retrouve la situation de vie initiale. En général, la situation de vie initiale correspond au repos du système.
2. Identification des variations de contraintes extérieures et des causes de variation.
Pour chaque étape, il s'agit d'identifier les variations de contraintes (thermiques, vibratoire, humidité, chimique ou type d'application) par rapport à ceux de la situation de vie initiale (qui fait référence) ainsi que les causes qui en sont à l'origine.
3. Identification des phases à regrouper.
Les phases à regrouper sont celles situées à l'intérieur d'un même cycle d'utilisation et dont les causes générant les stress extérieurs sont identiques.

De plus, deux étapes peuvent être regroupées (à des fins de simplification du profil de vie) si l'impact sur le résultat final de la prédiction peut être anticipé comme non significatif. Ceci peut être le cas si :

- L'écart entre les stress extérieurs subis par l'équipement dans ces deux situations est faible,
- La durée de l'une des situations est suffisamment faible pour que l'impact devienne négligeable suite à la pondération temporelle.

Hélicoptère VIP :

1. Identification des cycles d'utilisation.
La situation de vie initiale de l'équipement est l'étape « Parking ». Il y a, dans la

journée fonctionnement, trois étapes de ce type qui délimitent les cycles d'utilisation : les étapes 1, 7 et 13. En conséquence, il y a dans cette journée, deux cycles d'utilisation : un premier cycle d'utilisation de la phase 2 à la phase 6 (le premier vol) et un second cycle d'utilisation de la phase 8 à la phase 12 (le deuxième vol).

2. Identification des variations de contraintes extérieures et des causes de variation. Le tableau qui suit décrit les variations et leurs causes pour la journée de fonctionnement.

Etapas		Variation de stress par rapport à la phase Parking	Causes de variation
1	Parking	Aucun	Aucun
2	Tests avant vol des systèmes électroniques 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ Humidité 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone
3	Préparation au décollage 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ Humidité ▪ Vibratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone ♦ Vibrations générées par le moteur (au sol)
4	Vol 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ Humidité ▪ Vibratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone ♦ Vibrations générées par le moteur (en vol) ♦ Refroidissement du à la prise d'altitude
5	Sol - Moteur On 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ Humidité ▪ Vibratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone ♦ Vibrations générées par le moteur (au sol)
6	Tests après vol des systèmes électroniques 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ humidité 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone
7	Parking	Aucun	Aucun
8	Tests avant vol des systèmes électroniques 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ humidité 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone
9	Préparation au décollage 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ Humidité ▪ Vibratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone ♦ Vibrations générées par le moteur (au sol)
10	Vol 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ Humidité ▪ Vibratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone ♦ Vibrations générées par le moteur (en vol) ♦ Refroidissement du à la prise d'altitude
11	Sol - Moteur On 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ Humidité ▪ Vibratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone ♦ Vibrations générées par le moteur (au sol)
12	Tests après vol des systèmes électroniques 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermique ▪ humidité 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dissipation thermique des équipements de la zone
13	Parking	Aucun	Aucun

Le stress « humidité » varie avec le stress « thermique » car l'échauffement de l'air provoque son assèchement.

3. Regroupement en phases.
Les étapes (2 et 6), (8 et 12), (3 et 5), (9 et 11), appartiennent deux à deux au même cycle de fonctionnement et présentent des causes de variation de stress identiques. En conséquence elles doivent être regroupées. De la même manière, les phases parking doivent être regroupées. Il devient alors possible de constituer le profil de vie FIDES, composé de 8 phases, comme le montre les tableaux qui suivent.

Journée Non Fonctionnement :

Phase		Durée
1	Off-24h	1440 minutes

Journée Fonctionnement :

Phase		Durée
1-7-13	Parking fonctionnement	le reste
2-6	Tests des systèmes électroniques 1	1 + 1 = 2 minutes
3-5	Préparation au décollage 1	11 + 3 = 14 minutes
4	Vol 1	60 minutes
8-12	Tests des systèmes électroniques 2	1 + 1 = 2 minutes
9-11	Préparation au décollage 2	11 + 3 = 14 minutes
10	Vol 2	60 minutes

De plus, les étapes 2-6, et 8-12 se réalisent sur des durées très faibles (2 minutes), il est donc possible d'anticiper la faiblesse de leur impact et donc de les regrouper : l'étape 2 dans l'étape 3 et la 8 dans la 9.

Donc les phases du profil de vie FIDES simplifié sont celles du tableau qui suit.

Journée Non Fonctionnement :

Phase		Durée
1	Off-24h	1440 minutes

Journée Fonctionnement :

Phase		Durée
1	Off	1440 - 152 = 1288 minutes
3	Sol-On1	16 minutes
4	Vol1	60 minutes
9	Sol-On2	16 minutes
10	Vol2	60 minutes

Calcul des durées des phases

Pour finir, il s'agit de calculer le temps passé par an ($t_{\text{annuel_phase}}$) dans chacune des phases identifiées en multipliant la durée journalière des phases par leur occurrence annuelle.

Phase	Durée journalière	Nb de jours par an	$t_{\text{annuel_phase}}$
Off - 24h	1440 minutes	265	6360 h
Off	1288 minutes	100	2 146 h
Sol-On1	16 minutes	100	27h
Vol1	60 minutes	100	100h
Sol-On2	16 minutes	100	27h
Vol2	60 minutes	100	100h

3.1.2. Quantification des données thermiques

Les températures ambiantes composant, sont établie à partir des graphes de température journaliers des équipements. Pour cela, trois types de données d'entrée sont nécessaires :

- Données climatiques : la température et le taux d'humidité extérieurs au système. Ceux-ci varient en fonction du climat de la zone géographique d'opération,
- Donnée de zone : les données relatives à la zone du système contenant l'équipement, permettant de déterminer la variation de température par rapport à la température extérieure que va subir la zone dans les différentes phases du profil de vie,
- Données équipement : les données relatives à l'équipement afin de déterminer son échauffement interne par rapport à la température de la zone dû à sa dissipation et/ou, le cas échéant, son herméticité aux contraintes d'humidité et chimiques.

Pour le calcul de la T_{ambiante} , il y a deux cas possibles :

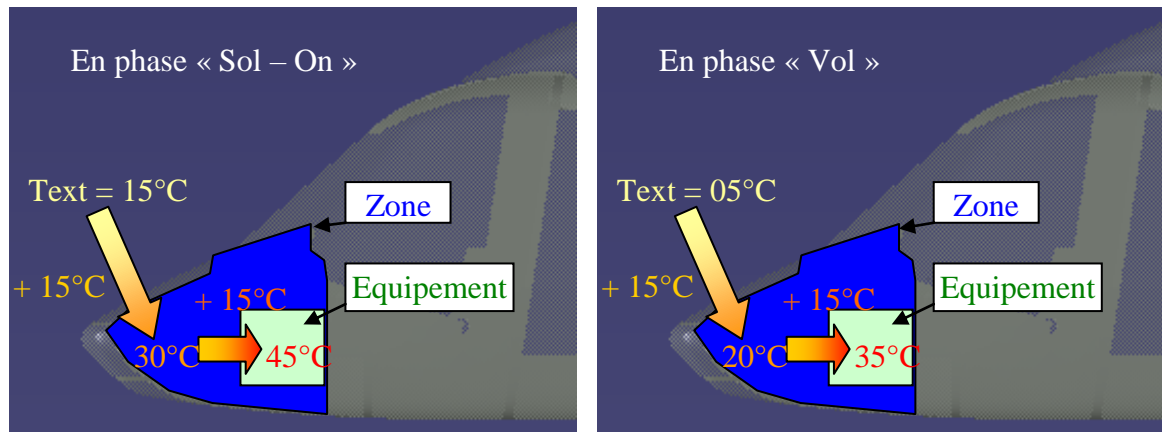
- 1^{er} cas : dans la phase considérée, la température varie d'une température initiale à une température finale stabilisée. Alors, la température ambiante à considérer est cette température finale stabilisée. Cependant si la phase est de trop courte durée pour que la température ait le temps de se stabiliser, la température à considérer peut être estimée par exemple à 70% de la valeur finale atteinte (non stabilisée) dans cette phase,
- 2^{ème} cas: dans la phase considérée, la température varie autour d'une valeur moyenne. Alors, la température ambiante à considérer est cette température moyenne.

Remarque :

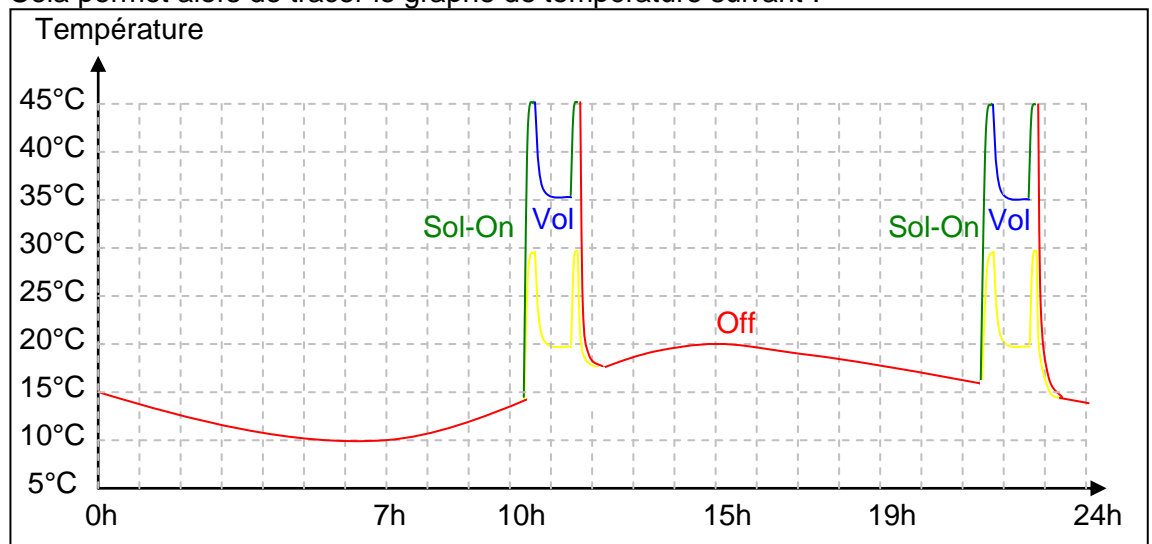
- La température extérieure varie en fonction de l'altitude,
- La température de la zone peut être affectée par l'échauffement cinétique.

Hélicoptère VIP :

- Données climatiques : la température extérieure moyenne considérée est de 15°C et la variation jour / nuit de 10°C,
- Données de zone : lorsque les équipements de la zone contenant le calculateur de navigation sont allumés, leur dissipation totale crée un échauffement de la zone de 15°C qui est atteint en 5 minutes. En vol, la prise d'altitude étant de 1500 m en moyenne, cela engendre un refroidissement de la température extérieure et donc de la zone de 10°C. L'échauffement cinétique n'est pas significatif,
- Données équipement : la dissipation propre du calculateur génère un échauffement de l'équipement de 15°C atteint en 3 minutes.



Cela permet alors de tracer le graphe de température suivant :



La courbe rouge représente la température ambiante extérieure au système en phase parking.

La courbe jaune représente la température de la zone du système.

Les autres courbes (verte, bleue) représentent la température interne de l'équipement dans les différentes phases.

Il est alors possible de quantifier la T_{ambiante} de chaque phase du profil de vie :

- Parking (courbe rouge) : sur 24h, la température varie de 10 à 20 °C avec une moyenne de 15°C sans jamais se stabiliser. Dans ce cas $T_{\text{amb}} = 15^{\circ}\text{C}$,
- Sol-On 1 (courbe verte) : la température part de 15°C augmente de 30 °C (zone +15°C et équipement +15°C) pour essayer d'atteindre les 45°C. Cependant, la température n'a pas le temps de se stabiliser, la température considérée pour cette phase est calculée comme étant $15^{\circ}\text{C} + 0,70 \times 30^{\circ}\text{C} = 36^{\circ}\text{C}$. Donc $T_{\text{amb}} = 36^{\circ}\text{C}$,
- Vol (courbe bleue): la température composant chute de 10°C en raison de la prise d'altitude et se stabilise à 35°C. $T_{\text{amb}} = 35^{\circ}\text{C}$.

3.1.3. Quantification des données de cyclage thermique

Le calcul des données de cyclage thermique (ΔT , $T_{\text{max-cyclage}}$, N_{cy} et θ_{cy}) nécessite deux étapes :

- L'identification des cycles thermiques. Un cycle thermique commence avec l'arrivée d'un événement perturbateur qui génère une variation de température et s'achève lorsque cette perturbation n'agit plus et après retour à sa température initiale. En conséquence, chaque cycle thermique correspond à une phase du profil de vie élaboré en 1.4,
- Le tracé des cycles thermiques sur les graphes de températures qui permet la quantification des données de cyclage thermique.

Remarques :

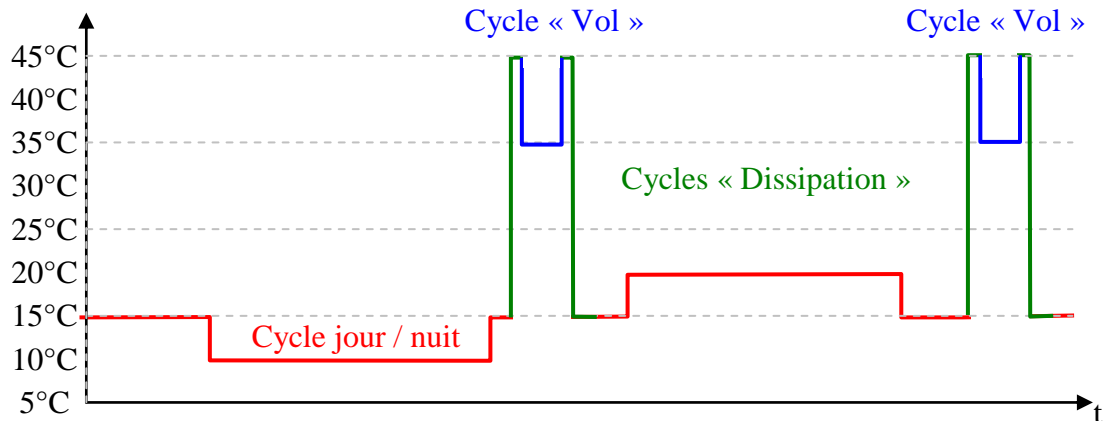
- Le temps que met le système à retrouver sa température initiale est compris dans le temps du cycle : θ_{cy} . En conséquence, le cycle thermique d'une phase peut déborder sur la phase suivante en raison de l'inertie thermique du système,
- Il est possible qu'à une phase du profil de vie ne corresponde aucun cycle thermique, si la création de cette phase est de cause non thermique. Alors les données de cyclage thermique pour cette phase seront de valeurs nulles.

Hélicoptère VIP :

1. Identification des cycles thermiques.
En reprenant l'enchaînement des phases formalisé dans le tableau 4, et en ne conservant que les causes de variation thermique, il devient possible d'identifier les cycles thermiques associés à chacune des phases du profil de vie.

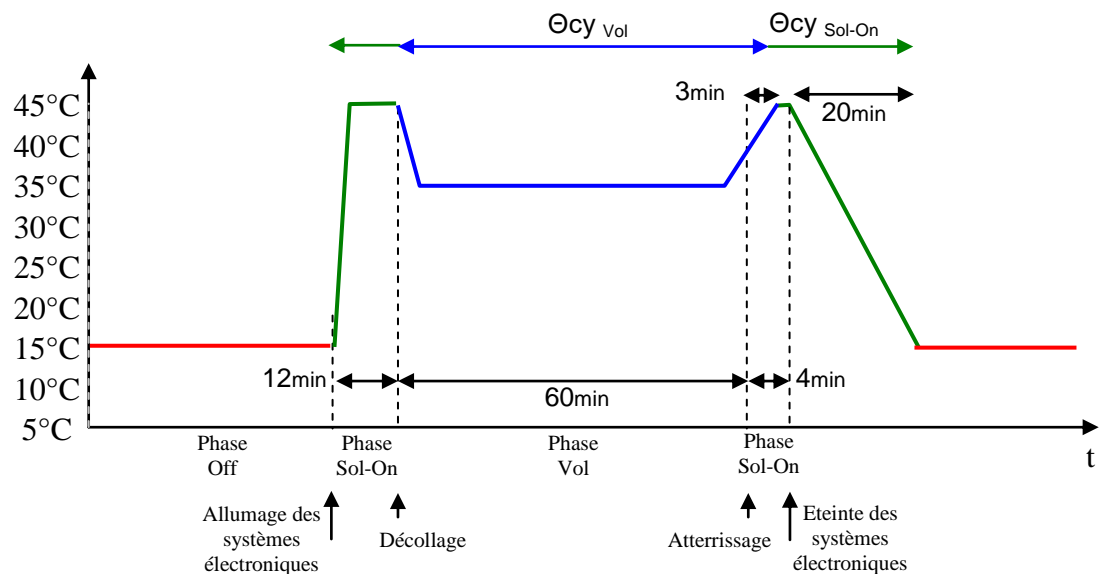
Phase	Evènements perturbateur générant un cyclage thermique	Causes de cyclage thermique
Off - 24h	Variation jour / nuit	- Echauffement de la T° extérieure par le soleil
Off	Variation jour / nuit	- Echauffement de la T° extérieure par le soleil
Sol-On1	Allumage / Eteinte des systèmes électroniques	- Dissipation thermique des équipements
Vol1	Décollage / atterrissage	- Dissipation thermique des équipements - Variation d'altitude
Sol-On2	Allumage / Eteinte des systèmes électroniques	- Dissipation thermique des équipements
Vol2	Décollage / atterrissage	- Dissipation thermique des équipements - Refroidissement dû à la prise d'altitude

2. Tracé des cycles thermiques.
En reprenant le spectre de température de la journée « fonctionnement », il devient alors possible de lui superposer les cycles thermiques.



Données d'inertie thermique :

- Une fois au sol, le temps de retour à la température initiale de 45°C est estimé à 3 minutes,
- Une fois les équipements éteints, le temps de retour à la température initiale de 15°C est estimé à 20 minutes.



Il devient possible de quantifier la durée des cycles thermiques : les Θ_{cy} .

Cette figure montre qu'en raison du temps que mets la température à revenir à sa valeur initiale, les durées des cycles thermiques déborde sur la phase suivante. Ainsi, $\Theta_{cy}(\text{Vol}) = 60 + 3 = 63 \text{ min}$

$$\Theta_{cy}(\text{Sol-On}) = 12 + 4 + 20 - 3 = 33 \text{ min}$$

Le cycle « Vol » en bleu commence avec l'évènement « décollage ». Ce cycle comprend une partie du temps passé en « Sol-On » à remonter jusqu'à 45°C car le cycle s'achève lorsqu'il y a retour à la température initiale.

- $T_{\text{max_cyclage}} = 45^\circ\text{C}$,
- $\Delta T = T_{\text{max}} - T_{\text{min}} = 10^\circ\text{C}$,

- $N_{cy} = 100$ cycles par an,
- $\Theta_{cy} = 60 + 3 \text{ minutes} = 63 \text{ minutes} = 1,05 \text{ h}$ (comprends le temps de retour à 45°C en phase Sol-On).

Le cycle « Dissipation » commence avec l'évènement « Allumage des systèmes électroniques », est coupé par le cycle « vol », puis reprend jusqu'à retour à sa température initiale de 15°C.

- $T_{\max_cyclage} = 45^\circ\text{C}$,
- $\Delta T = 30^\circ\text{C}$,
- $N_{cy} = 100$ cycles par an,
- $\Theta_{cy} = 12 + 4 + 20 - 3 = 33 \text{ min} = 0,55 \text{ h}$ (comprend le temps de retour à 15°C en phase parking et ne comprends pas les 3 minutes absorbées par le cycle « vol »).

Le cycle « jour / nuit » en rouge constitue le reste du temps.

- $T_{\max_cyclage} = 20^\circ\text{C}$,
- $\Delta T = 10^\circ\text{C}$,
- $N_{cy} = 100$ cycles par an,
- $\Theta_{cy} = 24 - 2 \times 1,05 - 2 \times 0,55 = 20,8 \text{ h}$ (sont soustraits des 24 heures le cumul des temps des 4 autres cycles considérés).

3.1.4. Quantification des données d'humidité

Pour le calcul du taux d'humidité à considérer dans le profil de vie FIDES, il faut connaître :

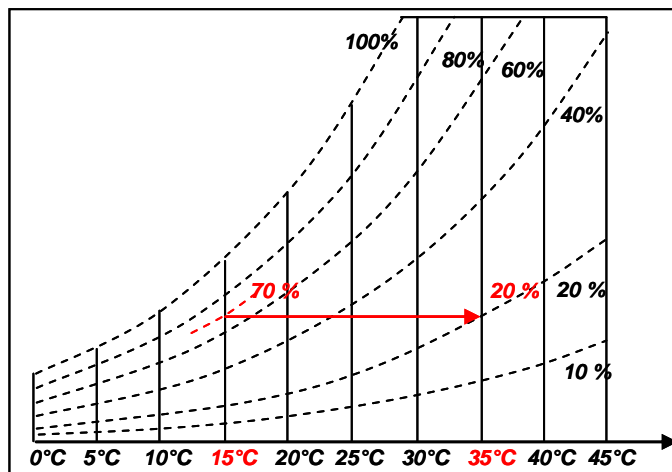
- Le taux d'humidité relative extérieur à l'équipement,
- La température extérieure à l'équipement,
- L'échauffement interne de l'équipement.

Hélicoptère VIP :

En phase parking un taux d'humidité moyen en climat tempéré de 70% à 15°C est considéré.

La température ambiante résultant de l'échauffement généré par la dissipation des équipements est de 36°C en Sol-On et 35 °C en Vol.

L'abaque permet alors de calculer que l'humidité résultante de cet assèchement est de 20%.



3.1.5. Exposition aux surcharges accidentelles (facteur d'application)

Le facteur d'application a été établi de la façon suivante :

Critères	Niveau pour la phase Parking	Niveau pour les phases Sol-On	Niveau pour les phases Vol
Type d'utilisateur dans la phase considérée	Modéré (respect général des règles)	Modéré (respect général des règles)	Modéré (respect général des règles)
Niveau de qualification de l'utilisateur dans la phase considérée	Modéré	Modéré	Favorable (pilote)
Mobilité du système	Faible	Faible	Sévère
Manipulation du produit	Favorable (produit non manipulé)	Favorable (produit non manipulé)	Favorable (produit non manipulé)
Type de réseau électrique du système	Favorable (non alimenté)	Sévère (réseau perturbé)	Modéré (réseau peu perturbé)
Exposition du produit à l'activité humaine	Modéré (maintenance par exemple)	Faible	Faible
Exposition du produit aux perturbations de machines	Faible	Modéré (exposition indirecte)	Modéré (exposition indirecte)
Exposition du produit aux intempéries	Modéré (exposition indirecte)	Modéré (exposition indirecte)	Modéré (exposition indirecte)
Valeur de $\Pi_{\text{application}}$	2,33	2,71	2,51

3.1.6. Simplification et finalisation du profil de vie FIDES

Deux lignes du profil de vie ont le même impact sur la fiabilité si :

- Elles présentent les mêmes valeurs de contrainte physique,
- Elles présentent les mêmes critères de pollution chimique,
- Elles présentent les mêmes valeurs de $\Pi_{\text{application}}$.

Alors, les deux lignes peuvent être fusionnées en une seule qui aura

- Les valeurs de contrainte physique communes aux deux lignes fusionnées ou une moyenne pondérée par la durée (en cas de petits écarts),
- Pour la durée de cycle, la moyenne pondérée par le nombre de cycles (toujours si les écarts sont petits, sinon il n'est pas fondé de regrouper),
- Un $t_{\text{annuel phase}}$ de valeur la somme des deux $t_{\text{annuel phase}}$ des lignes fusionnées
- Un N_{cy} de valeur la somme des deux N_{cy} des lignes fusionnées

Hélicoptère VIP :

En considérant un niveau de vibration de 0,5 Grms en Sol-On et de 6 Grms en Vol, un

$\Pi_{\text{application}}$ calculé dans les conditions d'un hélicoptère VIP, ainsi que le niveau chimique :

- Pollution Saline : faible,
- Pollution d'environnement : modéré,
- Pollution d'application : modéré,
- Equipement : non hermétique.

3.1.7. Table

Hélicoptère - Calculateur de navigation embarqué - Utilisation VIP

		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Off -24h	6360	Off	15	70	10	265	24	20	0,01	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,33
Off	2146	Off	15	70	10	100	20,6	20	0,01	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,33
Sol-On 1	27	On	36	20	30	100	0,6	45	0,5	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,71
Vol 1	100	On	35	20	10	100	1,1	45	6	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,51
Sol-On2	27	On	36	20	30	100	0,6	45	0,5	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,71
Vol 2	100	On	35	20	10	100	1,1	45	6	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,51

Le profil de vie précédent peut être simplifié sans modification sensible du résultat final par fusion des lignes qui décrivent des contraintes similaires :

Hélicoptère - Calculateur en baie avionique - Utilisation VIP - Climat tempéré (température extérieure de 15°C)														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Off	8506	Off	15	70	10	365	23,1	20	0,01	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,33
Sol-On	54	On	36	20	30	200	0,6	45	0,5	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,71
Vol	200	On	35	20	10	200	1,1	45	6	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,51

Sur le principe de construction du profil de vie précédent, il est possible de construire les profils de vie de différents équipements pour différentes utilisation d'un même hélicoptère.

Influence du climat.

Le profil qui suit s'applique au même produit que le précédent mais considère un climat tropical. Pour mettre en exergue l'influence du climat, ce profil décompose l'année en trois saisons.

Hélicoptère - Calculateur en baie avionique - Utilisation VIP - Climat tropical														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Ete Off	2 127	off	30	90	12	91	23,1	36	0,01	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,33
Ete Sol-On	13	on	51	35	30	50	0,6	60	0,5	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,71
Ete Vol	50	on	50	35	10	50	1,1	60	6,0	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,51
Intersaison Off	4 253	off	25	90	12	183	23,1	31	0,01	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,33
Intersaison Sol-On	27	on	46	35	30	100	0,6	55	0,5	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,71
Intersaison Vol	100	on	45	35	10	100	1,1	55	6,0	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,51
Hiver Off	2 127	off	17	90	12	91	23,1	23	0,01	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,33
Hiver Sol-On	13	on	38	35	30	50	0,6	47	0,5	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,71
Hiver Vol	50	on	37	35	10	50	1,1	47	6,0	Faible	Faible	Faible	Non Hermétique	2,51

Influence de la localisation dans l'hélicoptère.

Le profil qui suit s'applique au même hélicoptère VIP en climat tempéré mais considère un produit dans le cockpit (et non plus en baie avionique).

Hélicoptère - Ecran en planche de bord - Utilisation VIP - Climat tempéré (température extérieure de 15°C)														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Off	8 506	Off	15	70	10	365	23,2	20	0,01	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,33
Sol-On	54	On	24	40	10	200	0,4	25	0,5	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	3,21
Vol	200	On	25	40	-	-	-	-	3	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	3,28

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

Influence de la mission.

Le profil qui suit s'applique au même produit, dans les mêmes conditions climatiques que l'exemple de départ, mais pour un hélicoptère destiné à une autre mission (ici : Transport).

Hélicoptère - Calculateur en baie avionique - Utilisation Transport - Climat tempéré (température extérieure de 15°C)														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Off	8 035	Off	15	70	10	365	21,5	20	0,01	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,33
Sol-On	125	On	36	20	30	600	0,5	45	0,5	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,71
Vol	600	On	35	20	10	900	0,7	45	6	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,51

Influence de la mission.

Le profil qui suit s'applique au même produit, dans les mêmes conditions climatiques que l'exemple de départ, mais pour un hélicoptère destiné à une autre mission (ici : Offshore).

Hélicoptère - Calculateur en baie avionique - Utilisation Offshore - Climat tempéré (température extérieure de 15°C)														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Off	7 360	Off	15	70	10	365	19,7	20	0,01	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,33
Sol-On	200	On	36	20	30	500	0,6	45	0,5	Faible	Modérée	Modérée	Non Hermétique	2,71
Vol	1 200	On	35	20	10	1000	1,3	45	6	Forte	Faible	Modérée	Non Hermétique	2,51

3.2. Profil de vie d'un équipement (en baie avionique) monté sur un avion civil moyen courrier

3.2.1. Description du profil en nombre et durée des cycles

Définition du profil

Le profil de vie « typique » d'un équipement (en baie avionique) monté sur un avion civil moyen courrier est constitué des phases suivantes :

- Phase de fonctionnement au sol lors des mises ON et OFF,
- Phase de fonctionnement au sol lors des escales (l'équipement restant en position ON),
- Phase de roulage (entre le moment où l'avion quitte la zone d'embarquement, et le moment où l'avion s'apprête à décoller),
- Phase de vol lors du décollage (montée) et de l'atterrissage (descente),
- Phase de vol stabilisé (régime de croisière),
- Phase de non-fonctionnement au sol : l'équipement est en position OFF (arrêts quotidiens, et phases de maintenance),
- Il est considéré que l'exploitation d'un avion civil moyen / long courrier est réalisée sur un rythme quotidien de 3 vols par jour avec 2 escales intermédiaires (pas ou peu de changement de fuseaux horaires).

Ce type d'avion est en service sur 350 jours par an, le reste pouvant être de l'attente en réserve ou de la maintenance quotidienne.

Phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF »

La durée de préparation du premier vol de la journée et d'extinction de l'appareil après le dernier vol de la journée (durée de la phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF ») est considérée égale à 2 heures. Cette durée inclut le premier chargement et le dernier déchargement de l'avion qui est réalisé en parallèle des activités techniques liées à l'exploitation de l'avion.

Cependant, la durée du cycle thermique est de 13,6 heures. Ceci est dû au fait que d'autres phases sans cycles thermiques sont imbriqués dans celle-ci. A savoir, 4 phases de « Sol-Roulage », 4 de « Vol-Montée/Descente » et 2 de « Vol-Stabilisé ».

Avec 1 cycle quotidien, la durée totale de la phase est de 700 heures par an (2 x 350).

Phase « Sol-Fonctionnement-Escale »

La durée moyenne de cette phase (Turn Around Time) est considérée égale à 2 heures (déchargement, nettoyage, catering, rechargement).

Avec 2 cycles par jour (entre 3 vols), le nombre total de cycles est de 700 par an (2 x 350). La durée totale de la phase est de 1400 heures par an (2 x 700).

Phase « Sol-Roulage »

La durée moyenne du roulage est considérée égale à 0,30 heures (18 minutes).

Avec une phase de roulage avant et après chaque vol, le nombre de cycles est de 6 par jour, soit 2100 par an (2 x 3 x 350). La durée totale de la phase est de 630 heures par an (2100 x 0,30).

Phase « Vol-Montée/Descente »

La durée de la phase « Vol-Montée/Descente » est considérée égale à 1 heure/vol.

Avec 3 vols par jour, le nombre de cycles est de 1050 par an (3 x 350). La durée totale de la phase est de 1050 heures par an (1050 x 1).

Phase « Vol-Stabilisé »

La durée totale du vol moyen est considérée égale à 4 heures, dont 3 heures de « Vol stabilisé ».

Avec 3 vols par jour, le nombre de cycles est de 1050 par an (3 x 350). La durée totale de la phase est de 3150 heures par an (1050 x 3).

Phase « Sol-Dormant »

Cette phase comprend tant les arrêts quotidiens que les 15 jours annuels de non-exploitation pour lesquels il n'a pas été créé une phase spécifique dans cet exemple.

La durée totale de la phase est de 1830 heures par an pour que la durée totale de l'ensemble des phases soit égale à 8760 heures par an (c'est à dire 24 x 365). Dans ce cas, la durée du cycle est de 5,01 heures (1830 / 365).

3.2.2. Définition du profil ON / OFF

Pour les équipements en baie avionique les plus courants, il est considéré que l'équipement est OFF pendant la phase « Sol-Dormant » et ON durant toutes les autres phases.

3.2.3. Définition du profil thermique et cyclage thermique

Le cycle thermique de base est le cycle jour/nuit dans la phase « Sol-Dormant ». La température ambiante considérée est 15°C avec un Delta T de cyclage de 10°C et une température maximale de cyclage de 20°C (la température varie donc entre 10°C la nuit et 20°C le jour).

Lorsque la baie avionique est alimentée, la ventilation est mise en route. La phase transitoire du début du démarrage (pendant laquelle les calculateurs commencent à chauffer alors que la ventilation n'a pas atteint sa pleine efficacité) est négligée (en outre, les calculateurs peuvent démarrer dans une ambiance froide ou chaude avant que la température ne soit régulée).

L'échauffement interne de l'équipement est considéré égal à 15°C (température ambiante des composants par rapport à la température ambiante à l'extérieur de l'équipement).

De plus, compte tenu de l'effet de la ventilation, la température ambiante retenue pour la phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF » est de 40°C, ce qui représente un ΔT de cyclage de 25°C par rapport à la température ambiante de la phase « Sol-Dormant » (15°C). La température maximale du cyclage est égale à la température ambiante (en ON).

La température est considérée comme constante sur l'ensemble des phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », « Roulage », « Vol-Montée/Descente » et « Vol-Stabilisé ». La température ambiante retenue est de 40°C, ce qui représente un Delta T de cyclage de 0°C par rapport à la température ambiante de la phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF ». La température maximale du cyclage est égale à la température ambiante.

Pour la phase « Sol-Fonctionnement-Escale », il est considéré une perte d'efficacité de la régulation de la température liée à l'ouverture des portes de l'avion (cabine passagers et baie avionique). La température ambiante considérée (également température

maximale de cyclage) est de 55°C, ce qui représente un Delta T de cyclage de 15°C par rapport à la température ambiante des phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », « Roulage », « Vol-Montée/Descente » et « Vol-Stabilisé ».

3.2.4. Définition du profil en humidité

Lorsque l'équipement est OFF (phase « Sol-Dormant »), il est considéré un niveau d'humidité moyen de l'ordre de 70%.

Lorsque l'équipement est ON au sol avec les portes de l'avion ouvertes (phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », et « Sol-Fonctionnement-Escale ») : il est considéré que l'échauffement interne fait passer le niveau d'humidité à 30%.

Lorsque l'équipement est ON en vol (phases « Vol-Montée/Descente » et « Vol-Stabilisé ») ou ON au sol avec les portes de l'avion fermées (phase « Sol-Roulage »), il est considéré que l'humidité relative baisse à un niveau de l'ordre de 10% (air très sec du fait du système de ventilation).

3.2.5. Définition du profil vibratoire

Le niveau de sollicitation vibratoire est considéré nul dans la phase « Sol-Dormant ».

Le niveau de sollicitation vibratoire est considéré très faible durant les phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF » et « Sol-Fonctionnement-Escale » : 0,05 G_{RMS} .

La sollicitation vibratoire dans la phase « Roulage » est considérée égale à 5 G_{RMS} .

La sollicitation vibratoire dans les phases « Vol-Montée/Descente » et « Vol-Stabilisé » est considérée égale à 0,6 G_{RMS} .

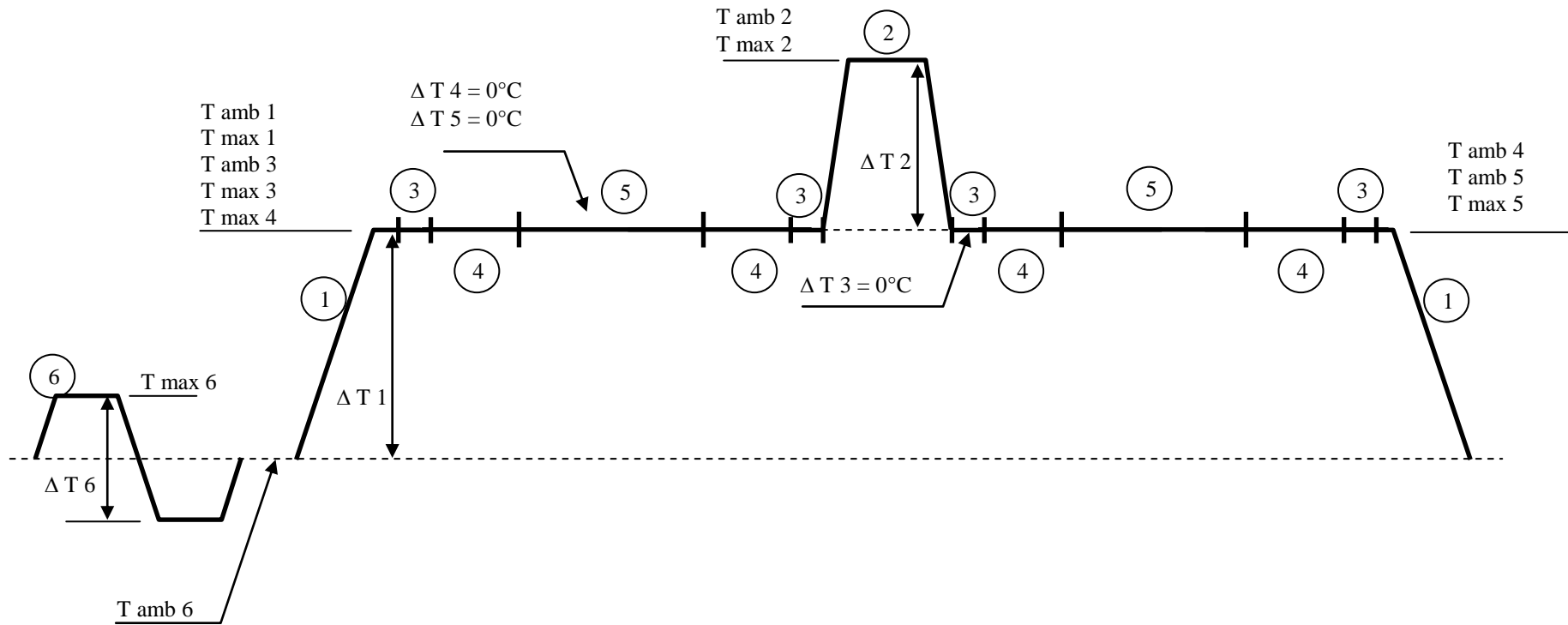
3.2.6. Définition du profil chimique

L'impact du facteur « pollution d'environnement » agit au moment où l'avion est au sol durant les phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », « Sol-Fonctionnement-Escale », et « Sol-Dormant ». Dans ces cas de figures, les équipements peuvent être soumis directement à l'environnement extérieur dans un milieu de type aéroportuaire.

En ce qui concerne les pollutions d'application, seule la phase « Sol-Dormant » peut entraîner l'intervention de personnes à proximité des cases à équipements.

3.2.7. Graphe

Le profil de vie est illustré par le schéma suivant :



3.2.8. Table

Avion civil moyen courrier, calculateur baie avionique														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
① Sol - Fonctionnement ON/OFF	700	On	40	30	25	350	13,6	40	0,05	Faible	Modéré	Modéré	Non hermétique	4,8
② Sol - Fonctionnement Escal	1400	On	55	30	15	700	2,00	55	0,05	Faible	Modéré	Modéré	Non hermétique	2,0
③ Sol - -Roulage	630	On	40	10	-	-	-	-	5	Faible	Faible	Modéré	Non hermétique	1,2
④ Vol - Montée/Descente	1050	On	40	10	-	-	-	-	0,6	Faible	Faible	Modéré	Non hermétique	1,1
⑤ Vol - Stabilisé	3150	On	40	10	-	-	-	-	0,6	Faible	Faible	Modéré	Non hermétique	1,1
⑥ Sol - Dormant	1830	Off	15	70	10	365	5,01	20	0,01	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	3,3

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

3.3. Profil de vie d'un équipement (en baie avionique) monté sur un avion civil turbopropulsé

3.3.1. Description du profil en nombre et durée des cycles

Définition du profil

Le profil de vie « typique » d'un équipement (en baie avionique) monté sur un avion civil turbopropulsé est constitué des phases suivantes :

- Phase de fonctionnement au sol lors des mises ON et OFF,
- Phase de fonctionnement au sol lors des escales (l'équipement restant en position ON),
- Phase de roulage (entre le moment où l'avion quitte la zone d'embarquement, et le moment où l'avion s'apprête à décoller),
- Phase de vol : lors du décollage (montée), du vol stabilisé (régime de croisière), et de l'atterrissage (descente),
- Phase de non-fonctionnement au sol : l'équipement est en position OFF (arrêts quotidiens, et phases de maintenance).

Il est considéré que l'exploitation d'un avion civil turbopropulsé est réalisée sur un rythme quotidien avec 4 vols par jour avec 2 escales (courtes distances). L'avion est mis OFF après chaque cycle de 2 vols comprenant une escale intermédiaire (ce cycle étant répété 2 fois par jour).

Ce type d'avion est en service sur 350 jours par an, le reste pouvant être de l'attente en réserve ou de la maintenance.

Phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF »

Cette phase représente la durée de préparation de chaque vol (mise ON des équipements : 2 fois par jour), et d'extinction de l'appareil (mise OFF des équipements : 2 fois par jour). La durée de cette phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF » est considérée égale à 0,6 heures (36 minutes). Cette durée inclut les phases de chargement et déchargement de l'avion qui est réalisé en parallèle des activités techniques liées à l'exploitation de l'avion.

Avec 2 cycles quotidiens, le nombre total de cycles est de 700 par an (2 x 350). La durée totale de la phase est de 420 heures par an (0,6 x 700).

Phase « Sol-Fonctionnement-Escale »

La durée moyenne de cette phase (TAT) est considérée égale à 0,5 heures soit 30 minutes (déchargement, nettoyage, catering, rechargement).

Avec 2 cycles par jour, le nombre total de cycles est de 700 par an (2 x 350). La durée totale de la phase est de 350 heures par an (0,5 x 700).

Phase « Sol-Roulage »

La durée moyenne du roulage est considérée égale à 0,10 heures (6 minutes).

Avec une phase de roulage avant et après chaque vol, le nombre de cycles est de 4 par jour, soit 2800 par an (2 x 4 x 350). La durée totale de la phase est de 280 heures par an (2800 x 0,10).

Phase « Vol-Montée/Stabilisé/Descente »

La durée totale du vol moyen est considérée égale à 1,2 heures comprenant environ : 0,2 heure (soit 12 minutes) de « Montée/Descente », et 1 heure de « Vol stabilisé ».

Sur un profil type d'avion civil turbopropulsé, les phases de « Montée/Descente » et de « Vol stabilisé » ne peuvent être distinguées avec une absolue précision, et au vu des

durées mises en jeu, il a été décidé de ne prendre qu'une seule phase intitulée « Vol-Montée/Stabilisé/Descente ».

Avec 4 vols par jour, le nombre de cycles est de 1400 par an (4×350). La durée totale de la phase est de 1680 heures par an ($1400 \times 1,2$).

Phase « Sol-Dormant »

Cette phase comprend tant les arrêts quotidiens que les 15 jours annuels de non-exploitation.

La durée totale de la phase est de 6030 heures par an pour que la durée totale de l'ensemble des phases soit égale à 8760 heures par an (c'est à dire 24×365). Dans ce cas, la durée du cycle est de 16,52 heures ($6030 / 365$).

3.3.2. Définition du profil ON / OFF

Pour les équipements en baie avionique les plus courants, il est considéré que l'équipement est OFF pendant la phase « Sol-Dormant » et ON durant toutes les autres phases.

3.3.3. Définition du profil thermique et cyclage thermique

Le cycle thermique de base est le cycle jour/nuit dans la phase « Sol-Dormant ». La température ambiante considérée est 15°C avec un Delta T de cyclage de 10°C et une température maximale de cyclage de 20°C (la température varie donc entre 10°C la nuit et 20°C le jour).

Lorsque la baie avionique est alimentée, la ventilation est mise en route. La phase transitoire du début du démarrage (pendant laquelle les calculateurs commencent à chauffer alors que la ventilation n'a pas atteint sa pleine efficacité) est négligée (en outre, les calculateurs peuvent démarrer dans une ambiance froide ou chaude avant que la température ne soit régulée).

L'échauffement interne de l'équipement est considéré égal à 15°C (température ambiante des composants par rapport à la température ambiante à l'extérieur de l'équipement).

De plus, compte tenu de l'effet de la ventilation, la température ambiante retenue pour la phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF » est de 40°C, ce qui représente un ΔT de cyclage de 25°C par rapport à la température ambiante de la phase « Sol-Dormant » (15°C). La température maximale du cyclage est égale à la température ambiante (en ON).

La température est considérée comme constante sur l'ensemble des phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », « Roulage », et « Vol-Montée/Stabilisé/Descente ». La température ambiante retenue est de 40°C, ce qui représente un Delta T de cyclage de 0°C par rapport à la température ambiante de la phase « Sol-Fonctionnement-ON/OFF ». La température maximale du cyclage est égale à la température ambiante.

Pour la phase « Sol-Fonctionnement-Escale », il est considéré une perte d'efficacité de la régulation de la température liée à l'ouverture des portes de l'avion (cabine passagers et baie avionique). La température ambiante considérée (également température maximale de cyclage) est de 55°C, ce qui représente un Delta T de cyclage de 15°C par rapport à la température ambiante des phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », « Roulage », et « Vol-Montée/Stabilisé/Descente ».

3.3.4. Définition du profil en humidité

Lorsque l'équipement est OFF (phase « Sol-Dormant »), il est considéré un niveau d'humidité moyen de l'ordre de 70%.

Lorsque l'équipement est ON tant au sol (phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », « Sol-Fonctionnement-Escale », et « Sol-Roulage ») qu'en vol (phase « Vol-Montée/Stabilisé/Descente »), il est considéré que l'échauffement interne fait passer le niveau d'humidité à 30%.

3.3.5. Définition du profil vibratoire

Le niveau de sollicitation vibratoire est considéré nul dans la phase « Sol-Dormant ».

Le niveau de sollicitation vibratoire est considéré très faible durant les phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF » et « Sol-Fonctionnement-Escale » : $0,05 G_{RMS}$.

La sollicitation vibratoire dans la phase « Roulage » est considérée égale à $6 G_{RMS}$.

La sollicitation vibratoire dans la phase « Vol-Montée/Stabilisé/Descente » est considérée égale à $1,2 G_{RMS}$.

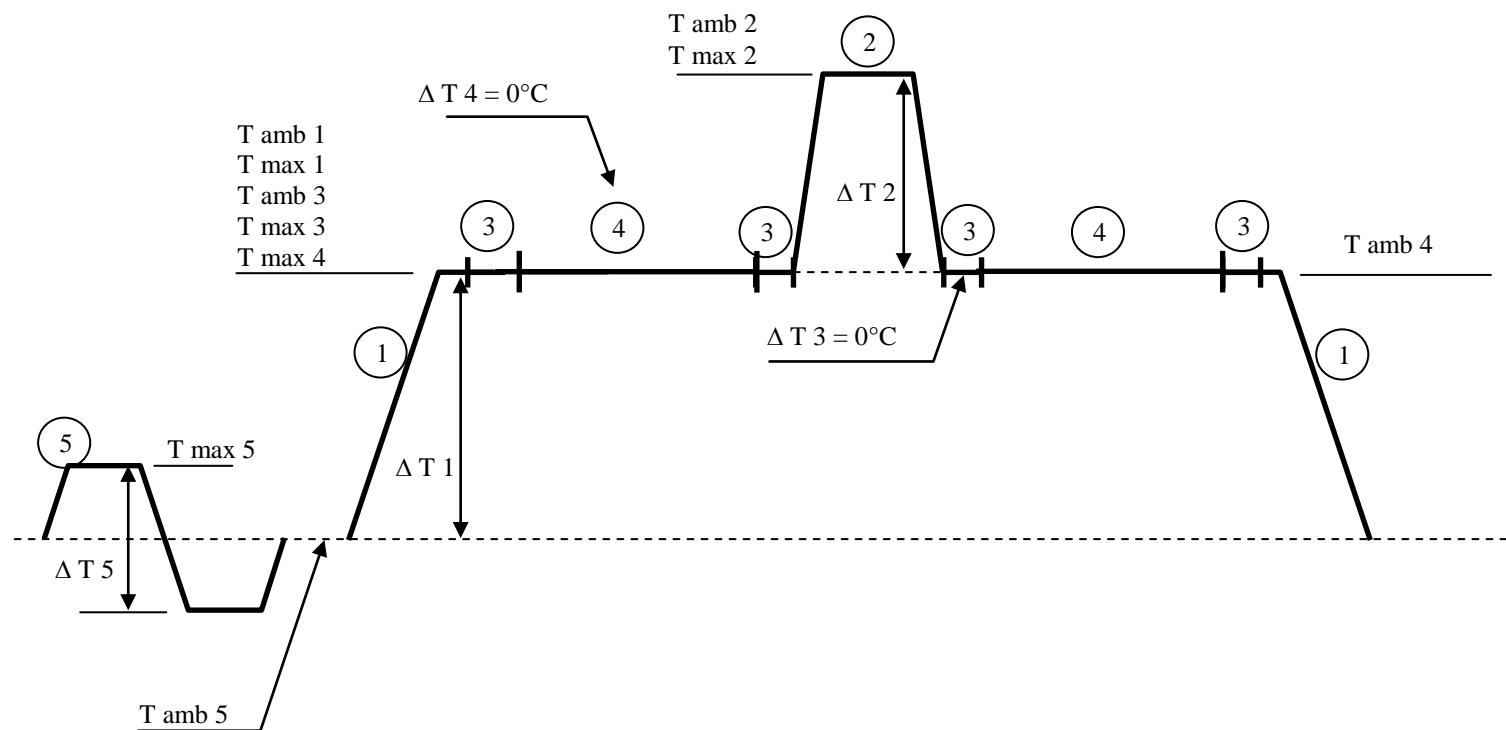
3.3.6. Définition du profil chimique

L'impact du facteur « pollution d'environnement » agit au moment où l'avion est au sol durant les phases « Sol-Fonctionnement-ON/OFF », « Sol-Fonctionnement-Escale », et « Sol-Dormant ». Dans ces cas de figures, les équipements peuvent être soumis directement à l'environnement extérieur dans un milieu de type aéroportuaire.

En ce qui concerne les pollutions d'application, seule la phase « Sol-Dormant » peut entraîner l'intervention de personnes à proximité des cases à équipements.

3.3.7. Graphe

Le profil de vie est illustré par le schéma suivant :



3.3.8. Table

Avion civil turbopropulsé, baie avionique														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
① Sol - Fonctionnement ON/OFF	420	On	40	30	25	700	0,60	40	0,05	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	4,8
② Sol - Fonctionnement Escal	350	On	55	30	15	700	0,50	55	0,05	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	2,0
③ Sol - -Roulage	280	On	40	30	-	-	-	-	6	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	1,2
④ Vol - Montée/ Stabilisé/ Descente	1680	On	40	30	-	-	-	-	1,2	Faible	Faible	Faible	Non hermétique	1,1
⑥ Sol - Dormant	6030	Off	15	70	10	365	16,52	20	0,01	Faible	Modéré	Modéré	Non hermétique	3,3

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

3.4. Profil de vie d'un équipement de type système industriel

3.4.1. Description du profil en nombre et durée des cycles

Définition du profil

Le profil de vie « typique » d'un équipement de type système industriel est constitué des phases suivantes :

Phase de « Contrôle-Surveillance » qui inclut les mises ON et OFF ainsi que le contrôle et la surveillance entre chaque phase de fonctionnement effectif,

Phase de fonctionnement effectif du système en mode de commande,

Phase de non-fonctionnement : l'équipement est en position OFF (arrêts quotidiens, et phases de maintenance).

Il est considéré que l'utilisation d'un équipement de type système industriel (module de commande/contrôle par exemple) est réalisée sur un rythme quotidien de travail de 17 heures avec deux équipes se relayant sur cette période. La mise en œuvre effective de la phase de « Commande-Distribution » se produit 4 fois par jour. Le système est mis OFF à chaque fin de journée.

Ce type d'équipement est en service sur 350 jours par an, le reste pouvant être de la maintenance et/ou intervention sur le système.

Phase « Contrôle-Surveillance » ①

Cette phase représente la durée de préparation du système le matin (mise ON des équipements : 1 fois par jour), et de son extinction à chaque fin de journée (mise OFF des équipements : 1 fois par jour). Elle inclut également les phases de contrôle et de surveillance intermédiaires sur les équipements (entre chaque cycle de « Contrôle-Distribution »).

La durée de cette phase « Contrôle-Surveillance » est considérée égale à 7 heures au total.

Avec 1 cycle quotidien, le nombre total de cycles est de 350. La durée totale de la phase est de 2450 heures par an (7 x 350).

Phase « Commande-Distribution » ②

Cette phase représente le fonctionnement effectif du système en mode de commande. La durée moyenne de cette phase est considérée égale à 2,5 heures.

Avec 4 cycles par jour, le nombre total de cycles est de 1400 par an (4 x 350). La durée totale de la phase est de 3500 heures par an (2,5 x 1400).

Phase « Dormant » ③

Le nombre de cycles considéré pour cette phase est de 365 (cycle jour/nuit sur une année).

La durée totale de la phase est de 2810 heures par an pour que la durée totale de l'ensemble des phases soit égale à 8760 heures par an (c'est à dire 24 x 365). Dans ce cas, la durée du cycle est de 7,7 heures (2810 / 365).

3.4.2. Définition du profil ON / OFF

Pour ce type d'équipement industriel, il est considéré que l'équipement est OFF pendant la phase « Dormant » et ON durant toutes les autres phases.

3.4.3. Définition du profil thermique et cyclage thermique

Le cycle thermique de base est le cycle jour/nuit dans la phase « Dormant ». La température ambiante considérée est 15°C avec un Delta T de cyclage de 10°C et une

température maximale de cyclage de 20°C (la température varie donc entre 10°C la nuit et 20°C le jour).

Lorsque le système est mis sous tension, il est possible de considérer que la température vue est celle de l'atelier, donc aux alentours de 15°C. La phase transitoire du début du démarrage (pendant laquelle le système commence à chauffer) est négligée.

L'échauffement interne de l'équipement est considéré égal à 15°C (température ambiante des composants par rapport à la température ambiante à l'extérieur de l'équipement).

La température ambiante retenue pour la phase « Contrôle-Surveillance » est de 30°C, ce qui représente un Delta T de cyclage de 15°C par rapport à la température ambiante de la phase « Dormant » (15°C). La température maximale du cyclage est égale à la température ambiante (en ON).

Pour la phase « Commande-distribution », il est considéré un échauffement lié au fonctionnement opérationnel de la commande. La température ambiante considérée (également température maximale de cyclage) est de 55°C, ce qui représente un Delta T de cyclage de 25°C par rapport à la température ambiante de la phase « Contrôle-Surveillance ».

3.4.4. Définition du profil en humidité

Lorsque l'équipement est OFF (phase « Dormant »), il est considéré un niveau d'humidité moyen de l'ordre de 80% (équipement positionné dans un atelier).

Lorsque l'équipement est ON (phases « Contrôle-Surveillance », et « Commande-Distribution »), il est considéré que l'échauffement interne du système fait passer le niveau d'humidité à 30%.

3.4.5. Définition du profil vibratoire

Le niveau de sollicitation vibratoire est considéré nul dans la phase « Dormant ».

La sollicitation vibratoire dans les phases « Contrôle-Surveillance », et « Commande-Distribution » est considérée égale à 0,1 G_{RMS}.

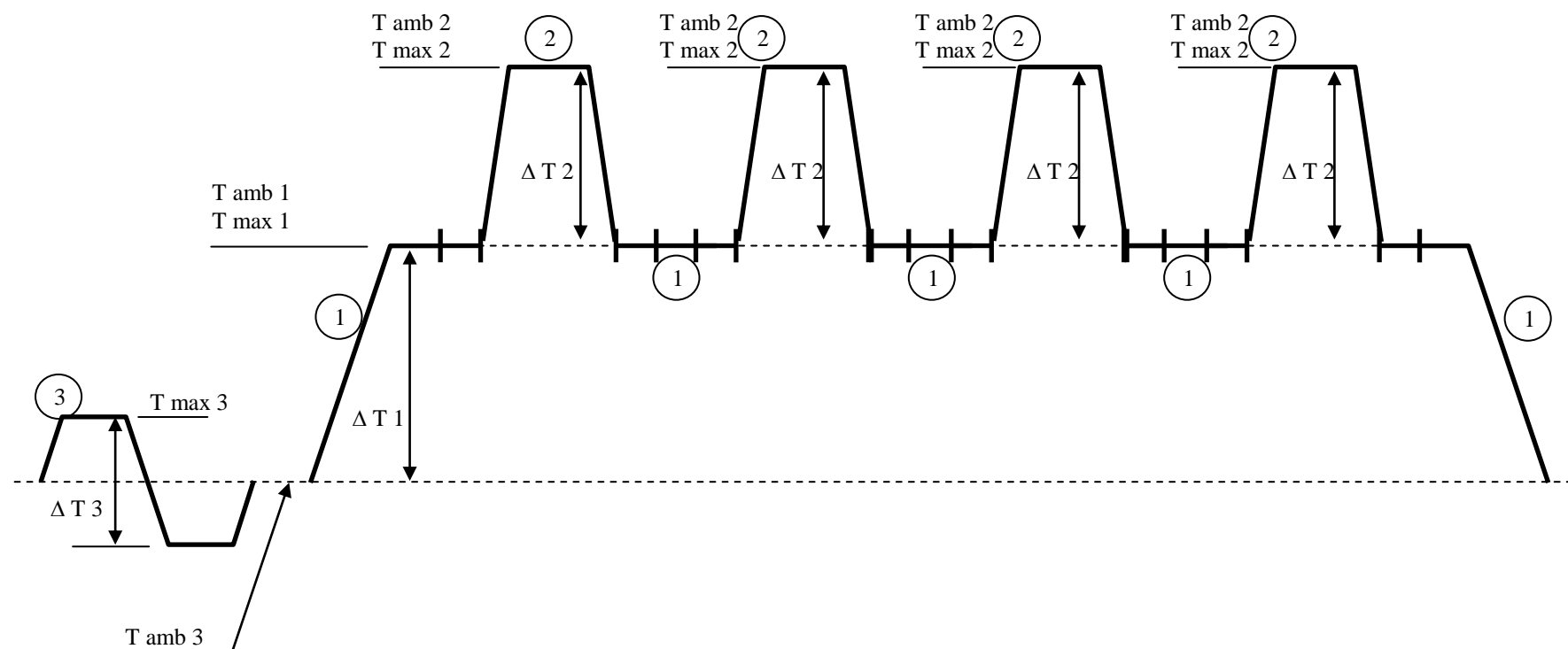
3.4.6. Définition du profil chimique

Vu que l'équipement est situé au niveau d'un atelier dans une usine de production, l'impact du facteur « pollution d'environnement » agit sur l'ensemble des 3 phases : « Contrôle-Surveillance », « Commande-Distribution », et « Dormant ». Le niveau est donc positionné à : « fort ».

En ce qui concerne la zone d'application, l'ensemble des 3 phases peut entraîner l'intervention de personnes au niveau de l'équipement. La zone est donc positionnée à : « modéré ».

3.4.7. Graphe

Le profil de vie est illustré par le schéma suivant :



3.4.8. Table

Système industriel particulier														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
① Contrôle-Surveillance	2450	On	30	30	15	350	7,00	30	0,1	Faible	Fort	Modéré	Non hermétique	5,1
② Commande-Distribution	3500	On	55	30	25	1400	2,50	55	0,1	Faible	Fort	Modéré	Non hermétique	4,6
③ Dormant	2810	Off	15	80	10	365	7,70	20	0,01	Faible	Fort	Modéré	Non hermétique	2,6

3.5. Profil de vie de machine à laver le linge

3.5.1. Principe

Cet exemple de profil de vie, est destiné à montrer l'applicabilité de la méthodologie FIDES même dans les cas où sa définition semble complexe à cause du grand nombre de phases à définir (23 phases pour cet exemple). Il a été construit par regroupement des tâches élémentaires où les contraintes physiques étaient identiques sur la base d'une utilisation de 150 cycles de lavage par an (proche de 3 lavages hebdomadaires) répartis de la manière suivante :

- 17 cycles ou programmes "linge fragile", d'une durée de 58,5 minutes
 - Lavage à froid (30°C),
 - Rinçage,
 - Essorage court (comprend un rinçage).
- 100 cycles "programme normal", d'une durée de 104 minutes
 - Lavage normal (50°C),
 - Deux rinçages,
 - Essorage long (comprend un rinçage).
- 33 cycles ou programmes "linge résistant, très sale", d'une durée de 136,5 minutes
 - Prélavage,
 - Lavage haute température (80°C),
 - Deux rinçages,
 - Essorage long et sévère (comprend un rinçage).

3.5.2. Valeurs des paramètres

Températures, cycles thermiques

Le local dans lequel se trouve la machine à laver est supposé en moyenne à 18°C, avec un cycle thermique journalier d'amplitude 5°C.

Les valeurs de températures indiquées dans ce profil correspondent à la température de l'eau dans la cuve, ce qui n'est pas forcément représentatif pour l'électronique de la machine à laver le linge. L'élaboration d'un profil réaliste devrait tenir compte de la température au voisinage des composants électroniques, qui peut subir d'autres influences que celle de l'eau de la cuve.

Les paramètres de cyclage thermique sont déduits de l'évolution de la température de la cuve entre deux étapes de lavage :

- Chauffages lorsque l'eau est chauffée,
- Refroidissements lors de remplissage avec de l'eau à 18°C.

Humidité relative

La machine à laver de l'exemple est supposée située dans une buanderie dans laquelle l'humidité est normale en période d'inactivité (70%) et plus élevée lorsque des lavages sont effectués (85% à 18°C). Par ailleurs l'humidité au voisinage de l'électronique est supposée uniquement influencée par la température de l'air.

Vibrations

Le niveau de vibration aléatoire a été établi à partir de la vitesse de rotation de la cuve dans la phase considérée.

Pollutions

Le niveau de pollution a été établi comme suit :

- Pas de pollution saline : niveau faible,
- Pollution d'environnement : niveau modéré correspondant à une zone urbaine,
- Pollution d'application : niveau modéré correspondant à une zone non accessible,
- Niveau de protection : non hermétique (le réseau d'eau de la machine est lui étanche).

Exposition aux surcharges accidentelles (facteur d'application)

Le facteur d'application a été établi de la façon suivante :

Critères	Niveau pour la phase inactivité	Niveau pour les phases de fonctionnement
Type d'utilisateur dans la phase considérée	Modéré, utilisateur grand public	Modéré, utilisateur grand public
Niveau de qualification de l'utilisateur dans la phase considérée	Favorable, le produit ne requiert pas de qualification	Favorable, le produit ne requiert pas de qualification
Mobilité du système	Favorable, le produit est fixe	Favorable, le produit est fixe
Manipulation du produit	Faible, le produit n'est pas manipulé en dehors de son fonctionnement	Modéré, le produit est modérément manipulé pour son utilisation
Type de réseau électrique du système	Favorable, le produit est hors tension dans cette phase	Modéré, le produit est alimenté par un réseau peu perturbé
Exposition du produit à l'activité humaine	Modéré, il y a une activité auprès du produit même quand il n'est pas employé	Modéré, il y a une activité auprès du produit quand il est employé
Exposition du produit aux perturbations de machines	Faible, en phase d'inactivité	Modéré, en phase de fonctionnement
Exposition du produit aux intempéries	Faible, le produit est dans un local intérieur	Faible, le produit est dans un local intérieur
Valeur de $\Pi_{\text{application}}$	1,9	2,7

3.5.3. Table

Machine à laver le linge														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π _{application}
Inactivité	8 502,52	Off	18	70	5	365	23,29	20,5	0,01	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	1,9
Remplissage 18°C (cuve à 18°C)	21,65	On	18	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Remplissage 18°C (cuve à 30°C)	2,50	On	18	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Remplissage 18°C (cuve à 50°C)	5,00	On	18	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Remplissage 18°C (cuve à 80°C)	1,65	On	18	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Rinçage	50,52	On	18	85	-	-	-	-	9,0	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Essorage court, non agressif	0,99	On	18	85	-	-	-	-	14,0	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Essorage long, non agressif	11,67	On	18	85	-	-	-	-	14,0	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Essorage long, sévère	3,85	On	18	85	-	-	-	-	16,0	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Attente ouverture	2,50	On	18	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Vidange (cuve à 18°C)	21,65	On	18	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Vidange (cuve à 30°C)	2,50	On	30	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Vidange (cuve à 50°C)	5,00	On	50	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Vidange (cuve à 80°C)	1,65	On	80	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Lavage court (cuve à 30°C)	6,67	On	30	85	-	-	-	-	9,0	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Lavage normal (cuve à 50°C)	33,33	On	50	85	-	-	-	-	9,0	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7

Machine à laver le linge														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Lavage normal (cuve à 80°C)	11,00	On	80	85	-	-	-	-	9,0	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Repos court, cuve pleine (cuve à 30°C)	6,67	On	30	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Repos normal, cuve pleine (cuve à 50°C)	33,33	On	50	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Repos normal, cuve pleine (cuve à 80°C)	11,00	On	80	85	-	-	-	-	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Chauffage à 30°C	2,50	On	30	85	12	50	0,05	30,0	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7
Chauffage à 50°C	13,33	On	50	85	32	100	0,13	50,0	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	1,9
Chauffage à 80°C	8,53	On	80	85	62	33	0,26	80,0	0,5	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	2,7

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

Pour la lisibilité du profil de vie, les paramètres de nombre de cycles, de durée de cycle et de température maximum dans la phase sont renseignés même quand il n'y a pas de cycle thermique. Les remplissages de cuves avec l'eau froide provoquent un refroidissement mais pas un cycle : ce refroidissement termine le cycle commencé par le chauffage.

3.6. Profil de vie d'emport externe d'avion d'armes multi-rôles

3.6.1. Principe

Pour les produits utilisés sur avion d'armes il existe une convention de calcul pour calculer un MTBF par heure de vol dans un profil de mission journalier qui comprend :

- Une heure de vol par jour,
- Une demi-heure de maintenance avion par jour,
- Le reste de la journée à l'arrêt.

Utiliser un profil de vie conventionnel, donc arbitraire, est forcément très nuisible au réalisme de la prévision. Mais cela peut être pratique pour comparer des données prévisionnelles entre elles. Dans ce cas la comparaison de la fiabilité prévue avec une fiabilité observée ne peut bien sûr pas se faire directement.

Le profil donné ici en exemple a pris comme contrainte de respecter cette convention tout en décrivant les diverses missions de l'avion (plus ou moins longue qu'une heure). Ce profil a été construit par la méthode des journées types décrites sur le cas de l'hélicoptère.

3.6.2. Caractéristiques

Choix et durées des phases

Pour un avion d'armes, il existe plusieurs conventions pour le décompte des "heures de vol". Ces conventions incluent plus ou moins des temps de fonctionnement au sol. Celle retenue ici consiste à retenir comme "heures de vol" les durées dites "de cales à cales" qui inclut dans le "temps de vol" les temps de fonctionnement au sol (autres que la maintenance).

Trois types de mission sont pris en compte dans cet exemple.

- Mission de patrouille ou de convoyage, 1 heure de vol (40% des missions) :
 - Attente au sol,
 - Roulage,
 - Montée,
 - Croisière (vitesse moyenne),
 - Descente,
 - Roulage,
 - Attente au sol.
- Mission basse altitude, 1,5 heure de vol (30%) :
 - Attente au sol,
 - Roulage,
 - Montée,
 - Croisière aller,
 - Mission basse altitude (vitesse moyenne),
 - Croisière retour,
 - Descente,
 - Roulage,
 - Attente au sol.
- Mission haute altitude, 0,75 heure de vol (30%) :
 - Attente au sol,
 - Roulage,
 - Montée,

- Mission haute altitude (vitesse élevée),
- Descente,
- Roulage,
- Attente au sol.

Le choix de la durée des phases est tel que, en moyenne, l'avion fait :

- Une heure de vol par jour,
- Une demi-heure de maintenance avion par jour,
- Le reste de la journée à l'arrêt.

Ce profil de vie peut donc être compatible avec la convention en vigueur. Cependant, les vols ont été décomposés en 6 phases pour décrire convenablement les différents types d'environnements. En particulier, cette décomposition révèle que certaines phases de vol se caractérisent par des contraintes thermiques élevées, d'autres par une presque absence de contrainte thermique.

Température et cycles thermiques

Les phénomènes thermiques sont multiples et se superposent. Ce sont :

- Cyclage thermique jour / nuit,
- Dissipation thermique du produit sous tension,
- Variation de la température avec l'altitude (qui dépend de la mission),
- Echauffement cinétique (qui dépend de la vitesse donc de la mission).

Humidité

L'humidité relative est supposée de 70% à 15°C au sol. Ensuite seule l'influence de la température est prise en compte.

Vibration

Le niveau de vibration en vol et en roulage est élevé. En phase de croisière le niveau vibratoire est pris plus faible.

Exposition aux surcharges accidentelles - facteur d'application

Ce facteur a été établi de la façon suivante :

Critères	Niveau pour la phase Sol-off	Niveau pour les phases roulage et vol	Niveau pour la phase maintenance
Type d'utilisateur dans la phase considérée	Défavorable Utilisation militaire: les contraintes de mission prévalent sur le respect du matériel	Défavorable Utilisation militaire: les contraintes de mission prévalent sur le respect du matériel	Défavorable Utilisation militaire: les contraintes de mission prévalent sur le respect du matériel
Niveau de qualification de l'utilisateur dans la phase considérée	Modéré	Favorable (pilote)	Modéré
Mobilité du système	Faible	Forte	Faible
Manipulation du produit	Favorable (produit non manipulé)	Favorable (produit non manipulé)	Modéré (produit parfois manipulé)
Type de réseau électrique du système	Favorable (non alimenté)	Sévère (réseau perturbé)	Sévère (réseau perturbé)
Exposition du produit à l'activité humaine	Modéré (mise à poste par exemple)	Faible	Modéré (maintenance par exemple)
Exposition du produit aux perturbations de machines	Faible	Modéré (exposition indirecte)	Faible
Exposition du produit aux intempéries	Modéré (exposition indirecte)	Modéré (exposition indirecte)	Modéré (exposition indirecte)
Valeur de $\Pi_{\text{application}}$	4,4	5,0	5,5

Le cas de la phase "Vol - Attente sous tension au sol" qui précède le roulage conduit à un facteur application de 4,8.

3.6.3. Table

Avion d'armes - Multi-rôle - Emport externe - Climat tempéré														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Sol - Non fonctionnement	8 213	Off	15	70	10	365	22,50	20	0,01	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	4,4
Vol - Attente sous tension au sol	37	On	35	20	20	365	0,10	35	0,50	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	4,8
Vol - Roulage	37	On	35	20	-	-	-	-	8,00	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	5,0
Vol - Montée et descente	73	On	35	20	-	-	-	-	8,00	Faible	Faible	Modéré	Non Hermétique	5,0
Vol - Croisière	131	On	- 2	90	37	219	0,80	35	4,00	Faible	Faible	Modéré	Non Hermétique	5,0
Vol - Mission basse altitude	37	On	50	10	52	73	0,50	50	8,00	Faible	Faible	Modéré	Non Hermétique	5,0
Vol - Mission haute altitude	51	On	70	10	35	146	0,35	70	8,00	Faible	Faible	Modéré	Non Hermétique	5,0
Sol - Maintenance	183	On	35	20	20	365	0,50	35	0,50	Faible	Modéré	Modéré	Non Hermétique	5,5

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

3.7. Autres exemples

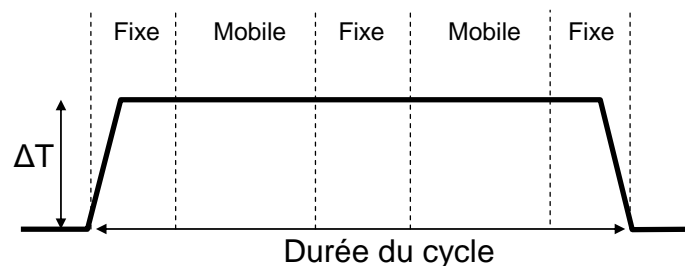
Blindé chenillé militaire														
		Thermique et Humidité			Cyclage thermique*				Mécanique	Chimique				Induit
Intitulé de la phase	Temps calendaire (heures)	On/Off	Température ambiante (°C)	Taux d'humidité (%)	ΔT (°C)	Nombre de cycles (/an)	Durée du cycle (heures)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Fixe alimenté	152	On	50	40	35	48	5,06	50	0,01	Faible	Faible	Faible	Non hermétique	6,2
Mobile alimenté	91	On	50	40	-	-	-	-	4	Faible	Faible	Faible	Non hermétique	6,7
Mobile non alimenté (transport logistique)	100	Off	15	70	-	-	-	-	0,5	Faible	Faible	Faible	Non hermétique	5,2
Fixe non alimenté	8417	Off	15	70	10	365	23,06	20	0,01	Faible	Faible	Faible	Non hermétique	7,5

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

Radio portable militaire														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π 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

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

Ce profil de vie décrit le poste de radio d'un fantassin. Il illustre un cas où une phase comprend un cycle thermique d'une durée plus longue que la phase elle-même. Dans ce profil de vie, le système est mis sous tension alors qu'il est fixe (phase "Opération - Fonctionnement fixe"). Cette phase porte donc le cycle thermique de mise sous tension. Une fois sous tension, le système est transporté, ce qui est décrit dans une autre phase ("Opération - Fonctionnement mobile") qui ne provoque pas de nouveau cycle thermique mais correspond à un niveau vibratoire plus sévère. La durée du cycle thermique de mise sous tension correspond donc au temps de fonctionnement fixe plus le temps de fonctionnement mobile.



Ordinateur personnel bureautique														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Marche	2860	On	50	10	30	220	13	50	0,1	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	3,1
Arrêt	2420	Off	20	50	5	220	11	23	0,01	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	1,6
Jour d'inactivité	3480	Off	20	50	5	145	24	23	0,01	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	1,6

Profil de vie d'un ordinateur personnel bureautique utilisés 220 jours par an. Les autres jours l'ordinateur n'est pas mis sous tension. Les jours où il est utilisé, l'ordinateur est mis sous tension manuellement le matin à 9H00 et il est éteint automatiquement à 22H00. En fonctionnement l'échauffement intérieur est de 30°C. Le local dans lequel se trouve l'ordinateur est climatisé le jour. La température moyenne est de 20°C avec un cycle thermique quotidien de 5°C.

Automobile - équipement de contrôle moteur														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	$\Pi_{\text{application}}$
Non fonctionnement / Journée complète	720	Off	14	70	10	30	24	19	0,01	Faible	Modéré	Modéré	Hermétique	3,09
Non fonctionnement / Nuit	7532	Off	14	70	10	335	22,5	19	0,01	Faible	Modéré	Modéré	Hermétique	3,09
Démarrage / Nuit	117	On	32	50	22	670	0,2	32	2	Faible	Modéré	Modéré	Hermétique	4.80
Démarrage / Jour	58	On	32	60	18	1340	0,04	32	2	Faible	Modéré	Modéré	Hermétique	4.80
Fonctionnement pleine charge	201	On	85	30	53	335	0,6	85	1	Faible	Modéré	Modéré	Hermétique	4.80
Fonctionnement autoroute	131	On	60	30	28	30	4,4	60	2	Faible	Modéré	Modéré	Hermétique	4.80

Le profil de vie est celui d'un équipement de contrôle d'un moteur automobile.

L'automobile est utilisée 335 jours par an et est au repos complet 30 jours par an. Lors des jours d'utilisation, deux situations types sont identifiées :

- La première (qui se répète deux fois par jour) commence par un démarrage de nuit (la température est de 10°C et monte à une température de référence de 32°C) et se poursuit avec une phase de fonctionnement sur autoroute (pendant laquelle la température se stabilise à 60°C) puis une phase de fonctionnement à pleine charge (pendant laquelle la température se stabilise à 85°C),
- La seconde (qui se répète quatre fois par jour) commence par un démarrage de jour (la température est de 14°C et monte à une température de référence de 32°C) et se poursuit avec une phase de fonctionnement sur autoroute (pendant laquelle la température se stabilise à 60°C) puis une phase de fonctionnement à pleine charge (pendant laquelle la température se stabilise à 85°C).

Entre une phase de fonctionnement sur autoroute et une phase de fonctionnement à pleine charge, la température revient à sa valeur de référence.

Satellite d'orbite basse - équipement de la charge utile (équipement d'observation de type caméra)														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Lancement	2	Off	15	0	-	-	-	-	18	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,95
Atteinte d'orbite	4378	Off	15	0	10	2189	2	20	0,01	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,23
Stabilisation en orbite	2	Off	20	0	5	1	2	20	0,01	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,13
Fonctionnement en orbite (OFF)	10950	Off	20	0	10	21900	0,5	25	0,01	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,13
Fonctionnement en orbite (ON)	32850	On	25	0	5	65700	0,5	25	0,01	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,27

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

Le profil de vie ci-dessus représente la mission d'un équipement électronique de la charge utile (exemple : caméra) d'un satellite d'orbite basse évoluant jusqu'à 2 000 kms d'altitude, typiquement un satellite d'observation.

La mission commence par une étape de lancement qui dure 2 heures et se termine à l'arrivée du satellite sur l'orbite d'injection ; le satellite est alors hors tension, la température ambiante est de 15°C sans variation de température (température contrôlée).

La mission se poursuit par une étape de mise en orbite qui dure 6 mois et permet au satellite d'atteindre son orbite de destination (propulsion électrique). Pendant cette phase, les équipements de la charge utile sont hors tension mais subissent les cycles thermiques de l'orbite sur laquelle ils se situent :

- La durée d'une orbite (une orbite = un tour de la Terre) est de 120 minutes,
- La variation de température est de +/- 5°C autour de la température de référence de 15°C.

Une fois le satellite sur son orbite de destination (dont les caractéristiques sont inchangées : durée de 2 heures et variation de température de +/- 5°C autour de la température de référence de 15°C), l'équipement est mis sous-tension lorsque les prises de vue sont possibles ; pour construire le profil de vie ci-dessus, 3 mises sous tension sont considérées par orbite à intervalles de temps réguliers avec une durée de prise de vue de 30 minutes à chaque mise sous tension.

Note : la phase « Stabilisation en orbite » n'a pas de réalité physique ; elle a été ajoutée pour permettre la transition entre la phase « Atteinte d'orbite » et la phase « Fonctionnement en orbite / Off ».

Satellite d'orbite géostationnaire - équipement de plateforme (de type calculateur)														
		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)	Température maximale au cours du cyclage (°C)	Vibrations aléatoires (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application	Niveau de protection	Π application
Lancement	2	Off	15	0	-	-	-	-	18	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,95
Atteinte d'orbite	48	On	25	0	10	1	48	25	0,01	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,23
Stabilisation en orbite	32850	On	25	0	5	5475	24	27,5	0,01	Faible	Faible	Faible	Hermétique	1,27

* : Lorsqu'un tiret « - » est renseigné dans les colonnes relatives au cyclage thermique, cela signifie qu'il n'y a pas de cyclage. Pour les besoins du calcul, il est nécessaire de remplacer ces tirets par des valeurs numériques (0 pour ΔT par exemple).

Le profil de vie ci-dessus représente la mission d'un équipement appartenant à un satellite d'orbite géostationnaire, évoluant à environ 36 000 kms de la Terre ; l'équipement considéré est un équipement de la plateforme, de type calculateur.

La mission commence par une étape de lancement qui dure 2 heures et se termine à l'arrivée du satellite sur l'orbite d'injection ; le satellite est alors hors tension, la température ambiante est de 15°C sans variation de température (température contrôlée).

La mission se poursuit par une étape de mise en orbite qui dure 48 heures et qui permet au satellite d'atteindre son orbite de destination (propulsion électrique) ; durant cette étape, l'équipement est sous tension et soumis aux cycles thermiques de l'orbite :

- La durée d'une orbite (une orbite = un tour de la Terre) est de 24 heures,
- La variation de température lors d'une orbite est de +/- 2,5°C autour de la température de référence.

Enfin, le satellite atteint son orbite de destination, sur laquelle il restera 15 ans. Il demeure sous tension et subit les cycles thermiques de l'orbite :

- La durée d'une orbite (une orbite = un tour de la Terre) est de 24 heures,
- La variation de température lors d'une orbite est de +/- 2,5°C autour de la température de référence.

III

Fiches de calcul du guide d'évaluation

Composants électroniques

Facteur induit

Contributions associées aux surcharges accidentelles

$$\Pi_{induit-i} = (\Pi_{placement} \times \Pi_{application-i} \times \Pi_{durcissement})^{0,511 \times \ln(C_{sensibilité})}$$

L'indice i désigne la phase considérée.

Contribution associée au facteur $C_{sensibilité}$:

Le facteur $C_{sensibilité}$ est donné dans la fiche propre à chaque type d'article.

Les sensibilités relatives aux EOS, TOS, MOS (Electrical Over-Stress, Thermal Over-Stress, Mechanical Over-Stress) sont données à titre d'information, pour montrer la sensibilité relative des familles aux différents types de surcharges.

Le $C_{sensibilité}$ est calculé selon la formule suivante :

$$C_{sensibilité} = \alpha \times EOS + \beta \times MOS + \gamma \times TOS$$

Avec :

- $\alpha=72,5\%$,
- $\beta=22,5\%$,
- $\gamma=5\%$.

Contribution associée au facteur $\Pi_{Placement}$:

L'allocation du $\Pi_{Placement}$ doit se faire selon la fonction électronique dans laquelle le composant est impliqué et non selon la nature ou la technologie du composant lui-même.

Ainsi, les valeurs du paramètre $\Pi_{Placement}$ diffèrent selon le type de fonction (numérique, analogique bas niveau ou analogique de puissance) et selon la position (en interface ou non).

	$\Pi_{Placement}$
Fonction numérique non interface	1,0
Fonction numérique d'interface	1,6
Fonction analogique bas niveau non interface	1,3
Fonction analogique bas niveau interface	2,0
Fonction analogique puissance non interface	1,6
Fonction analogique puissance interface	2,5

Le schéma électronique et une identification de ses blocs fonctionnels constituent généralement les principales entrées pour l'allocation du $\Pi_{Placement}$, qui se fait par zone/fonction technique : tous les composants constituant un même bloc fonctionnel héritent du même $\Pi_{Placement}$.

Bien évidemment, l'identification des blocs fonctionnels d'une carte électronique peut être plus ou moins fine selon le niveau de précision requis : d'un bloc fonctionnel unique pour une étude préliminaire de très haut niveau (une carte électronique = un bloc fonctionnel) à plusieurs blocs et sous-blocs fonctionnels pour une étude détaillée.

Pour déterminer le $\Pi_{Placement}$ il faut répondre à deux questions.

1. Interface ou non interface ?

Une interface est la jonction entre deux systèmes qui permet leur interconnexion. La notion d'interface doit être considérée d'un point de vue électrique. La notion est très dépendante de l'architecture dans laquelle est placé le produit. Un article doit être traité comme "interface" s'il est plus exposé aux agressions électriques accidentelles du fait de sa position dans le système. Les articles qui font la liaison entre un équipement et les systèmes extérieurs sont dans des fonctions d'interface.

Sur une carte électronique, les composants à l'interface sont souvent (mais pas nécessairement) des composants de protections (transil, tranzorb), des filtres (condensateurs, inductances, résistances), des composants d'isolation (optocoupleurs). Les composants d'interface sont souvent électriquement proches d'un connecteur.

2. Numérique, analogique bas niveau ou analogique puissance ?

Les fonctions numériques sont en principe simples à identifier.

Le seuil entre analogique bas niveau et analogique puissance correspond environ à un courant de 1A. Mais d'autres éléments peuvent jouer pour le choix du $\Pi_{\text{placement}}$, comme la tension et surtout le type de fonction :

- D'un point de vue du guide, les fonctions analogiques bas niveau sont principalement des entrées/sorties discrètes, des signaux de mesure, des logiques analogiques,
- Les fonctions de puissances sont principalement des alimentations, de la transmission de puissance.

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{application}}$:

L'évaluation du paramètre $\Pi_{\text{application}}$ se fait par cotation d'une série de critères. Chaque critère peut avoir trois niveaux qui correspondent à une situation favorable, modérée ou défavorable. Chaque critère a un impact particulier sur les overstress (P_{os}) :

 $\Pi_{\text{application}}$: Tableau 1

Critère	Description	Niveaux	Exemples et commentaires	Poids P_{os}
Risque lié à l'utilisateur dans la phase considérée	Traduit l'aptitude au respect des procédures face au poids des contraintes d'utilisation	0: Favorable 1: Modéré 2: Défavorable	0 : l'utilisateur respecte scrupuleusement les règles d'emploi du produit, notamment pour des raisons de qualité et de sécurité 1 : l'utilisateur respecte généralement les règles d'emploi du produit mais le coût est prioritaire 2 : l'utilisateur peut ne pas respecter les règles d'emploi du produit à cause d'un contexte d'utilisation difficile et réduit au seul souci de réussite de mission ou d'atteinte d'objectifs	20
Niveau de qualification de l'utilisateur dans la phase considérée	Traduit le niveau de maîtrise de l'utilisateur ou de l'intervenant vis-à-vis d'un contexte opérationnel	0: Favorable 1: Modéré 2: Défavorable	0: Hautement qualifié 1: Qualifié 2: Faiblement qualifié ou peu expérimenté Dans certaines phases l'utilisateur à considérer est celui qui réalise la maintenance ou l'entretien	10
Mobilité du système	Traduit les aléas liés aux possibilités de déplacement du système	0: Bénin 1: Modéré 2: Sévère	0: Peu d'aléas (environnement fixe ou stable) 1: Aléas modérés 2: Aléas forts, grande variabilité (automobile)	4
Manipulation du produit	Traduit la possibilité de fausses manipulations, chocs, chutes...	0: Bénin 1: Modéré 2: Sévère	0: Non manipulé 1: Manipulation sans déplacement ni démontage 2: Manipulation avec déplacement ou démontage Le niveau sévère devrait être adopté en cas de possibilité de maintenance sur le produit dans la phase considérée	15
Type de réseau électrique du système	Traduit le niveau de perturbation électrique attendu sur les alimentations, les signaux et les lignes électriques : mises sous tension, commutation d'alimentation, connexion/déconnexion	0: Bénin 1: Modéré 2: Sévère	0: Réseau non perturbé (alimentation dédiée régulée) 1: Réseau peu perturbé 2: Réseau soumis à perturbations (réseau de bord) Le type de réseau est une donnée système mais qui peut être déclinée au niveau du produit	4
Exposition du produit à l'activité humaine	Traduit l'exposition aux aléas liés à l'activité humaine : choc, détournement de destination...	0: Bénin 1: Modéré 2: Sévère	0 : Zone inhabitable 1 : Activité possible dans la zone du produit 2 : Activité normale dans la zone du produit Le produit peut être exposé à l'activité humaine même s'il n'est pas lui-même manipulé en usage normal	8
Exposition du produit aux perturbations de machines	Traduit les aléas liés aux fonctionnements de machines, moteurs, actionneurs : choc, surchauffes, perturbations électriques, polluants...	0: Bénin 1: Modéré 2: Sévère	0: Exposition nulle (téléphone) 1: Exposition indirecte (produit en soute) 2: Exposition forte ou directe (produit en zone moteur)	3
Exposition du produit aux intempéries	Traduit l'exposition à la pluie, la grêle, le givre, le vent de sable, la foudre, la poussière...	0: Bénin 1: Modéré 2: Sévère	0: Exposition nulle (habitation) 1: Exposition indirecte (soute, hall de gare) 2: Extérieur (moteur automobile)	2

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{application}}$ (suite).

Chaque critère (type d'utilisateur, mobilité du système...) doit recevoir une réponse pour indiquer un niveau bénin modéré ou sévère :

- Il est important de déterminer le $\Pi_{\text{application}}$ pour chaque phase d'emploi. En effet, l'exposition aux surcharges accidentelles peut être très variable selon le contexte. Il est par exemple intéressant de traduire une exposition accrue dans les phases de maintenance (lorsqu'il y en a),
- Certains critères sont de niveau produit (c'est-à-dire l'entité dont la fiabilité est étudiée, en général un équipement) et d'autres de niveau système (c'est-à-dire l'ensemble dans lequel le produit est intégré, par exemple un avion ou une voiture). Il est important de respecter ce point de vue dans l'évaluation des critères.

Chacun des niveaux bénin modéré ou sévère est affecté d'une pondération spécifique définie dans le tableau qui suit :

 $\Pi_{\text{application}}$: Tableau 2

Niveau	Pondération des notes (P_{notes})
0 : Favorable ou bénin	1
1 : Modéré	3,2
2 : Défavorable ou sévère	10

A partir de ces tableaux et des réponses aux critères, le $\Pi_{\text{application}}$ est obtenu par la formule :

$$\Pi_{\text{application}} = \frac{1}{66} \times \sum_{k=\text{Critères}} P_{\text{notes}_k} \times Pos_k$$

Où :

Les P_{notes_k} sont les pondérations correspondant aux notes données à chaque critère ($\Pi_{\text{application}}$: Tableau 2).

Les Pos_k sont les poids de chaque critère ($\Pi_{\text{application}}$: Tableau 1).

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{Durcissement}}$

La détermination du facteur $\Pi_{\text{Durcissement}}$ demande de répondre au questionnaire qui suit.

Les réponses et les preuves apportées par la personne auditée, permettent de fixer un **niveau de satisfaction** à la recommandation (niveau N1 à N4) :

- N1 = la recommandation n'est pas appliquée → risques certains vis-à-vis de la fiabilité,
- N2 = la recommandation n'est que partiellement appliquée → risques potentiels vis-à-vis de la fiabilité,
- N3 = la recommandation est globalement appliquée → peu de risques vis-à-vis de la fiabilité,
- N4 = la recommandation est pleinement appliquée et fait l'objet d'une procédure → Maîtrise de la fiabilité.

Fiche	Recommandation	Poids
169	Rédiger des procédures complètes pour l'ensemble des opérations de mises en œuvre et de maintenance du produit	7
157	Assurer la formation et gérer le maintien des compétences pour la mise en œuvre et la maintenance du produit	7
158	Assurer le respect des procédures propres au produit et des règles propres aux métiers par un système de suivi adéquat	7
168	Réaliser une revue des opérations de maintenance par l'utilisateur final et traiter ses recommandations	4
156	Assurer la complétude des spécifications d'environnements. Critères de vérification de la complétude des spécifications : analyse, essais, retour d'expérience, respect normatif	4
164	Justifier du respect des spécifications d'environnement	4
165	Mener un processus d'amélioration du produit (par exemple : essais aggravés) afin de limiter la sensibilité du produit aux contraintes environnementales (perturbations, environnements, overstress)	7
167	Réaliser une analyse process des opérations de mise en œuvre et de maintenance	4
170	Respect d'une norme concernant les alimentations (norme qui définisse les perturbations possibles et les variations possibles type EN2282). Le respect doit être assuré aussi bien au niveau génération électrique qu'au niveau consommation électrique	4
166	Réaliser une analyse des cas de panne pouvant donner lieu à une propagation de panne	4
163	Intégrer les environnements de production, de stockage et de maintenance dans les spécifications d'environnement du produit	4
160	Etudier et traiter les risques de détérioration du produit en test par les pannes de ses moyens de test ou de maintenance. Critères : Risques analysés dans la conception du moyen de test et de l'unité testée, mise en place des moyens de prévention adaptés	4
162	Identifier et traiter, par les moyens de prévention adéquats, les utilisations anormales raisonnablement prévisibles	4
161	Identifier et traiter, par les moyens de prévention adéquats, les agressions (liées aux intempéries) raisonnablement prévisibles	4
159	Concevoir des dispositifs de protection électrique sûrs de fonctionnement : - identifier les dispositifs de protection électrique - s'assurer de leur testabilité et de leur maintenabilité - intégrer le cas de ces dispositifs à la définition de la politique de maintenance	4
171	Respect d'une norme concernant les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées : Par respecté, il faut entendre à la fois par le produit et par le système dans lequel il est intégré	3

Les fiches détaillées des recommandations relatives à l'évaluation par audit du $\Pi_{\text{Durcissement}}$ sont présentées avec l'ensemble des fiches des recommandations du guide d'audit et de maîtrise du Processus Fiabilité.

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{Durcissement}}$ (suite)

La note relative à chaque niveau s'établit comme suit :

Niveau	Note
N1	0
N2	1
N3	2
N4	3

Chacune des recommandations est pondérée par un **Poids_Recom** spécifique.

Le facteur $\Pi_{\text{Durcissement}}$ est calculé comme suit :

$$\Pi_{\text{Durcissement}} = e^{0,7 \times (1 - \text{Recom_Grade})}$$

avec:

$$\text{Recom_Grade} = \frac{1}{225} \times \sum_i^{\text{Recommandations}} (\text{Poids_Recom}_i \times \text{Note_Satisfaction}_i)$$

Où :

- Poids_recom est le poids associé à une recommandation,
- Note_satisfaction est la note obtenue pour cette recommandation (0, 1, 2 ou 3).

Remarques :

- Le facteur Recom_Grade varie de 0 (pire cas : aucune recommandation n'est appliquée) à 1 (meilleur cas),
- Le facteur "225" correspond au score obtenu en donnant la meilleure note à chacune des recommandations. Si une (ou plusieurs) recommandation est jugée inapplicable et non pertinente sur un projet donné, il est possible d'actualiser ce total, à la façon dont cela est fait pour le calcul du facteur processus.

En l'absence d'évaluation du $\Pi_{\text{Durcissement}}$, la valeur par défaut de 1,7 est proposée. L'utilisation de la valeur par défaut peut nuire à la précision des résultats finaux.

Facteur fabrication composant

Modèle général associé au facteur fabrication composant Π_{PM} :

$$\Pi_{PM} = e^{1,39 \times (1 - \text{Part_Grade}) - 0,69}$$

Avec, pour les actifs (circuits intégrés, discrets actifs, DEL, optocoupleurs) :

$$\text{Part_Grade} = \left[\frac{(AQ_{\text{fabricant}} + AQ_{\text{composant}} + AF_{\text{composant}}) \times \varepsilon}{36} \right]$$

Et pour tous les autres articles :

$$\text{Part_Grade} = \left[\frac{(AQ_{\text{fabricant}} + AQ_{\text{composant}}) \times \varepsilon}{24} \right]$$

La formule générale de calcul du Π_{PM} peut être particularisée et est alors précisé au cas par cas.

Modèle associé au facteur $AQ_{\text{fabricant}}$

Ce facteur est commun à l'ensemble des articles.

Niveau d'assurance qualité du fabricant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{fabricant}}$
Certifié ISO/TS16949 V2002	Supérieur	3
Certifié selon l'une des normes suivantes : QS9000, TL9000, ISO/TS 29001, EN9100, AS9100, JISQ 9100, AQAP 2110, AQAP 2120, AQAP 2130, IRIS, IEC TS 62239, ESA/SCC QPL, MIL-PRF-38535 QML, MIL-PRF-19500	Equivalent	2
Certifié ISO 9000 version 2000	Inférieur	1
Pas d'information	Très inférieur	0

Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Le paramètre $AQ_{\text{composant}}$ est défini pour chaque famille d'articles. Il prend en compte principalement la méthodologie de qualification sans prendre en compte les sévérités des essais définies dans les normes citées. Pour les composants actifs, les sévérités d'essais sont prise en compte par le facteur $AF_{\text{composant}}$.

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Les critères de niveau sont définis pour chaque famille d'article	Supérieur	3
	Equivalent	2
	Inférieur	1
	Très inférieur	0

Modèle associé au facteur $AF_{composant}$

Le facteur $AF_{fabricant}$ est défini pour les circuits intégrés et les discrets actifs. Il est quantifié en fonction des résultats et de la sévérité des essais réalisés par le fabricant

	Risque $AF_{composant}$
Très fiable niveau A	3
Très fiable niveau B	2
Fiable	1
Non fiable	0

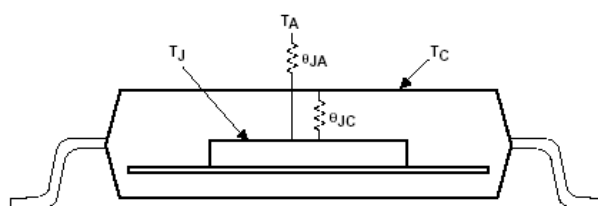
Modèle associé au facteur d'expérience ε :

Le facteur ε doit traduire l'expérience que l'acheteur du composant a de son fournisseur. C'est donc un facteur propre à chaque industriel. Son rôle multiplicatif dans le modèle traduit l'importance de la connaissance des fournisseurs dans la fiabilité des composants. Ce facteur est commun à l'ensemble des articles mais dans certains cas des indications spécifiques pour sa détermination sont proposées.

Description du risque lié à l'utilisation de ce fabricant	Valeur du facteur ε
Fabricant reconnu - Procédés matures pour l'article considéré	4
Fabricant reconnu - Procédés non analysés ou non matures pour l'article considéré	3
Fabricant non reconnu (par exemple jamais audité ou audité depuis plus de 6 ans) ou fabrications de petite série	2
Précédente disqualification ou problème en retour d'exploitation	1

Résistances thermiques des composants

Pour les composants actifs, c'est la température de jonction du composant qui est utilisée par le modèle de contrainte thermique. Cela demande une évaluation de l'élévation de la température de jonction par rapport à la température ambiante. Cette évaluation se fait en général à partir de la puissance dissipée par le composant et de sa résistance thermique entre la jonction et l'ambiante. Les données de résistances thermiques des composants publiées par les fournisseurs sont à utiliser de préférence. A défaut, une méthode d'évaluation des résistances thermiques pour les composants actifs est proposée.



Circuits intégrés

$$R_{JA_0m/s} = C_{type} \cdot Np^{-0.58} \cdot K$$

$$R_{JA_2m/s} = \frac{R_{JA_0m/s}}{1.5}$$

R_{JA_V} = Résistance thermique jonction-ambiante, en fonction de la vitesse du flux d'air

$V = 0$ m/s ou 2 m/s = Vitesse du flux d'air, dépendant de la convection environnementale (0 m/s = convection naturelle)

C_{type} = Constante dépendant du type de boîtier

Np = Nombre de broches du boîtier ; pour les boîtiers QFN, la même formule est applicable avec Np = aire du boîtier en mm².

K = Constante dépendant de la valeur de conductivité thermique dans le plan de la carte ($k_x=k_y$)

Nota :

- Faible Conductivité : $k_x < 15 \frac{W}{m.K}$
- Forte Conductivité : $k_x \geq 15 \frac{W}{m.K}$

Type de Boîtier	C_{type}	Domaine de variation		
QFN (aire en mm*mm)	300	3	< Np <	148
CerDIP / CDIP	320	8	< Np <	48
Power QFP (HQFP, RQFP...)	340	160	< Np <	304
PDIP	360	8	< Np <	68
PPGA	380	28	< Np <	447
PLCC	390	20	< Np <	84
SOIC	400	8	< Np <	32
SOJ	400	24	< Np <	44
CPGA	410	68	< Np <	655
SOP	410	8	< Np <	32
Power BGA-1,27mm (SBGA, TBGA...)	450	256	< Np <	956
J-CLCC	470	28	< Np <	84
CBGA	780	255	< Np <	1156
Cerpack	480	20	< Np <	56
TQFP, VQFP, LQFP	480	32	< Np <	208
PBGA-1,27mm	530	119	< Np <	729
PBGA-1mm	670	20	< Np <	1950
PBGA-0,8mm	850	60	< Np <	480
PBGA-0,5mm	800	60	< Np <	480
PBGA-0,4mm	1000	60	< Np <	480
Flip-Chip BGA 1mm	520	484	< Np <	1932
Power BGA-1mm (SBGA, TBGA...)	550	256	< Np <	1508
SSOP	560	16	< Np <	64
CQFP	560	64	< Np <	256
PQFP	570	44	< Np <	304
TSSOP	650	8	< Np <	64
TSOP	750	5	< Np <	56
LGA	260	14	< Np <	190
WLP	500	4	< Np <	196

Conductivité thermique de carte	K
Faible Conductivité	1,15
Forte Conductivité	0,94

Pour les boîtiers type BGA, compte tenu de la diversité des formes possibles, il peut être préférable de se référer aux données fabricants.

Discrets actifs

R_{JA} = Résistance thermique jonction - ambiante (modèle proposé pour la convection naturelle uniquement, flux d'air = 0 m/s) en °C/W

R_{JC} = Résistance thermique jonction - boîtier (junction-case) en °C/W

N_p = Nombre de broches du boîtier

k_x = Conductivité thermique dans le plan de la carte ($k_x = k_y$) en W/m.K

Faible Conductivité : $k_x < 15 \frac{W}{m.K}$

Forte Conductivité : $k_x \geq 15 \frac{W}{m.K}$

Type de boîtier	Noms équivalents	N_p	R_{JA} Faible conductivité	R_{JA} Forte conductivité	R_{JC}
DO15	DO-204AC	2	60	~42	~5
DO27	DO-201AA	2	41	~30	~1
DO35	DO-204AH	2	378	~241	~134
DO41	DO-204AL	2	73	~50	45
DO92		3	195	~126	150
DO220 *		3	65	~45	4
DPAK *	TO-252AA, SC63, SOT428	4	97	71	4
D2PAK *	TO-263, SC83A, SMD-220	4	58	~40	1
IPACK *	TO-251AA	3	96	50	3
I2PAK		3	63	~44	1
ISOTOP *	SOT227, TO-244, Half-Pak	4	35	~26	1
F126		2	40	~29	~1
SIL	SIL, ZIP	(Voir spécification fabricant)			
SIP	SIL, ZIP	(Voir spécification fabricant)			
SOD6	DO-214AA, SMB-J	2	88	~59	27
SOD15	DO-214AB, SMC-J	2	67	~46	2
SOD80	Mini-MELF, DO213AA	2	568	~361	~172
SOD87	DO-214AC, SMA-J	2	110	~73	~41
SOD110		2	315	~202	~119
SOD123		2	337	~216	130
SOD323	SC76	2	428	~273	~146
SOD523	SC79	2	93	~62	~31
SOT23	TO-236AB	3	443	360	130
SOT23	SC74A, SOT25	5	285	136	106
SOT23	SC74, SOT26, SOT457	6	212	133	110
SOT82 *	TO225	3	100	~67	8
SOT89	SC62, TO-243AA	4	142	125	100
SOT90B		6	500	~318	~160
SOT143	TO-253AA, SC61B	4	473	250	~155
SOT223	SC73, TO261AA	4	84	57	21
SOT323	SC70	3	516	~328	~164
SOT343	SC82	4	215	~139	~88
SOT346	SC59, TO-236AA	3	500	~318	~160
SOT353	SC70-5, SC88A	5	358	229	144
SOT363	SC70-6, SC88	6	553	~351	~164
TO18	TO-71, TO-72, SOT31, SOT18	3	475	~302	150
TO39	SOT5	3	219	~142	58
TO92	SOT54, SC43, TO226AA	3	180	~117	66
TO126	SOT32, TO-225AA	3	95	~64	3

Type de boîtier	Noms équivalents	Np	R _{JA} Faible conductivité	R _{JA} Forte conductivité	R _{JC}
TO218 *	ISOWATT218	3	40	~29	1
TO220 *	TO220-5, ISOWATT220, TO220XX	3	58	~40	4
TO247 *	Max247, Super247, SOT429	3	47	~34	1

Note :

1. Les données avec « ~ » sont des ordres de grandeur résultant d'analyses de régression basées sur des moyennes par type de boîtier.
Il n'existe pas d'essais normalisés pour la mesure des résistances thermiques des boîtiers discrets; les performances thermiques de ces composants dépendent donc uniquement du fabricant. Ces *données en italique* sont fournies à titre indicatif; pour les boîtiers concernés, il est fortement conseillé de se référer aux données fabricant extraites des spécifications.
2. * : Pour les boîtiers de puissance (type TO218, DPAK, ISOTOP...), il faut appliquer la résistance thermique « R_{JA} » uniquement si le boîtier est monté directement sur la carte ; sinon quand le boîtier est (par exemple) vissé sur une structure métallique ou s'il est muni d'un radiateur, il est conseillé d'appliquer la résistance thermique « R_{JC} ».
3. Si le Delta_T du composant est très élevé ($\Delta T = R_{JA} \times P_{Dissipée} > 150^{\circ}\text{C}$), il est préférable de chercher dans la spécification les conditions de mesures thermiques et d'appliquer la valeur de résistance thermique « R_{JA} » fournie par le fabricant, si elle est inférieure à celle fournie par FIDES ; dans le cas contraire il faudra appliquer la résistance thermique « R_{JC} » (car elle prend en compte une meilleure métallisation sous le composant).

Diodes Electroluminescente (DEL)

Pour les DEL (ou LED Light Emitting Diode), compte tenu de la diversité de taille pour chaque type de boîtier, il est préférable de se référer aux données fabricants. Des gammes de valeurs sont proposées ici à titre indicatif.

R_{JA} = Résistance thermique jonction - ambiante en °C/W

R_{JC} = Résistance thermique jonction - boîtier (junction-case) en °C/W

Courant DC direct maximal	CMS ou Traversant	Type de boîtier	Nombre de broches	R_{JA} °C/W	R_{JC} °C/W
$I_F < 150\text{mA}$	Traversant	T1-x	2 à 4	300-500	160-290
		High flux	4	200	90-155
	CMS	Chip	2	450-800	260-450
		PLCC	Mini 2	460-580	230-330
			2	360-400	180-280
			3	270-290	130-190
			4	270-560	130-180
			6	210-500	130-160
		Round	2	420-530	250
		LGA	2	380-630	180-360
		Autre	Indifférent	-	
$150\text{mA} \leq I_F < 300\text{mA}$	CMS		Indifférent	90-140	15-25
$300\text{mA} \leq I_F < 1\text{A}$				39-65	8-23
$I_F \geq 1\text{A}$				30-50	3-17

Circuits Intégrés

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{l} \lambda_{0TH} \times \Pi_{\text{Thermique}} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{\text{TCyBoitier}} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{\text{TCyJointsbrasés}} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Circuit intégré	10	2	1	7,75

Π_{PM} : Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Qualification selon l'une des normes suivantes : AEC Q100, MIL-PRF-38535 classe V , ESCC 90xx, NASDA-QTS-xxxx classe I , NPSL NASA niveau 1	Supérieur	3
Qualification fabricant intégrant les essais conformément aux normes JESD22, EIAJ-ED-4701, MIL-STD-883, IEC 68 avec identification des sites de fabrication «front-end» et «back-end» ; Qualification selon l'une des normes suivantes : MIL-PRF-38535 classe Q, MIL-PRF-38535 classe M , MIL-PRF-38535 classe N , MIL-PRF-38535 classe T , NASDA-QTS-xxxx classe II , NPSL NASA niveau 2 & 3 , STACK-S0001	Equivalent	2
Programme de qualification interne au fabricant et sites de fabrication non identifiés	Inférieur	1
Pas d'information	Très inférieur	0

Π_{PM} : Modèle associé au facteur $AF_{composant}$

Intitulé de l'essai de vieillissement accéléré	High Temperature Operating Life (HTOL)	Pré-conditionnement avant TC, THB ou HAST	Temperature Cycling (TC)	Pressure Cooker Test (PCT)	Highly Accelerated Stressed Tests (HAST)	Temperature Humidity Biased (THB)	
Normes de référence	EIA JESD-22-A108 A ou équivalent	EIA JESD-22-A113A ou équivalent	EIA JESD-22-A104 ou équivalent	EIA JESD-22-A102 ou équivalent	EIA JESD-22-A110 ou équivalent	EIA JESD-22-A101 ou équivalent	
	Résultats de l'essai						Risque $AF_{composant}$
Très fiable niveau A	1000h, 125°C, V_{max} , 231/0 ⁽¹⁾ 1500/0*	Effectué	1000 cycles - 55°C /+150°C ou 500 cycles - 65°C/+150°C 231/0 ou 1000 cycles -55°C/125°C 385/0	168 h à 121°C / 100%RH 231/0	168 h à 130°C/ 85%RH 231/0	168 h à 130°C/ 85%RH 231/0	3
Très fiable niveau B	1000h, 125°C, V_{max} , 154/0 ⁽¹⁾ 900/0*	Effectué	1000 cycles - 55°C /+125°C, 154/0	96 h à 121°C / 100%RH, 154/0	96 h à 130°C/ 85%RH, 154/0	96 h à 130°C/ 85%RH, 154/0	2
Fiable	1000h, 125°C, V_{max} , 77/0 ⁽¹⁾ 231/0*	Effectué	500 cycles -55°C /+125°C 154/0	96 h à 121°C / 100%RH, 77/0	96 h à 130°C 85%RH, 77/0	1000 h à 85°C/85%RH, 154/0	1
Non fiable	Dimensionnement inférieur au niveau fiable	Non effectué	Dimensionnement inférieur au niveau fiable				0

Chaque case du tableau contient un descriptif des conditions d'essai avec le résultat attendu sous la forme XXX/Y où XXX est le nombre de pièces en essai et Y le nombre de défaut (en pratique Y=0)

(1) : Applicable à un article ou à un procédé Front End pour un boîtier déterminé

* : applicable à tous les procédés Front End pour un boîtier déterminé.

En cas d'hétérogénéité dans les niveaux entre les différents types d'essais, le niveau retenu sera le plus faible.

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Les taux de défaillance de base pour les différentes contraintes physiques sont obtenus par l'équation :

$$\lambda_{0_Contrainte} = e^{-a} \times Np^b$$

Où :

- a et b sont des constantes, fonctions du type de boîtier et du nombre de broches, données dans le tableau qui suit.
- Np est le nombre de broches du boîtier.

Désignation courante	Description	Np	λ_{ORH}		$\lambda_{OTCy_Boîtier}$		$\lambda_{OTCy_Joints\ brisés}$		$\lambda_{OMécanique}$		Note 4
			a	b	a	b	a	b	a	b	
PDIP	Plastic Dual In line Package	8 à 68	6,27	0,69	10,23	0,95	8,29	0,92	12,90	0,92	
CERDIP, CDIP	Ceramic Dual-In-Line Package	8 à 20	-	-	12,68	2,27	8,29	0,92	11,51	0,92	
		>20 à 48					7,96	0,92	11,18	0,92	
PQFP	Plastic Quad Flatpack, L lead	44 à 240	10,94	1,57	13,72	1,62	8,29	0,92	12,21	0,92	
		>240 à 304					7,96	0,92	11,87	0,92	
TQFP, LQFP	Plastic Shrink (thickness) Quad Flatpack, L lead Plastic Thin Quad Flatpack, L lead	32 à 120	6,62	0,52	13,05	1,30	8,29	0,92	12,90	0,92	
		>120 à 208					7,20	0,92	11,80	0,92	
Power QFP	Plastic Quad Flatpack with heat sink, L lead	160 à 240	14,17	2,41	11,80	1,36	8,29	0,92	12,21	0,92	
		>240 à 304					7,96	0,92	11,87	0,92	
CERPACK	Ceramic Package	20 à 56	-	-	8,14	1,01	8,29	0,92	11,51	0,92	
CQFP	Ceramic Quad Flat Pack	20 à 132	-	-	8,14	1,01	8,29	0,92	11,51	0,92	
		>132 à 256					6,68	0,92	9,90	0,92	
PLCC	Plastic Leaded Chip Carrier, J-Lead	20 à 52	10,50	1,92	19,45	3,29	8,29	0,92	12,43	0,92	
		>52 à 84					7,20	0,92	11,29	0,92	
J-LCC	J-Lead Ceramic Leaded, Chip Carrier	4 à 32	-	-	8,07	0,93	8,29	0,92	11,51	0,92	
		44					7,95	0,92	11,17	0,92	
		52					7,19	0,92	10,41	0,92	
		68					6,21	0,92	9,43	0,92	
		84					5,58	0,92	8,80	0,92	
CLCC	Ceramic Leadless Chip Carrier	4 à 10	-	-	8,07	0,93	7,19	0,92	10,41	0,92	
		20					5,89	0,92	9,11	0,92	
		32					5,58	0,92	8,80	0,92	
		44 à 52					5,07	0,92	8,29	0,92	
		68 à 84					4,36	0,92	7,58	0,92	

Désignation courante	Description	Np	λ_{0RH}		$\lambda_{0TCy_Boîtier}$		$\lambda_{0TCy_Joints\ brasés}$		$\lambda_{0Mécanique}$		Note 4
			a	b	a	b	a	b	a	b	
SOJ	Plastic Small Outlines, J-Lead	24 à 44	4,33	0,83	8,76	1,49	8,29	0,92	12,90	0,92	
SO	Plastic Small Outlines, L lead	8 à 14	11,45	1,95	16,80	2,94	8,29	0,92	12,90	0,92	
		16 à 18					8,29	0,92	12,90	0,92	
		20 à 28					7,96	0,92	12,56	0,92	
		32					7,96	0,92	12,56	0,92	
TSOP	Thin Small Outlines, leads on small edges, L lead Thin Small Outlines, leads on long edges, L lead	5 à 16	6,87	1,10	9,60	0,83	8,29	0,92	12,90	0,92	
		>16 à 32					7,20	0,92	11,80	0,92	
		>32 à 44					6,68	0,92	11,29	0,92	
		>44 à 56					6,17	0,92	10,77	0,92	
SSOP, QSOP	Plastic Shrink (pitch) Small Outlines, L lead	16 à 64	17,70	3,35	20,88	3,38	7,96	0,92	12,56	0,92	
TSSOP, MSOP	Thin Shrink Small Outlines, L lead Mini Small Outline Package	8 à 28	11,25	1,57	14,93	1,87	8,29	0,92	12,90	0,92	
		>28 à 48					7,96	0,92	12,56	0,92	
		56					7,20	0,92	11,80	0,92	
		64					6,17	0,92	10,77	0,92	
QFN, DFN ≥ 0.5 mm	Quad Flat No lead (package without lead)	8 à 24	8,84	0,77	12,03	0,94	6,68	0,92	9,90	0,92	
		28 à 56					6,17	0,92	9,38	0,92	
		64 à 80					5,95	0,92	9,64	0,92	
QFN 0.4 mm	Quad Flat No lead (package without lead)	8 à 40	6,22	0,78	9,65	0,91	6,17	0,92	9,38	0,92	
		44 à 80					5,95	0,92	9,17	0,92	
LGA Plastic	Plastic Land Grid Array	6 à 20	5,3	0,84	9,02	1,02	6,68	0,92	9,90	0,92	
		>20					6,17	0,92	9,38	0,92	
PBGA <0.5 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch <0.5 mm	<290	4,25	0,14	5,61	0,34	5,64	0,92	9,33	0,92	X
PBGA 0.5 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch $=0.5$ mm	<100	4,25	0,14	8,78	0,53	5,95	0,92	9,64	0,92	X
		100 à 400					5,64	0,92	9,33	0,92	X
PBGA 0.65 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch $=0.65$ mm	<400	5,59	0,40	14,15	1,57	6,17	0,92	9,85	0,92	X
		400 à 625					5,95	0,92	9,64	0,92	X
PBGA BT 0.8 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch $=0.8$ mm	48 à 96	4,99	0,34	7,31	0,22	6,68	0,92	10,37	0,92	X
		100 à 384					6,17	0,92	9,85	0,92	X
PBGA flex 0.8 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch $=0.8$ mm et 0.75 mm	48 à 288	9,70	1,50	8,03	0,29	5,95	0,92	9,64	0,92	X
PBGA BOC 0.8 mm (mémoires)	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch $=0.8$ mm	48 à 96	5,59	0,40	14,15	1,57	5,95	0,92	9,64	0,92	X
PBGA BT 1.00 mm		64 à 484	4,77	0,40	10,46	0,76	6,68	0,92	10,37	0,92	

Désignation courante	Description	Np	λ_{0RH}		$\lambda_{0TCy_Boîtier}$		$\lambda_{0TCy_Joints\ brasés}$		$\lambda_{0Mécanique}$		Note 4
			a	b	a	b	a	b	a	b	
	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch =1.0 mm	>484 à 1156					6,17	0,92	9,85	0,92	
PBGA 1.27 mm	Plastic Ball Grid Array, with solder ball pitch =1.27 mm	119 à 352	6,85	0,80	10,29	0,86	7,20	0,92	10,87	0,92	
		>352 à 432					6,68	0,92	10,37	0,92	
		>432 à 729					6,17	0,92	9,85	0,92	
Power BGA	Tape BGA, PBGA with heat sink, die top down pitch =1.27 mm Super BGA, PBGA with heat sink, die top down pitch =1.27 mm	256 à 352	5,59	0,61	11,01	0,79	7,20	0,92	10,87	0,92	
		>352 à 956					6,68	0,92	10,37	0,92	
BGA WLP <0.5 mm	BGA with solder ball pitch <0.5 mm, Wafer Level Packaging	4 à 169	6,96	0,78	6,60	0,07	5,64	0,92	9,33	0,92	X
BGA WLP 0.5 mm	BGA with solder ball pitch =0.5 mm, Wafer Level Packaging	4 à 36	6,96	0,78	10,31	1,02	5,95	0,92	9,64	0,92	X
		>36					5,64	0,92	9,33	0,92	X
FC-PBGA 0.8 mm	Flip Chip PBGA with solder ball pitch =0.8 mm	<300	8,39	0,79	9,9	0,53	6,68	0,92	10,37	0,92	X
		300 à 1089					6,17	0,92	9,85	0,92	X
FC-PBGA 1 mm	Flip Chip PBGA with solder ball pitch =1 mm	<672	8,39	0,79	9,82	0,52	7,20	0,92	10,87	0,92	
		672 à 1704					6,68	0,92	10,37	0,92	
CBGA	Ceramic Ball Grid Array	255 à 560	4,41	0,63	10,60	1,12	5,12	0,92	8,80	0,92	
		>560 à 1156					4,36	0,92	7,35	0,92	
DBGA	Dimpled BGA	255 à 1156	4,41	0,63	10,60	1,12	6,68	0,92	10,37	0,92	
CI CGA	Ceramic Land GA + interposer, Ceramic column GA	255 à 1156	4,41	0,63	10,60	1,12	5,95	0,92	9,64	0,92	
CPGA	Ceramic Pin Grid Array	68 à 250	-	-	8,63	1,02	7,96	0,92	11,62	0,92	
		>250 à 655					6,68	0,92	10,37	0,92	

Note 1 : Pour les boîtiers hermétiques, le taux de défaillance lié à l'atmosphère humide est nul ($\lambda_{0RH} = 0$).

Note 2 : Les taux de défaillance de base pour les joints brasés ont été estimés à partir d'hypothèses sur le type de circuit imprimé (le type retenu est FR4), l'écart de CTE entre PCB et composant, le matériau des broches, le cambrage des broches des CQFP, le type de substrat des CBGA, Flex BGA, PBGA. Ces paramètres influent sur la fiabilité mais ne sont pas usuellement traitables dans le cadre d'une étude de fiabilité prévisionnelle.

Note 3 : Certains boîtiers de Discrets Actifs sont également utilisés pour les Circuits Intégrés. En particulier, les types «SMD, small signal, L-lead, plastic», «SMD, medium power, small heatsink, L-lead, plastic», «Through hole, power, plastic», «SMD, power, large heatsink, L lead, plastic». Pour les taux de défaillances de ces boîtiers, se reporter à la fiche des composants Discrets Actifs.

Note 4 : Pour les boîtiers éligibles, les $\lambda_{0TCy_Joints\ brasés}$ et $\lambda_{0Mécanique}$ sont divisés par 3 lorsque le procédé Underfill (procédé consistant à introduire une résine entre boîtier et carte pour améliorer la fiabilité des joints brasés des boîtiers à billes ou à bumps type BGA ou WLP) est utilisé.

Taux de défaillance de base associés à la puce

Familles technologiques	λ_{0TH}
FPGA, CPLD, FPGA Antifusible, PAL	0,076
Circuit Analogique et Mixte (MOS, Bipolaire, BiCMOS)	0,086
Microprocesseur, Microcontrôleur, DSP	0,075
Flash, EEPROM, EPROM	0,060
SRAM	0,053
DRAM	0,047
Circuit Numérique (MOS, Bipolaire, BiCMOS)	0,021

Note 1 : Mixte = analogique et numérique.

Note 2 : Pour les ASIC, se reporter au modèle ASIC.

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibrations aléatoires (Grms)

Renseignements liés à l'application

$T_{J_composant}$	température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)
$T_{J_composant} = T_{ambiante} + R_{JA} \cdot P_{dissipée}$	
$P_{dissipée}$	puissance dissipée par le composant dans la phase (W)

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermique}$	En phase de fonctionnement : $e^{11604 \times 0.7 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{j-composant} + 273)} \right]}$ En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermique} = 0$
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1.9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Méca}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0.5} \right)^{1.5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4.4} \times e^{11604 \times 0.9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{ambiante_carte} + 273)} \right]}$ En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$

Prise en compte de la durée de vie des DSM

Dans le cas spécifique des composants DSM en technologie Planaire (« planar »), lorsque les deux conditions suivantes sont atteintes :

$$\begin{cases} 100^{\circ}C < T_{jonction} \leq 125^{\circ}C \\ V = \frac{V_{utilisation}}{V_{nominal}} \leq 1,1 \end{cases}$$

Un modèle complémentaire est proposé afin de tenir compte d'un changement de mécanisme de défaillance prépondérant (vieillessement) lorsque celui-ci n'est plus négligeable. (cf. Annexe « Recommandations dans l'utilisation des composants DSM »)

Application Specific Integrated Circuit (ASIC)

Modèle général associé à la famille

$$\lambda_{ASIC} = \lambda_{Physique} \times \Pi_{Process_ASIC} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Les ASIC sont modélisés comme les autres circuits intégrés, avec des spécificités décrites dans cette fiche.

Les facteurs $\lambda_{Physique}$ et $\Pi_{Process}$ sont ceux définis pour la famille Circuits Intégrés. Les λ_{OTH} à appliquer pour les différents types d'ASIC sont précisés ci-après.

Modèle associé au Facteur « $\Pi_{Process_ASIC}$ »

Le facteur $\Pi_{Process_ASIC}$ permet de prendre en compte :

- Le respect d'une méthodologie formelle de développement (type DO254, COCISPER...) ainsi que le niveau de maîtrise des sous-traitants par le maître d'œuvre, dans le cas d'un montage de projet à plusieurs intervenants (fondeur, assembleur, maison de test...),
- La bonne maîtrise en production ainsi que les surveillances adéquates dans le process de fabrication de l'ASIC.

$$\Pi_{Process_ASIC} = e^{1,39 \times (1 - ASIC_Grade)}$$

En l'absence d'évaluation du $\Pi_{Process_ASIC}$, la valeur par défaut de 2,5 est proposée. L'utilisation de la valeur par défaut peut nuire à la précision des résultats finaux.

Le facteur ASIC_Grade est calculé à partir d'un questionnaire sur le processus de développement de l'ASIC.

$$ASIC_Grade = \frac{\sum Notes}{100}$$

Où « Notes » est défini par les valeurs des notes correspondantes dans le tableau ci-après.

N°	Facteurs influençant l'ASIC_Grade	Valeur (si vrai)	Valeur (si faux)
Développement, et conception : Recommandations liées à la conception de l'ASIC ainsi qu'au management du projet			
1	Application d'une méthodologie formelle en phase de conception (DO254, COCISPER, ...)	10	0
2	Existence d'un plan de maîtrise des sous-traitants (intervenants dans le projet)	10	0
3	Le plan de maîtrise des sous-traitants couvre l'ensemble des intervenants du projet (maîtrise de l'ensemble du cycle de vie)	10	0
4	Sélection de sous-traitants expérimentés dans la technologie, la fonctionnalité, et le niveau de complexité visés	10	0
5	Sélection de sous-traitants expérimentés pour prendre en compte la complexité de l'organisation industrielle du projet	5	0
6	Pilotage formel (avec revues) des sous-traitants (fondeur, assembleur, et «test house») par le «design center»	5	0
7	Organisation industrielle déjà pratiquée	5	0
8	Aucun sous-traitant avec retour d'expérience défavorable	5	0
Fabrication : Recommandations liées à la fabrication et à la surveillance du process de fabrication de l'ASIC			
9	Mise en œuvre d'une technologie mature et non-vieillissante	15	0
10	Mise en œuvre d'un recuit des Wafers	10	0
11	Test fonctionnel de l'ASIC en 3 températures	15	0

La plage de variation du facteur $\Pi_{Process_ASIC}$ est de 1 (pour la meilleur processus) à 4 (pour le pire processus).

Modèle associé au facteur Π_{PM}

$$\Pi_{PM} = e^{1.39 \times (1 - Part_Grade) - 0.69}$$

$$Part_Grade = \left\lceil \frac{(AQ_{fabricant} + AQ_{composant} + AF_{composant}) \times \varepsilon}{36} \right\rceil$$

Les facteurs $AQ_{fabricant}$, $AQ_{composant}$ et $AF_{composant}$ sont ceux définis pour la famille Circuits Intégrés.

Modèle associé au facteur d'expérience ε

Comme pour les Circuits Intégrés, le facteur ε doit traduire l'expérience que l'acheteur a de son fournisseur. Pour les ASIC, il faut veiller à prendre en compte le cas des fabricants/fondeurs qui proposent des technologies vieillissantes, peu maintenues ou des technologies trop récentes. Ces cas seront assimilés à une «petite série» (avec $\varepsilon=2$).

Description du risque lié à l'utilisation de ce fabricant/fondeur	ε
Fabricant reconnu : procédés matures pour le produit considéré	4
Fabricant reconnu : procédés non analysés ou non matures pour le produit considéré	3
Fabricant non reconnu (par exemple jamais audité ou audité depuis plus de 6 ans) ou fabrication de petites séries ou technologie ASIC vieillissante ou non mature	2
Précédente disqualification ou problème majeur en retour d'exploitation	1

Taux de défaillance de base associés à la puce

Type de technologie	Type de fonction ASIC	λ_{0TH}
Silicium MOS	ASIC numérique fonction simple	0,021
	ASIC numérique fonction complexe (avec IP et/ou cœur de μP , blocs de mémoire)	0,075
	ASIC analogique, mixte	0,123
Silicium Bipolaire, BICMOS	ASIC numérique	0,021
	ASIC mixte, analogique	0,123

Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec :

$$\lambda_{physique} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{l} \lambda_{0TH} \times \Pi_{\text{Thermique}} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Circuit Discret actif	8	2	1	6,30

Π_{PM} : Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Qualification selon l'une des normes suivantes : AEC Q101, MIL-PRF-19500 JANS, ESCC 5xxx niveau B, NASDA-QTS-xxxx classe I	Supérieur	3
Qualification fabricant intégrant les essais conformément aux normes JESD22, EIAJ-ED-4701, MIL-STD-750 et identification des sites de fabrication «front-end» et «back-end» ; Qualification selon l'une des normes suivantes : MIL-PRF-19500 JANTX ou JANTXV, ESCC 5xxx niveau C, NASDA-QTS-xxxx classe II	Equivalent	2
Qualification selon MIL-PRF-19500 JAN ou programme de qualification interne au fabricant et sites de fabrication non identifiés	Inférieur	1
Pas d'information	Très inférieur	0

II_{PM} : Modèle associé au facteur AF_{composant}

Intitulé de l'essai de vieillissement accéléré	High Temperature Reverse Bias (HTRB)	High Temperature Gate Bias (HTGB)	Intermittent Operating Life ⁽²⁾ Ou Power and Temperature Cycle ⁽²⁾	Pré-conditionnement avant TC, THB ou HAST	Temperature Cycling (TC)	Pressure Cooker Test (PCT)	High Humidity High Temperature Reverse Bias (H³TRB)	
Normes de référence	EIA JESD-22-A108 A ou équivalent	EIA JESD-22-A108 A ou équivalent	MIL-STD-750 Method 1037 EIA JESD22 A-105	EIA JESD-22-A113A ou équivalent	EIA JESD-22-A104 ou équivalent	EIA JESD-22-A102 ou équivalent	EIA JESD-22-A101 ou équivalent	
	Résultats de l'essai							Risque AF _{composant}
Très fiable niveau A	1000h, 125°C, 80% à 100% de la tension nominale, 231/0 ⁽¹⁾ 1500/0*	1000h, 150°C, 80% à 100% de la tension nominale 231/0 ⁽¹⁾ 1500/0*	Ta=25°C. composant polarisé pour avoir ΔTj ≥100°C (sans atteindre les absolute maximum ratings) 231/0 ⁽¹⁾ 1500/0*	Effectué	1000 cycles -55°C /+150°C ou 500 cycles - 65°C/+150° C 231/0 ou 1000 cycles -55°C/125°C 385/0	2000 h à 85°C/85% RH 154/0	168 h à 130°C/ 85%RH 231/0	3
Très fiable niveau B	1000h, 125°C, 80% à 100% de la tension nominale, 154/0 ⁽¹⁾ 900/0*	1000h, 150°C, 80% à 100% de la tension nominale 154/0 ⁽¹⁾ 900/0*	Ta=25°C. composant polarisé pour avoir ΔTj ≥100°C (sans atteindre les absolute maximum ratings) 154/0 ⁽¹⁾ 900/0*	Effectué	1000 cycles -55°C /+125°C, 154/0	96 h à 121°C / 100%RH, 154/0	2000 h à 85°C/85%RH 154/0	2
Fiable	1000h, 150°C, 80% à 100% de la tension nominale, 77/0 ⁽¹⁾ 231/0*	1000h, 150°C, 80 à 100% tension de la nominale, 77/0 ⁽¹⁾ 231/0*	Ta=25°C. composant polarisé pour avoir ΔTj ≥100°C (sans atteindre les absolute maximum ratings), 77/0 ⁽¹⁾ 231/0*	Effectué	500 cycles -55°C /+125°C, 154/0	96 h à 121°C / 100%RH, 77/0	1000 h à 85°C/85%RH, 154/0	1
Non fiable	Dimensionnement inférieur au niveau fiable			Non effectué	Dimensionnement inférieur au niveau fiable			0

Chaque case du tableau contient un descriptif des conditions d'essai avec le résultat attendu sous la forme XXX/Y où XXX est le nombre de pièces en essai et Y le nombre de défaut (en pratique Y=0)

(1) : Applicable à un article ou à un procédé Front End pour un boîtier déterminé.

(2) : Conditions d'essais telles que définies dans l' AEC-Q101.

* : applicable à tous les procédés Front End pour un boîtier déterminé.

En cas d'hétérogénéité dans les niveaux entre les différents types d'essais, le niveau retenu sera le plus faible.

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Boîtier	Noms équivalents	Désignation	λ_{0RH}	$\lambda_{0TCy_Boîtier}$	$\lambda_{0TCy_Joints\ brisés}$	$\lambda_{0Mécanique}$
CB417		Through hole, small signal, plastic	0,005713	0,000298	0,001491	0,000030
CB429						
DO13	DO202AA					
DO15	DO204AC					
DO27	DO201AA					
DO35	DO204AH					
DO41	DO204AL					
DO92						
F126						
SIL, SIP	SIL, SIP, ZIP					
TO92	SOT54, SC43, TO226AA					
TO126	SOT32, TO225AA					
TO202						
SOT23-3	TO236AB	SMD, small signal, L-lead, plastic	0,002467	0,000048	0,000242	0,000005
SOT23-5	SC74A, SOT25					
SOT23-6	SC74, SOT26, SOT457					
SOT143	TO253AA, SC61B					
SOT323	SC70					
SOT346	SC59, TO236AA					
SOT353	SC70-5, SC88A					
SOT363	SC70-6, SC88					
SOD123						
SOD323	SC76					
SOD523	SC79					
SOT223	SC73, TO261AA	SMD, medium power, small heatsink, L-lead, plastic	0,003009	0,000747	0,003734	0,000075
SOT243						
SOT343	SC82					
SOT89	SC62, TO243AA					
SOT194						
TO218	ISOWATT218	Through hole, power, plastic	0,039622	0,001553	0,007764	0,000155
TO220	TO220-5, ISOWATT220, TO220XX					
TO247	Max247, Super247, SOT429					
ISOWATT						
DO220						
IPACK	TO251AA					
SOT82	TO225					
SOD6	DO214AA, SMB-J	SMD, small signal, C-lead, plastic	0,010994	0,000590	0,002949	0,000059
SOD15	DO214AB, SMC-J					
DPAK	TO252AA, SC63, SOT428	SMD, power, large heatsink, L-lead, plastic	0,027131	0,001296	0,006479	0,000130
D2PAK	TO263, SC83A, SMD220					

Guide FIDES 2022

Composants électroniques / Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires
/ Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires

Boîtier	Noms équivalents	Désignation	λ_{0RH}	$\lambda_{0TCy_Boîtier}$	$\lambda_{0TCy_Joints\ brisés}$	$\lambda_{0Mécanique}$
D3PAK	TO268					
ISOTOP	SOT227, TO244, Half-Pak	SMD, high power, screw, plastic	0,487813	0,013371	0,066853	0,001337
SOD80	Mini-MELF, DO213AA	SMD, Hermetically sealed glass	-	0,004788	0,023938	0,000479
SOD87	MELF, DO213AB					
TO18	TO71, TO72, SOT31, SOT18	Through hole, metal	-	0,004247	0,021234	0,000425
TO39	SOT5					
TO52						
SOT553		SMD, medium power, small heatsink, flat lead, plastic	0,033236	0,003246	0,016230	0,000325
SOT563						
SOT563F						
SOT663						
SOT666						
SOT66						
SOT665						
SOT490						

Notes :

- Pour les boîtiers hermétiques, le taux de défaillance lié à l'atmosphère humide est nul.
- Certains boîtiers de Circuits Intégrés sont également utilisés pour les Discrets Actifs. En particulier les types «Thin Shrink Small Outlines, L lead, plastic (TSSOP)», «Thin Small Outlines, leads on long edges, L lead, plastic (TSOP)» et « Plastic Small Outlines, L lead, plastic (SO)». Pour les taux de défaillances de ces boîtiers, se reporter à la fiche des composants Circuits Intégrés.

Taux de défaillance de base associés à la puce

Diodes de faible puissance	λ_{0TH}	Diodes de puissance	λ_{0TH}
Diodes de signal jusqu'à 1A (PIN, Schottky, signal, varactor)	0,0044	Thyristors, triacs de plus de 3A	0,1976
Diodes de redressement 1A à 3A	0,0100	Diodes de redressement > 3A	0,1574
Diodes de régulation Zener jusqu'à 1,5W	0,0080	Diodes de régulation Zener de plus de 1,5W	0,0954
Diodes de protection jusqu'à 3kW (en crête 10ms/ 100ms) (TVS)	0,0210	Diodes de protection de plus de 3kW (en crête 10ms/ 100ms) (TVS)	1,4980

Transistors de faible puissance	λ_{0TH}	Transistors de puissance	λ_{0TH}
Silicium, bipolaire < 5W	0,0138	Silicium, bipolaire > 5W	0,0478
Silicium, MOS < 5W	0,0145		
Silicium, JFET < 5W	0,0143		

Lorsque N éléments (diodes, transistor) sont implantés dans un même boîtier, il faut multiplier le λ_{0TH} par \sqrt{N} .

Nota : Les composants de puissance de type Silicium, MOS > 5W et IGBT sont traités par le modèle dédié (cf. page 140).

Renseignements liés au profil de vie

T_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Renseignements liés à l'application

$T_{J_composant}$	température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)
$T_{J_composant} = T_{ambiante} + R_{JA} \cdot P_{dissipée}$	
$P_{dissipée}$	puissance dissipée par le composant dans la phase (W)
$V_{appliquée}$	tension inverse appliquée dans la phase, pour les diodes signal uniquement (V)

Renseignements liés à la technologie

$V_{nominale}$	tension inverse nominale (V), pour les diodes signal uniquement
----------------	---

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermique}$	<p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{El} \times e^{11604 \times 0,7 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(273 + T_{j-composant})} \right]}$</p> <p>Pour les diodes signal jusqu'à 1A (PIN, Schottky, signal, varactor) :</p> $\Pi_{El} = \left(\frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} \right)^{2,4} \quad \text{si } \frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} > 0,3$ $\Pi_{El} = 0,056 \quad \text{si } \frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} \leq 0,3$ <p>Pour les autres types d'article :</p> $\Pi_{El} = 1$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermique} = 0$</p>
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Méca}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{ambiante-carte} + 273} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>

Discrets Actifs de puissance : Silicium, MOS > 5W et IGBT

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{induit} \times \Pi_{PW} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_i^{Phases} \left(\frac{t_{phase}}{T_{Total}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0TH} \times \Pi_{Thermique} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{sensibilité}$

Le facteur $C_{sensibilité}$ est celui défini pour la famille « Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires ».

Modèle associé au facteur $AQ_{composant}$

Le facteur $AQ_{composant}$ est celui défini pour la famille « Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires ».

Modèle associé au facteur $AF_{composant}$

Le facteur $AF_{composant}$ est celui défini pour la famille « Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires ».

Modèle associé au facteur Π_{PW}

La formule de calcul du Π_{PW} est la suivante :

$$\Pi_{PW} = \exp(\delta \cdot (1 - Process_Grad) - \alpha)$$

Avec :

$$\begin{aligned} \delta &= 3,401 \\ \alpha &= 0 \end{aligned}$$

Le paramètre *Process_Grad* est estimé à partir d'un audit sur la prise en compte de facteurs influant les règles de conception, détaillé ci-après.

A chaque item est associée un poids et une réponse : VRAI (note = 1) ou FAUX (note = 0). La valeur du *Process_Grad* vaut alors :

$$Process_Grad = \frac{\sum_{j=1}^{10} Poids_réponse_j}{82}$$

Le *Process_Grad* vaut 1 si toutes les règles de conception de l'audit sont appliquées pleinement et 0 si rien n'est fait.

La plage de variation du facteur Π_{PW} est [1 ; 30]. En l'absence d'évaluation du Π_{PW} , la valeur par défaut de 10 est proposée.

Le questionnaire de l'audit Π_{PW} est le suivant :

Famille	Item	Questionnaire	Poids
Derating électrique	1.1	Un derating d'au moins 20% est-il appliqué sur la tension Vds (MOSFET) ou Vce (IGBT)?	6
	1.2	Un derating d'au moins 20% est-il appliqué sur la tension Vgs (MOSFET) ou Vge (IGBT)?	6
	1.3	Un derating d'au moins 20% est-il appliqué sur le courant max Id (MOSFET) ou Ic (IGBT) ?	6
Derating thermique	2.1	Un derating d'au moins 25°C sur la Tjmax, ou un derating minimum de 20% sur la puissance max est-il appliqué?	12
	2.2	La variabilité de la résistance de contact thermique a-t-elle été prise en compte (qualité du contact thermique, vides de soudure, couple de serrage vis, force de pression ressort, épaisseur de l'isolant électrique...)	12
Surcharges en transitoire	3.1	Les vitesses maximales de commutation (dV/dt, dI/dt) associées aux éléments parasites de cablage ont-elles été prises en compte ?	10
	3.2	La protection aux court-circuits/surcharges (puissances/courants/tensions) est-elle prise en compte (attention au cas des modes transitoires sur les structures à résonnances / commutation douce) ? Note: Indiquer la justification par analyse ou essais	10
	3.3	Les effets du recouvrement de la diode intrinsèque du composant ont-ils été pris en compte, y compris dans les modes transitoires (démarrage, arrêt, surtension, surcharge, court-circuit...)	10
Overstress accidentels	4.1	Une résistance de grille est-elle utilisée pour éviter les oscillations haute fréquence à la commutation, en particulier en cas de mise en parallèle?	5
	4.2	La présence d'une protection en tension est-elle utilisée, en cas d'une tension de bus trop élevée avec une commutation d'un fort courant?	5

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Le taux de défaillance de base associés aux boîtiers est celui défini pour la famille « Discrets Actifs : diodes, transistors de faible puissance et transistors de puissance bipolaires ».

Taux de défaillance de base associés à la puce

Transistors de puissance	λ_{OTH}
Silicium, MOS > 5W	0,56
IGBT	0,56

Lorsque N éléments (diodes, transistor) sont implantés dans un même boîtier, il faut multiplier le λ_{OTH} par \sqrt{N} .

Renseignements liés au profil de vie

T_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Renseignements liés à l'application

$T_{J_composant}$	température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C) Cette température sera au maximum égale à 175°C.
$T_{J_composant} = T_{ambiante} + R_{JA} \cdot P_{dissipée}$	
$P_{dissipée}$	puissance dissipée par le composant dans la phase (W)

Renseignements liés à la technologie

T_{Ref}	60°C
-----------	------

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermique}$	$e^{11604 \times 0,7 \times \left[\frac{1}{T_{Ref} + 273} - \frac{1}{T_{j-composant} + 273} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement :</p> <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermique} = 0$</p>
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Méca}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{ambiante-carte}} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>

Diodes Electroluminescentes (DEL)

Modèle général associé à la famille

① Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{Physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0TH} \times \Pi_{Thermique} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Diode Electroluminescente (DEL)	7	2	3	5,68

Modèle associé au facteur fabrication composant Π_{PM}

Le facteur Π_{PM} est le même que pour les composants Discrets Actifs.

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Courant Direct I_F maximal	CMS ou Traversant	Type de boîtier	Nombre de broche	λ_{0RH}	λ_{0Tcy} Boîtier	λ_{0Tcy} Joints brasés	λ_0 Mécanique
$I_F < 150mA$	Traversant	T1-x	2 à 4	0,0034	0,0104	0,0520	0,0052
		High flux	4				
	CMS	Chip	2				
		PLCC	Mini 2				
			2				
			3				
			4				
			6				
		Rond	2			0,1560	0,0624
		LGA	Plastique			0,2080	0,0832
			Céramique			0,3640	0,1820
		Autre	Plastique			0,1560	0,0624
			Céramique			0,3640	0,1820
$I_F \geq 150mA$	CMS	Plastique	Indifférent	0,0031	0,0042	0,0420	0,0064
		Céramique				0,1470	0,0735

Taux de défaillance de base associés à la puce

Diode électroluminescente (DEL)	λ_{0TH}
COULEUR	0,01
BLANCHE	0,05

Lorsque N diodes (couleur ou blanche) sont disposés dans un même boîtier, il faut multiplier le λ_{0TH} par \sqrt{N} . Certaines diodes blanches sont composées de trois diodes couleur ; pour ces diodes blanches, il ne faut pas calculer le λ_{0TH} individuel à partir du λ_{0TH} de 3 diodes couleur, mais prendre le λ_{0TH} donné dans le tableau.

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures),
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%),
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C),
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C),
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C),
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles),
θ_{cy}	durée du cycle (heures),
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms).

Renseignements liés à l'application

$T_{J_composant}$	température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)
$T_{J_composant} = T_{ambiante} + R_{JA} \cdot P_{dissipée}$	
$P_{dissipée}$	puissance dissipée par le composant dans la phase (W)
$V_{appliquée}$	tension inverse appliquée dans la phase, pour les diodes signal uniquement (V)

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermique}$	$e^{11604 \times 0,4 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(273 + T_{j-composant})} \right]}$ En phase de fonctionnement : e En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermique} = 0$
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Méca}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{ambiante-carte}} \right]}$ En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$

Optocoupleurs

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0TH} \times \Pi_{Thermique} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + (\lambda_{0TCyJointsbrasés} + \lambda_{0TCyPuce}) \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + (\lambda_{0MécaBoitier} + \lambda_{0MécaPuce}) \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{sensibilité}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{sensibilité}$
	EOS	MOS	TOS	
Optocoupleur	7	2	2	5,63

Modèle associé au facteur fabrication composant Π_{PM}

Le facteur Π_{PM} est le même que pour les composants Discrets Actifs.

Taux de défaillance de base associés à la puce

Description du composant	Energie d'activation (eV)	λ_{0_Th}	$\lambda_{0_TCY_puce}$	$\lambda_{0_MECA_puce}$
Optocoupleur à photodiode	0,4	0,05	0,01	0,005
Optocoupleur à phototransistor	0,4	0,11	0,021	0,011

Lorsque N optocoupleurs sont disposés dans un même boîtier, il faut multiplier les λ_{0_TH} , λ_{0TCY_puce} , et $\lambda_{0_MECA_puce}$ par \sqrt{N} .

Les valeurs de $\lambda_{0_Tcy_Boitiers}$, $\lambda_{0_Tcy_Joints_Brasés}$, $\lambda_{0_Méca_boitier}$ et λ_{0_RH} sont à rechercher dans les tableaux des taux de défaillance de base associés aux boîtiers des circuits intégrés ou des discrets actifs.

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Renseignements liés à l'application

$T_{J_composant}$	température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)
$T_{J_composant} = T_{ambiante} + R_{JA} \cdot P_{dissipée}$	
$P_{dissipée}$	puissance dissipée par le composant dans la phase (W)

Contributions associées aux stress Physiques :

$\Pi_{Thermique}$	$e^{11604 \times 0,4 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{j-composant} + 273)} \right]}$ En phase de fonctionnement : e En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermique} = 0$
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Méca}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(273 + T_{ambiante-carte})} \right]}$ En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$

Résistances

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec :

$$\lambda_{physique} = \lambda_{0_Résistance} \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur C_{sensibilité}

Résistance fixe, faible dissipation, couche mince : « Minimelf », emploi courant (RC), haute stabilité (RS)	4	2	4	3,55
Résistance fixe, forte dissipation ($\geq 1W$), couche épaisse	2	4	1	2,40
Résistance fixe, faible dissipation, bobinée, de précision	2	1	3	1,83
Résistance fixe, forte dissipation ($\geq 1W$), bobinée	2	4	1	2,40
Potentiomètre non bobiné	1	5	2	1,95
Résistance fixe, CMS, couche épaisse	4	3	5	3,83
Réseau résistif, CMS	3	5	3	3,45
Résistance fixe, couche mince, de précision, haute stabilité	5	5	4	4,95

Facteur AQ_{composant}

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	AQ _{composant}
Qualification selon l'une des normes suivantes : AEC Q200, MIL-PRF-xxxx niveau S, MIL-PRF-xxxx niveau R, MIL-PRF-xxxx niveau D, MIL-PRF-xxxx niveau C, ESCC 400x niveau B, NASDA-QTS-xxxx classe I	Supérieur	3
Qualification selon l'une des normes suivantes : MIL-PRF-xxx niveau P, MIL-PRF-xxxx niveau B, ESCC 400x niveau C, NASDA-QTS-xxxx classe II avec pour ces normes identification des sites de fabrication	Equivalent	2
Qualification selon l'une des normes suivantes : homologué CECC, MIL-PRF-xxxx niveau M, ou programme de qualification interne au fabricant et sites de fabrication non identifiés	Inférieur	1
Pas d'information	Très inférieur	0

Note : Ce facteur est établi de cette façon pour tous les composants passifs. Le standard MIL-PRF ou NASDA-QTS adéquat pour la famille d'article concernée doit être considéré.

Taux de défaillance de base associés au composant

Description du composant			λ_0 -Résistance	A (°C)	γ_{TH-EL}	γ_{TCy}	$\gamma_{Méca}$	γ_{RH}
Résistance fixe, faible dissipation, couche mince : « Minimelf », emploi courant (RC), haute stabilité (RS)			0,1	85	0,04	0,89	0,01	0,06
Résistance fixe, forte dissipation ($\geq 1W$), couche épaisse			0,4	130	0,04	0,89	0,01	0,06
Résistance fixe, faible dissipation, bobinée, de précision			0,3	30	0,02	0,96	0,01	0,01
Résistance fixe, forte dissipation ($\geq 1W$), bobinée			0,4	130	0,01	0,97	0,01	0,01
Potentiomètre non bobiné			0,3	65	0,42	0,35	0,22	0,01
Résistance fixe, CMS, couche épaisse			0,01	70	0,01	0,97	0,01	0,01
Réseau résistif, CMS			$0,01 \times \sqrt{N_R}$	70	0,01	0,97	0,01	0,01
Résistance fixe, couche mince, de précision, haute stabilité	CMS	<10k Ω	0.18	85	0.14	0.53	0.07	0.26
		10k Ω <...< 100k Ω	0.21	85	0.10	0.54	0.06	0.30
		>100k Ω	0.25	85	0.07	0.55	0.05	0.33
	Traversant	<10k Ω	0.14	85	0.18	0.43	0.08	0.31
		10k Ω <...< 100k Ω	0.18	85	0.12	0.44	0.07	0.37
		>100k Ω	0.21	85	0.08	0.45	0.06	0.41

Pour les réseaux résistifs, N_R est le nombre de résistances du réseau.

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Renseignements liés à l'application

$P_{dissipée}$	puissance dissipée par le composant dans la phase (W)
----------------	---

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

$P_{nominale}$	puissance maximale admissible par le composant spécifiée par le fournisseur (W)
----------------	---

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermo-électrique}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{TH-EL} \times e^{11604 \times 0,15 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{ambiante-carte} + 273 + A \times \frac{P_{appliquée}}{P_{nominale}}} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermo-électrique} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{TCy} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$\gamma_{Méca} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{ambiante-carte}} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>

Fusibles

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec

$$\lambda_{physique} = \lambda_{0_Fusible} \sum_i^{Phases} \left(\frac{t_{phase}}{T_{Total}} \right)_i \times \left(\frac{\Pi_{Thermo-électrique} + \Pi_{TCy}}{+ \Pi_{Mécanique} + \Pi_{RH} + \Pi_{Chi}} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{sensibilité}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{sensibilité}$
	EOS	MOS	TOS	
Fusible	6	6	4	5,90

Facteur $AQ_{composant}$

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{composant}$
Qualification selon MIL-PRF-23419 ou équivalent	Supérieur	3
Certification selon l'IEC 60127 ou équivalent	Equivalent	2
Pas d'information	Inférieur	0

Taux de défaillance de base associés au composant

$$\lambda_{0_Fusible} = 0,5$$

Le $\lambda_{0_Fusible}$ est à considérer pour les types de fusibles : A tube verre, à tube céramique, enfichables, traversants, CMS, chip (à substrat FR4 ou céramique).

Le modèle ne comprend pas un éventuel support de fusible (qui peut être modélisé comme un connecteur support de composant à 2 contacts).

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Niveau de pollution (voir tables)

Niveau de pollution saline	Π_{sal}
Faible	1
Forte	2

Niveau de protection produit	Π_{prot}
Hermétique	0
Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	Π_{zone}
Faible	1
Modérée	2
Forte	4

Niveau de pollution d'environnement	Π_{envir}
Faible	1
Modérée	1,5
Forte	2

Renseignements liés à l'application

$I_{appliqué}$	Courant dans le fusible dans la phase (A)
----------------	---

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

$I_{nominal}$	Courant nominal admissible par le fusible sans ouverture (A)
---------------	--

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermo-électrique}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $0,13 \times \left(\frac{1}{0,8} \times \frac{I_{appliqué}}{I_{nominal}} \right)^{1,5} \times e^{11604 \times 0,15 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{ambiante-carte}} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermo-électrique} = 0$</p>
Π_{TCy}	$0,51 \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$0,06 \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$0,24 \times \left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{ambiante-carte}} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>
Π_{CHI}	$0,06 \times \Pi_{sal} \times \Pi_{envir} \times \Pi_{zone} \times \Pi_{prot}$

Condensateurs Céramiques

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

avec :

$$\lambda_{Physique} = \lambda_{0_Condensateur} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Condensateur en céramique à coefficient de température défini (Type I)	7	5	2	6,30
Condensateur en céramique à coefficient de température non défini (Type II X5R)	7	6	1	6,48
Condensateur en céramique à coefficient de température non défini (Type II X7R)	7	6	1	6,48
Condensateur en céramique à terminaisons polymères à coefficient de température non défini (Type II X5R)	7	4	2	6,08
Condensateur en céramique à terminaisons polymères à coefficient de température non défini (Type II X7R)	7	4	1	6,03

Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Ce facteur est établi comme pour les résistances.

Taux de défaillance de base associés au composant

Description du composant	$\lambda_{0_Condensateur}$	Energie d'activation (eV)	S _{référence}	γ_{TH-EL}	γ_{TCy}	$\gamma_{Méca}$
Condensateur céramique Type I, Catégorie 1	0,03	0,1	0,3	0,70	0,28	0,02
Condensateur céramique Type I, Catégorie 2	0,05	0,1	0,3	0,70	0,28	0,02
Condensateur céramique Type I, Catégorie 3	0,40	0,1	0,3	0,69	0,26	0,05
Condensateur céramique Type II, Catégorie 1	0,08	0,1	0,3	0,70	0,28	0,02
Condensateur céramique Type II, Catégorie 2	0,15	0,1	0,3	0,70	0,28	0,02
Condensateur céramique Type II, Catégorie 3	1,20	0,1	0,3	0,44	0,51	0,05
Condensateur céramique à terminaisons polymères Type II, Catégorie 1	0,08	0,1	0,3	0,70	0,28	0,02
Condensateur céramique à terminaisons polymères Type II, Catégorie 2 ou 3	0,15	0,1	0,3	0,70	0,28	0,02

Note : les condensateurs de Type I sont les condensateurs à coefficient de température défini et les condensateurs de Type II sont les condensateurs à coefficient de température non défini.

Produit CV

	Type I	Type II
Catégorie 1	Produit CV inférieur à 5.10^{-8} V.F.	Produit CV inférieur à 5.10^{-6} V.F.
Catégorie 2	Produit CV strictement supérieur à 5.10^{-8} V.F. et inférieur à 1.10^{-6} V.F. ou Produit CV strictement supérieur à 1.10^{-6} V.F. pour un condensateur qui n'est pas en limite technologique	Produit CV strictement supérieur à 5.10^{-6} V.F. et inférieur à 1.10^{-4} V.F. ou Produit CV strictement supérieur à 1.10^{-4} V.F. pour un condensateur qui n'est pas en limite technologique
Catégorie 3	Condensateur en limite technologique avec produit CV strictement supérieur à 1.10^{-6} V.F.	Condensateur en limite technologique avec produit CV strictement supérieur à 1.10^{-4} V.F.

Note : Un condensateur est en limite technologique si le fabricant ne propose pas de composant à capacité supérieure dans la même gamme (boîtier, type, diélectrique, tension).

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase de fonctionnement (heures)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)
$S_{référence}$:	niveau de référence pour la contrainte électrique (stress)

Renseignements liés à l'application

$V_{appliquée}$	tension appliquée au composant dans la phase (V)
-----------------	--

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

$V_{nominale}$	tension maximale applicable au composant spécifiée par le fournisseur (V)
----------------	---

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermo-électrique}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{TH-EL} \times \left(\frac{1}{S_{référence}} \times \frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} \right)^3 \times e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{ambiante-carte} + 273} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermo-électrique} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{TCy} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$\gamma_{Méca} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$

Condensateurs Aluminium

Modèle général associé à la famille

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \lambda_{0_Condensateur} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Condensateur Aluminium électrolyte liquide	7	7	1	6,70
Condensateur Aluminium électrolyte solide	7	7	1	6,70

Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Ce facteur est établi comme pour les résistances.

Taux de défaillance de base associés au composant

Description du composant			$\lambda_{0_Condensateur}$	Energie d'activation E_a (eV)	$S_{\text{référence}}$	$\gamma_{\text{TH-EL}}$	γ_{TCy}	$\gamma_{\text{Méca}}$
Condensateur	Aluminium	électrolyte liquide	0,21	0,40	0,5	0,85	0,14	0,01
Condensateur	Aluminium	électrolyte solide	0,4	0,40	0,55	0,85	0,14	0,01

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase de fonctionnement (heures)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)
$S_{\text{référence}}$	niveau de référence pour la contrainte électrique (stress)

Renseignements liés à l'application

$V_{\text{appliquée}}$	tension appliquée au composant dans la phase (V)
------------------------	--

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

V_{nominale}	tension maximale applicable au composant spécifiée par le fournisseur (V)
-----------------------	---

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermo-électrique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{TH-EL} \times \left(\frac{1}{S_{\text{référence}}} \times \frac{V_{\text{appliquée}}}{V_{\text{nominale}}} \right)^3 \times e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{\text{ambiante-carte}} + 273} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermo-électrique}} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{TCy} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\gamma_{\text{Méca}} \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$

Condensateurs au Tantale

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \lambda_{0_Condensateur} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Condensateur au tantale (électrolyte solide ou gélifié)	8	7	1	7,43

Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Ce facteur est établi comme pour les résistances.

Taux de défaillance de base associés au composant

Condensateur au tantale à électrolyte gélifié

Description du composant	$\lambda_{0_Condensateur}$	Energie d'activation E_a (eV)	S référence	$\gamma_{\text{TH-EL}}$	γ_{TCy}	$\gamma_{\text{Méca}}$
Condensateur au tantale gélifié Boîtier argent, bouchon élastomère	0,77	0,15	0,6	0,87	0,01	0,12
Condensateur au tantale gélifié Boîtier argent, bouchon perles de verre	0,33	0,15	0,6	0,81	0,01	0,18
Condensateur au tantale gélifié Boîtier tantale, bouchon perles de verre	0,05	0,15	0,6	0,88	0,04	0,08

Condensateur au tantale à électrolyte solide

Description du composant	$\lambda_{0_Condensateur}$	Energie d'activation E_a (eV)	S référence	$\gamma_{\text{TH-EL}}$	γ_{TCy}	$\gamma_{\text{Méca}}$
Condensateur au tantale solide Packaging Goutte	1,09	0,15	0,4	0,86	0,12	0,02
Condensateur au tantale solide Packaging CMS	0,54	0,15	0,4	0,84	0,14	0,02
Condensateur au tantale solide Packaging Métallique Axial	0,25	0,15	0,4	0,94	0,04	0,02

Remarques :

- Pour le condensateur tantale gélifié, prendre par défaut boîtier Argent et bouchon perles de verre,
- Pour le condensateur tantale solide, prendre par défaut packaging CMS.

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase de fonctionnement (heures)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)
$S_{\text{référence}}$	niveau de référence pour la contrainte électrique (stress)

Renseignements liés à l'application

$V_{\text{appliquée}}$	tension appliquée au composant dans la phase (V)
------------------------	--

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

V_{nominale}	tension maximale applicable au composant spécifiée par le fournisseur (V)
-----------------------	---

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermo-électrique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{\text{TH-EL}} \times \left(\frac{1}{S_{\text{référence}}} \times \frac{V_{\text{appliquée}}}{V_{\text{nominale}}} \right)^3 \times e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{\text{ambiante-carte}} + 273} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermo-électrique}} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{\text{TCy}} \times \left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\gamma_{\text{Méca}} \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$

Condensateurs à Film Plastique

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{Film}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

avec :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \lambda_{0_Condensateur} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\frac{\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}}}{\Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (Note sur 10)			
	EOS	MOS	TOS	$C_{\text{sensibilité}}$
Condensateur à film plastique	7	6	1	6,05

Modèle associé au facteur « Π_{Film} »

$$\Pi_{\text{Film}} = e^{1,39 \times \text{FILM_Grade}}$$

En l'absence d'évaluation du Π_{Film} , la valeur par défaut de 2,5 est proposée. L'utilisation de la valeur par défaut peut nuire à la précision des résultats finaux.

Le facteur Π_{Film} est calculé à partir d'un questionnaire sur les conditions environnementales de choix du condensateur à film plastique.

$$\text{FILM_Grade} = \frac{\sum \text{Valeurs du tableau ci après}}{100}$$

N°	Facteurs influençant FILM_Grade	Valeur
1	Condensateur à film plastique utilisé en tension alternative AC	50
	Condensateur à film plastique utilisé en tension continue DC	0
2	Condensateur à film plastique utilisé en environnement d'humidité supérieure à 90%HR sans avoir été choisi spécifiquement pour un tel environnement	30
	Condensateur à film plastique utilisé en environnement d'humidité supérieure à 90%HR et choisi spécifiquement pour un tel environnement	15
	Condensateur à film plastique utilisé en environnement d'humidité compris entre 70%HR et 90%HR sans avoir été choisi spécifiquement pour un tel environnement	15
	Condensateur à film plastique utilisé en environnement d'humidité compris entre 70%HR et 90%HR et choisi spécifiquement pour un tel environnement	0
	Condensateur à film plastique utilisé en environnement d'humidité inférieur à 70%HR	0
3	Condensateur à film plastique non développé spécifiquement pour cette application, non validé par le fabricant et non validé par dérogation	20
	Condensateur à film plastique non développé spécifiquement pour cette application mais validé par le fabricant ou validé par dérogation	10
	Condensateur à film plastique développé spécifiquement pour cette application	0

La plage de variation du facteur est de 1 (pour le choix de condensateur le plus opportun) à 4 (pour le choix de condensateur le moins opportun).

Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Ce facteur est établi comme pour les résistances.

Taux de défaillance de base associé au composant

Description du composant	$\lambda_{0_Condensateur}$	Energie d'activation (eV)	$S_{référence}$	γ_{TH_EL}	γ_{TCy}	$\gamma_{Méca}$	γ_{RH}
Condensateur à film polypropylène (PP)	0,02	0,65	0,3	0,18	0,14	0,02	0,66
Condensateur à film polyéthylène téréphtalate (PET)	0,06	0,48	0,3	0,18	0,14	0,02	0,66
Condensateur à film polyéthylène naphtalate (PEN)	0,03	0,55	0,3	0,18	0,14	0,02	0,66
Condensateur à film polyphénylène sulfide (PPS)	0,02	0,55	0,3	0,18	0,14	0,02	0,66
Condensateur à film téflon (PTFE)	0,03	0,55	0,3	0,18	0,14	0,02	0,66

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase de fonctionnement (heures)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associée à une phase (%)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{rms})

Renseignements liés à l'application

$V_{appliquée}$	tension appliquée au composant dans la phase (V)
-----------------	--

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

$V_{nominale}$	tension maximale appliquée au composant spécifiée par le fournisseur (V)
----------------	--

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermo-électrique}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{TH-EL} \times \left(\frac{1}{S_{référence}} \times \frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} \right)^6 \times e^{11604 \times Ea \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{ambiante-carte} + 273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermo-électrique} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{TCy} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{t_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{11604 \times 0,12 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{max-cyclage} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$\gamma_{Méca} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\gamma_{RH} \times \left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{ambiante-carte} + 273)} \right]}$

Composants Magnétiques : Inductances et Transformateurs

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{Physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \lambda_{0_Magnétique} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Inductance Bobinée, Faible Courant (ou Bas Niveau)	5	4	4	4,73
Inductance Bobinée, Fort Courant (ou Puissance)	7	6	3	6,58
Inductance Multicouche	4	6	1	4,30
Transformateur, Faible Puissance (ou Bas Niveau)	6	5	3	5,63
Transformateur, Forte Puissance	6	7	4	6,13

Modèle associé au facteur $AQ_{\text{composant}}$

Ce facteur est établi comme pour les résistances.

Taux de défaillance de base associés au composant

Description du composant	$\lambda_{0_Magnétique}$	Energies d'activation E_a (eV)	$\gamma_{\text{TH-EL}}$	γ_{TCy}	$\gamma_{\text{Méca}}$	ΔT (°C)
Inductance Bobinée, Faible Courant (ou Bas Niveau)	0,025	0,15	0,01	0,73	0,26	10
Inductance Bobinée, Fort Courant	0,05	0,15	0,09	0,79	0,12	30
Inductance Multicouche	0,05	0,15	0,71	0,28	0,01	10
Transformateur, Faible Puissance (ou Bas Niveau)	0,125	0,15	0,01	0,73	0,26	10
Transformateur, Forte Puissance	0,25	0,15	0,15	0,69	0,16	30

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cylage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Renseignements liés à l'application

ΔT	élévation de température du composant par rapport à l'ambiante (°C). Le tableau précédent donne des valeurs de ΔT typiques à prendre en compte à défaut d'une meilleure estimation.
------------	---

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermo-électrique}}$	En phase de fonctionnement : $\gamma_{\text{TH-EL}} \times e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + \Delta T + 273)} \right]}$ En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermo-électrique}} = 0$
Π_{TCy}	$\gamma_{\text{TCy}} \times \left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\gamma_{\text{Méca}} \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$

Composants piézoélectriques : Oscillateurs et Quartz

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \lambda_{0_Piézoélectrique} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

	Sensibilité relative (note sur 10)			C _{sensibilité}
	EOS	MOS	TOS	
Résonateur à quartz	2	10	5	3,95
Oscillateur à quartz	7	9	3	7,25

Modèle associé au facteur AQ_{composant}

Ce facteur est établi comme pour les résistances.

Taux de défaillance de base associés au composant

Description du composant	$\lambda_{0_Piézoélectrique}$	γ_{TH-EL}	γ_{TCy}	$\gamma_{Méca}$	γ_{RH}
Résonateur à quartz (boîtier type HCxx traversant)	0,82	0,16	0,46	0,27	0,11
Résonateur à quartz (montage en surface)	0,79	0,16	0,59	0,15	0,1
Oscillateur à quartz (boîtier type XO traversant)	1,6	0,32	0,42	0,14	0,12
Oscillateur à quartz (boîtier type XO, MCSO à montage en surface)	1,63	0,31	0,53	0,07	0,09

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Renseignements liés à l'application

I_{sortie}	courant fourni par le composant en fonctionnement dans l'application (A)
--------------	--

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

$I_{sortie - max}$	courant maximum que peut fournir le composant en fonctionnement (A)
$T_{ambiante-max fabricant}$	température maximum spécifiée par le fabricant (°C)

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermo-électrique}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{TH-EL} \times \Pi_{rating_TH} \times \Pi_{rating_EL}$ <p>Description des conditions d'utilisation : $T_{ambiante-carte} < (T_{ambiante-max fabricant} - 40^{\circ}C)$ $T_{ambiante-carte} \geq (T_{ambiante-max fabricant} - 40^{\circ}C)$</p> <p>Valeur de Π_{rating_TH} 1 5</p> <p>Description des conditions d'utilisation : Résonateur à Quartz : Oscillateur : $I_{sortie} < 0,8 \times I_{sortie-max}$ Oscillateur : $I_{sortie} \geq 0,8 \times I_{sortie-max}$</p> <p>Valeur de Π_{rating_EL} 1 5</p> <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermo-électrique} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{TCy} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$\gamma_{Méca} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\gamma_{RH} \times \left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{ambiante-carte}} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>

Relais électromécaniques monostables

Modèle général associé à la famille

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Avec :

$$\lambda_{physique} = \lambda_{0 \text{ Relais}} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}}_i \right) \times (\Pi_{\text{Thermique}} + \Pi_{\text{Electrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Relais électromécanique	7	10	2	7,43

Facteur $AQ_{\text{composant}}$

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Qualification selon l'une des normes suivantes : ESCC 360x, MIL-PRF-39016 (ou 83536 ou 6106) niveau R, NASDA-QTS-xxxx,	Supérieur	3
Qualification selon l'une des normes suivantes : MIL-PRF-39016 (ou 83536 ou 6106) niveau P, NASDA-QTS-xxxx,	Equivalent	2
Qualifié selon les normes EIA, IEC, SAE, BS	Inférieur	1
Pas d'information	Très inférieur	0

Taux de défaillance de base associés au composant

$$\lambda_{0 \text{ Relais}} = 1,1$$

Renseignements liés au profil de d'emploi

T_{amb}	température de l'article associé à une phase de fonctionnement (°C)
t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associés à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)

Niveau de pollution dans la phase (voir tables)

Niveau de pollution saline	π_{sal}
Faible	1
Forte	2

Niveau de protection produit	π_{prot}
Hermétique	0
Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	π_{zone}
Faible	1
Modérée	2
Forte	4

Niveau de pollution d'environnement	π_{envir}
Faible	1
Modérée	1,5
Forte	2

Renseignements liés à l'application

$V_{contact}$	Tension vue aux bornes du contact (V)
$I_{contact}$	Courant traversant un contact (A)
U_{bobine}	Tension de commande du relais (V)
ΔT_{relais}	Elévation de température dans le relais (°C). Par défaut, pour un relais activé continuellement, prendre $\Delta T_{relais} = 45^{\circ}C$.
Nombre de manœuvres par heure dans la phase (voir table)	
Type de la charge (voir table)	

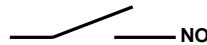
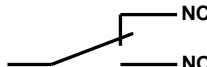
Renseignements liés aux caractéristiques techniques

$V_{nominal}$	tension nominale spécifiée aux bornes d'un contact (V)
$I_{nominal}$	courant nominal spécifié aux bornes d'un contact (A)
U_{nomina}	tension de commande nominale spécifiée du relais (V)
N_{ST}	nombre de pôles Simple Travail (ST), pôles dont n'est utilisé que le contact normalement ouvert (NO)
N_{DT}	nombre de pôles Double Travail (DT), pôles dont sont utilisés les contacts normalement ouvert (NO) et normalement connecté (NC)
Type de finition du contact du relais (voir table)	
Pouvoir de coupure du relais (voir table)	
Type d'herméticité du relais (voir table)	

Attributs technologiques

$$\pi_{\text{pôle}} = 1,25 \times N_{\text{DT}} + 0,5 \times N_{\text{ST}} + 0,5$$

Nombre de pôle et type de contact	$\pi_{\text{pôle}}$
SPST	1
DPST	1,5
3PST	2
4PST	2,5
SPDT	1,75
DPDT	3
3PDT	4,25
4PDT	5,5
6PDT	8

Schéma type d'un pôle ST avec contact NO seulement	
Schéma type d'un pôle DT avec contacts NO et NC	

Type de charge	$\pi_{\text{type de charge}}$	S_v	S_i
Résistive	0,3	1	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$
Inductive	8	1	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$
Lampe à incandescence	4	$\frac{V_{\text{contact}}}{V_{\text{nominale}}}$	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$
Capacitive	6	$\frac{V_{\text{contact}}}{V_{\text{nominale}}}$	1

$\frac{V_{\text{contact}}}{V_{\text{nominale}}}$	m_1	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$	m_2
≤ 1	3	≤ 1	3
> 1	8,8	> 1	5,9

Type de contact	$\pi_{\text{contact ME}}$	$\pi_{\text{contact RH}}$
Contact doré	1,5	1
Contact argent	1	2

Pouvoir de coupure	$\pi_{\text{coupure TH}}$	$\pi_{\text{coupure EL}}$	$\pi_{\text{coupure ME}}$
Pouvoir de coupure $< 2A$	1,8	1,5	3
Pouvoir de coupure $> 2A$	1,2	1,2	1

Nombre de manœuvres par heure	$\pi_{\text{manoeuvres}}$
≤ 1	1
> 1	$\sqrt{\text{Nombre de manoeuvres par heure}}$

Niveau de protection relais	$\Pi_{\text{prot CHI}}$	$\Pi_{\text{prot TCY}}$
Hermétique	0,01	1
Étanche	0,6	3
Non étanche	1	3

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	$0,29 \times (1 + \Pi_{\text{chimique}}) \times \Pi_{\text{manoeuvres}} \times \Pi_{\text{contact TH}} \times \Pi_{\text{coupure TH}}$ $\times e^{11604 \times 0,25 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{273 + T'} \right]}$ <p>Si $T_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{relais}} \leq 125^{\circ}\text{C}$ alors $\Pi_{\text{contact TH}} = 1$ Si $T_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{relais}} > 125^{\circ}\text{C}$ alors $\Pi_{\text{contact TH}} = \Pi_{\text{type contact ME}} \times \Pi_{\text{pôle}}$</p> <p>En phase de fonctionnement :</p> <p>Si $T_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{relais}} \leq 0^{\circ}\text{C}$ alors $T' = 40-85/55 \times (T_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{relais}})$ Si $0 < T_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{relais}} \leq 40^{\circ}\text{C}$ alors $T' = 40^{\circ}\text{C}$ Si $T_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{relais}} > 40^{\circ}\text{C}$ alors $T' = T_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{relais}}$</p> <p>En phase de non fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$</p>
$\Pi_{\text{Electrique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $0,55 \times \Pi_{\text{pôle}} \times \Pi_{\text{coupure EL}} \times \Pi_{\text{type de charge}} \times \Pi_{\text{manoeuvres}} \times S_V^{m_1} \times S_I^{m_2} \times \left(\frac{U_{\text{nominal}}}{U_{\text{bobine}}} \right)$ <p>En phase de non fonctionnement : $\Pi_{\text{électrique}} = 0$</p>
Π_{TCY}	$0,02 \times \Pi_{\text{prot TCY}} \times \left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$0,05 \times (1 + \Pi_{\text{chimique}}) \times \Pi_{\text{pôle}} \times \Pi_{\text{contact ME}} \times \Pi_{\text{manoeuvres}} \times \Pi_{\text{coupure ME}} \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$0,09 \times \Pi_{\text{pôle}} \times \Pi_{\text{chimique}} \times \Pi_{\text{contact RH}} \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ $\Pi_{\text{chimique}} = \Pi_{\text{sal}} \times \Pi_{\text{zone}} \times \Pi_{\text{envir}} \times \Pi_{\text{prot}} \times \Pi_{\text{prot CHI}}$

Interrupteurs et commutateurs

Modèle général associé à la famille :

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{\text{physique}} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{\text{Process}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \lambda_{0 \text{ Interrupteur}} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\frac{\Pi_{\text{Thermique}} + \Pi_{\text{électrique}}}{+\Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Interrupteurs et commutateurs	7	10	1	7,38


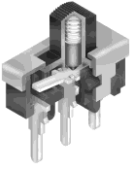
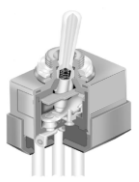

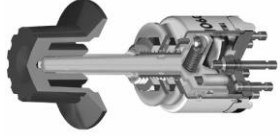
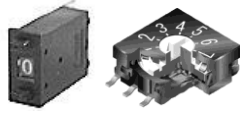


Facteur $AQ_{\text{composant}}$

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Qualification selon l'une des normes suivantes : ESCC 370x niveau B, MIL-PRF-8805	Très supérieur	3
Qualification suivant MIL-C-xxxx, MIL-PRF-24236, ESCC 370x niveau C	Supérieur	2
Conforme à une des normes suivantes EIA, IEC, SAE, BS,	Equivalent	1
Pas d'information	Inférieur	0

Taux de défaillance de base associés au composant**Interrupteur de fin de course**

Type	C _{TH}	C _{TCy}	C _{ME}	C _{RH}	C _{EL}	$\lambda_{0_interrupteur}$
Fin de course, microcontacts	1	1	1	1	1	0,85



Interrupteur à action manuelle

Type	Illustration	C _{TH}	C _{TCy}	C _{ME}	C _{RH}	C _{EL}	$\lambda_{0_interrupteur}$
A bascule		1,11	0,56	1,11	0,56	0,56	0,85
A glissière		1,11	0,56	1,11	0,56	0,56	0,85
A levier		1,11	0,56	1,11	0,56	0,56	0,85
DIP		1,11	0,56	1,11	0,56	0,56	0,85
Rotatif		1,78	1,19	1,78	1,19	1,19	0,85
Roue codeuse		1,78	1,19	1,78	1,19	1,19	0,85
Bouton poussoir momentané (monostable)		1	1	1	1	1	0,85
Bouton poussoir permanent (bistable)		1,11	0,56	1,11	0,56	0,56	0,85

Attributs technologiques

$$\pi_{\text{pôle}} = 1,25 \times N_{\text{DT}} + 0,5 \times N_{\text{ST}} + 0,5$$

Nombre de pôle et type de contact	$\pi_{\text{pôle}}$
SPST	1
DPST	1,5
3PST	2
4PST	2,5
SPDT	1,75
DPDT	3
3PDT	4,25
4PDT	5,5
6PDT	8

Schéma type d'un pôle ST avec contact NO seulement	
Schéma type d'un pôle DT avec contacts NO et NC	

Remarque : pour les interrupteurs rotatifs et roues codeuses tous les pôles sont à compter comme des DT (Double Travail) quel que soit le nombre de contacts par pôle.

Type de charge	$\pi_{\text{type de charge}}$	S_v	S_i
Résistive	0,3	1	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$
Inductive	8	1	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$
Lampe à incandescence	4	$\frac{V_{\text{contact}}}{V_{\text{nominale}}}$	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$
Capacitive	6	$\frac{V_{\text{contact}}}{V_{\text{nominale}}}$	1

$\frac{V_{\text{contact}}}{V_{\text{nominale}}}$	m_1	$\frac{I_{\text{contact}}}{I_{\text{nominal}}}$	m_2
≤ 1	3	≤ 1	3
> 1	8,8	> 1	5,9

Type de contact	$\pi_{\text{contact ME}}$	$\pi_{\text{contact RH}}$
Contact doré	1,5	1
Contact argent	1	2

Pouvoir de coupure	$\pi_{\text{coupure EL}}$	$\pi_{\text{coupure ME}}$
Pouvoir de coupure $< 2A$	1,5	3
Pouvoir de coupure $> 2A$	1,2	1

Nombre de manœuvres par heure	$\pi_{\text{manoeuvres}}$
≤ 1	1
> 1	$\sqrt{\text{Nombre de manoeuvre par heure}}$

Niveau de protection interrupteur	$\pi_{\text{prot_CHI}}$	$\pi_{\text{prot_TCY}}$
Hermétique	0,01	1
Étanche	0,6	3
Non étanche	1	3

Renseignements liés au profil de vie

T_{amb}	température de l'article associé à une phase de fonctionnement (°C)
t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associés à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)

Niveau de pollution dans la phase (voir tables)

Niveau de pollution saline	π_{sal}
Faible	1
Forte	2

Niveau de protection produit	π_{prot}
Hermétique	0
Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	π_{zone}
Faible	1
Modérée	2
Forte	4

Niveau de pollution d'environnement	π_{envir}
Faible	1
Modérée	1,5
Forte	2

Renseignements liés à l'application

V_{contact}	tension vue aux bornes du contact
I_{contact}	courant traversant un contact
Nombre de manœuvres par heure dans la phase (voir table)	
Type de la charge (voir table)	

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

V_{nominale}	tension nominale spécifiée aux bornes d'un contact
I_{nominal}	courant nominal spécifié aux bornes d'un contact
N_{ST}	nombre de pôles Travail (ST), pôles dont n'est utilisé que le contact normalement ouvert (NO)
N_{DT}	nombre de pôles Double Travail (DT), pôles dont sont utilisés les contacts normalement ouvert (NO) et normalement connecté (NC)
Type de finition du contact de l'interrupteur (voir table)	
Pouvoir de coupure de l'interrupteur (voir table)	
Type d'herméticité de l'interrupteur (voir table)	

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	$0,21 \times C_{TH} \times (1 + \Pi_{\text{chimique}}) \times \Pi_{\text{manoeuvres}} \times \Pi_{\text{contact TH}} \times e^{11604 \times 0,25 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{273+T'} \right]}$ <p> Si $T_{\text{amb}} \leq 125^{\circ}\text{C}$ alors $\Pi_{\text{contact TH}} = 1$ Si $T_{\text{amb}} > 125^{\circ}\text{C}$ alors $\Pi_{\text{contact TH}} = \Pi_{\text{type contact ME}} \times \Pi_{\text{pôle}}$ </p> <p>En phase de fonctionnement :</p> <p> Si $T_{\text{amb}} \leq 0^{\circ}\text{C}$ alors $T' = 40-85/55 \times T_{\text{amb}}$ Si $0 < T_{\text{amb}} \leq 40^{\circ}\text{C}$ alors $T' = 40^{\circ}\text{C}$ Si $T_{\text{amb}} > 40^{\circ}\text{C}$ alors $T' = T_{\text{amb}}$ </p> <p>En phase de non fonctionnement :</p> $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$
$\Pi_{\text{Electrique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $0,59 \times C_{EL} \times \Pi_{\text{pôle}} \times \Pi_{\text{coupure EL}} \times \Pi_{\text{type de charge}} \times \Pi_{\text{manoeuvres}} \times S_V^{m_1} \times S_I^{m_2}$ <p>En phase de non fonctionnement : $\Pi_{\text{électrique}} = 0$</p>
Π_{TCy}	$0,02 \times C_{TCY} \times \Pi_{\text{pôle}} \times \Pi_{\text{prot TCY}} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9}$ $\times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$0,06 \times C_{MECA} \times (1 + \Pi_{\text{chimique}}) \times \Pi_{\text{pôle}} \times \Pi_{\text{contact ME}} \times \Pi_{\text{manoeuvres}} \times \Pi_{\text{coupure ME}}$ $\times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$0,12 \times C_{RH} \times \Pi_{\text{pôle}} \times \Pi_{\text{chimique}} \times \Pi_{\text{contact RH}} \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{\text{amb}} + 273} \right]}$ $\Pi_{\text{chimique}} = \Pi_{\text{sal}} \times \Pi_{\text{zone}} \times \Pi_{\text{envir}} \times \Pi_{\text{prot}} \times \Pi_{\text{ProtCHI}}$

Circuit imprimé (PCB)

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \lambda_{0\text{ PCB}} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{TCy} + \Pi_{M\acute{e}canique} + \Pi_{RH} + \Pi_{Chimique})_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{sensibilit\acute{e}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{sensibilit\acute{e}}$
	EOS	MOS	TOS	
Circuit imprimé (PCB)	4	10	8	5,55

Facteur $\Pi_{Placement}$:

Pour les PCB le facteur placement est fixe : $\Pi_{Placement} = 1$

Facteur $AQ_{composant}$

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{composant}$
Qualification selon MIL-PRF-31032 (PCB), MIL-PRF-55110 (PWB), MIL-P-50884, MIL-S-13949, ESCC-Q-ST-70-10 (PCB)	Supérieur	3
Qualification fabricant conforme à l'IPC-9701 intégrant les essais de la norme IPC TM 650	Equivalent	2
Agrément de savoir faire selon EN 123 xxx, CECC 23000, NBN EN 61189-1	Inférieur	1
Pas d'information	Très inférieur	0

Taux de défaillance de base associés à l'article

$$\lambda_{0\text{ PCB}} = 5.10^{-4} \times (N_{\text{couches}})^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{N_{\text{report}}}{2}\right) \times \Pi_{\text{Classe}} \times \Pi_{\text{Techno-PCB}}$$

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

N_{couches} Nombre de couches du circuit imprimé

N_{report} Nombre de points de report (montés en surface + à piquer)

Identification technologie circuit imprimé	Valeur de $\Pi_{\text{Techno-PCB}}$
Trous traversants	0,25
Trous borgnes	0,5
Technologie Micro-vias	1
Technologie Pad on vias	2,5

Largeur minimale des conducteurs (μm) / Espacement minimal entre conducteurs ou pastilles (μm)	Valeur de Π_{Classe}
800 / 800	1
500 / 500	1
310 / 310	2
210 / 210	3
150 / 150	4
125 / 125	5
100 / 100	6

Pour un PCB multicouches, il faut considérer la couche de plus grande densité. Dans une même couche, il faut considérer la zone de plus grande densité.

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Niveau de pollution (voir tables)

Niveau de pollution saline	Π_{sal}
Faible	1
Forte	2

Niveau de protection produit	Π_{prot}
Hermétique	0
Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	Π_{zone}
Faible	1
Modérée	2
Forte	4

Niveau de pollution d'environnement	Π_{envir}
Faible	1
Modérée	1,5
Forte	2

Gamme de température ambiante	Π_{TV}
$T_{ambiante-carte} < 110^{\circ}\text{C}$	1
$T_{ambiante-carte} > 110^{\circ}\text{C}$	$e^{0,2 \times (T_{ambiante-carte} - 110)}$

Contributions associées aux stress Physiques

Π_{TCy}	$0,6 \times \Pi_{TV} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$0,2 \times \Pi_{TV} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$0,18 \times \Pi_{TV} \times \left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,8 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{ambiante-carte} + 273} \right]}$
$\Pi_{Chimique}$	$0,02 \times \Pi_{TV} \times \Pi_{sal} \times \Pi_{Envir} \times \Pi_{Zone} \times \Pi_{Prot}$

Connecteurs

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \lambda_{0_Connecteur} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\frac{\Pi_{\text{Thermique}} + \Pi_{\text{TCy}}}{\Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}} + \Pi_{\text{Chimique}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Connecteurs	1	10	3	3,13

Facteur $\Pi_{\text{Placement}}$:

Pour les connecteurs le facteur placement est fixe : $\Pi_{\text{Placement}} = 1$

Facteur $AQ_{\text{composant}}$

Niveau d'assurance qualité du composant	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Qualification selon l'une des normes suivantes : ESCC 340x niveau B, NASDA-QTS-xxxx classe 1, ...	Très supérieur	3
Qualification selon l'une des normes suivantes : Telcordia GR1217-CORE, MIL-C-xxxxx, MIL-DTL-xxxx ARINC 600 & 80x, AECMA,...	Supérieur	2
Conforme à une des normes suivantes EIA, IEC, SAE, BS	Equivalent	1
Pas d'information	Inférieur	0

Taux de défaillance de base associés à l'article

$$\lambda_{0_Connecteur} = \lambda_{Type} \times \Pi_{report} \times \Pi_{contact} \times \Pi_{cycle}$$

Le modèle présenté s'applique à une demi-paire de connecteurs.

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

Type de connecteur	λ_{type}
Connecteurs circulaires et rectangulaires	0,05
Connecteurs coaxiaux	0,07
Connecteurs pour circuits imprimés (et assimilés)	0,1
Supports de composants	0,1

Type de report	Π_{report}
Insertion (press fit)	1
Soudé (traversant)	6
Soudé (CMS)	10
Wrapping (tresse)	3
Wrapping (filaire)	2

Nombre de contacts

$$\Pi_{Contact} = (N_{Contact})^{0,5}$$

Où $N_{contact}$ est le nombre de contacts du connecteur.

Fréquence de connexion

$$\Pi_{Cycles} = 0,2 \times (N_{Cycles})^{0,25}$$

Où N_{cycles} est le nombre de cycles (un cycle comprend une connexion et une déconnexion). Si $N_{cycles} < 1$ par an prendre $\Pi_{cycles} = 0,2$.

Élévation de température de l'insert

L'élévation de température de l'insert est généralement issue d'une analyse thermique, et donc fournie par le Bureau d'Etudes.

A défaut, elle peut être calculée selon la formule :

$$\Delta T_{insert} = a \times I_{contact}^{1,85}$$

Où $I_{contact}$ est le courant moyen dans une broche (en ampère).

La valeur de a, pour les valeurs de gauge les plus courantes, est donnée dans le tableau ci-dessous :

AWG	32	30	28	24	22	20	18	16	12
a	3,256	2,856	2,286	1,345	0,989	0,64	0,429	0,274	0,1

La gauge (AWG) est fonction de la section de la broche d'un connecteur. La formule permettant d'obtenir la section de la broche est rappelée dans les tableaux ci-dessous :

Pin de connecteur de section rectangulaire	
Longueur Pin (mm)	L
Largeur pin (mm)	l
Section (mm ²)	$s = L \times l$

Pin de connecteur de section cylindrique	
Diamètre (mm)	D
Section (mm ²)	$s = \pi \times \frac{D^2}{4}$

La formule permettant d'obtenir la gauge est rappelée ci-dessous :

$$AWG = 36 - \left(\ln \left(\frac{s}{0.0127} \right) \times \frac{19.5}{\ln(92)} \right)$$

La table suivante est donnée à titre d'aide (elle peut être trouvée sur Internet), pour une section circulaire :

American Wire Gauge (AWG)	Diameter (inches)	Diameter (mm)	Cross Sectional Area (mm ²)
0000	0.46	11.68	107.16
000	0.4096	10.40	84.97
00	0.3648	9.27	67.40
0	0.3249	8.25	53.46
1	0.2893	7.35	42.39
2	0.2576	6.54	33.61
3	0.2294	5.83	26.65
4	0.2043	5.19	21.14
5	0.1819	4.62	16.76
6	0.162	4.11	13.29
7	0.1443	3.67	10.55
8	0.1285	3.26	8.36
9	0.1144	2.91	6.63
10	0.1019	2.59	5.26
11	0.0907	2.30	4.17
12	0.0808	2.05	3.31
13	0.072	1.83	2.63
14	0.0641	1.63	2.08
15	0.0571	1.45	1.65
16	0.0508	1.29	1.31
17	0.0453	1.15	1.04
18	0.0403	1.02	0.82
19	0.0359	0.91	0.65
20	0.032	0.81	0.52
21	0.0285	0.72	0.41
22	0.0254	0.65	0.33
23	0.0226	0.57	0.26
24	0.0201	0.51	0.20
25	0.0179	0.45	0.16
26	0.0159	0.40	0.13

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
$RH_{ambiante}$	taux d'humidité associé à une phase (%)
Note : Les connecteurs à l'interface d'un équipement peuvent subir des RH différents des autres articles de l'équipement.	
$T_{ambiante-carte}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{cyclage}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{max-cyclage}$	température maximale lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)

Niveau de pollution (voir tables) :

Niveau de pollution saline	Π_{sal}	Niveau de protection produit	Π_{prot}
Faible	1	Hermétique	0
Forte	2	Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	Π_{zone}	Niveau de pollution d'environnement	Π_{envir}
Faible	1	Faible	1
Modérée	2	Modérée	1,5
Forte	4	Forte	2

Renseignements liés à l'application

ΔT	Elévation de température de l'insert
------------	--------------------------------------

Contributions associées aux stress physiques

$\Pi_{Thermique}$	En phase de fonctionnement : $0,58 \times e^{11604 \times 0,1 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{ambiante-carte} + \Delta T + 273)} \right]}$ En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{thermique} = 0$
Π_{Tcy}	$0,04 \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$0,05 \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$0,13 \times \left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,8 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{ambiante-carte} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Chimique}$	$0,20 \times \Pi_{Sal} \times \Pi_{Envir} \times \Pi_{Zone} \times \Pi_{Prot}$

Hybrides et Multi Chip Modules

**Chapitre non modifié dans
la version 2022 (décembre
2022)**

Modèle général

Les hybrides et MCM (Multi Chip Module) sont des assemblages miniaturisés de composants sur différents types de substrats, avec différents types d'encapsulations (moulage, boîtier). Le calcul du taux de défaillance d'un hybride s'apparente à celui d'une carte électronique. Il s'appuie sur un recensement des microcomposants internes à l'hybride ou au MCM et prend en compte les connexions, le câblage, l'encapsulation ainsi que différents attributs technologiques ou de maîtrise des procédés. Les composants actifs (circuits intégrés, transistors, diodes) intégrés dans les hybrides et MCM peuvent être sous formes de puces nues ou sous forme de micro-boîtiers.

Modèle général associé à la famille

$$\lambda_{H\&M} = \sum_{\mu\text{composant s}} \left(\lambda_{\mu\text{composant}} \times \Pi_{PM_{\mu\text{composant}}} \right) \times \Pi_{process_H\&M} \times \Pi_{process} \\ + \left(\lambda_{\text{câblage}} + \lambda_{\text{Boîtier + Substrat}} + \lambda_{\text{Connexions_externes}} \right) \times \Pi_{process_H\&M} \times \Pi_{process}$$

Avec, pour chacun des éléments de base (microcomposants, câblage, boîtier-substrat, connexions externes) :

$$\lambda_{\text{élément}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left[\left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\sum_{\text{contraintes}} (\lambda_{0 \text{ contrainte}} \times \Pi_{\text{contrainte}}) \right)_i \times (\Pi_{\text{induit}})_i \right]$$

Le facteur Π_{Process} est celui calculé pour le produit dans lequel est intégré l'hybride ou le MCM.

Le facteur $\Pi_{PM_{\mu\text{composant}}}$ est calculé selon la méthode de calcul décrite pour l'établissement du Π_{PM} des composants correspondants (circuits intégrés, discrets actifs, résistances, condensateurs, inductances).

Facteur induit

Contributions associées aux surcharges accidentelles

$$\Pi_{\text{induit } -i} = \left(\Pi_{\text{placement}} \times \Pi_{\text{application } n-i} \times \Pi_{\text{durcissement}} \right)^{0,511 \times \ln(C_{\text{sensibilité}})}$$

L'indice i désigne la phase considérée.

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

Un facteur $C_{\text{sensibilité}}$ unique pour l'ensemble de l'Hybride ou du MCM est défini en fonction du type de substrat et d'encapsulation.

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	TOS	MOS	
Boîtier métallique, boîtier céramique, substrat céramique	6	1	5	5,5
Substrat verre-époxy avec moulage	6	1	2	4,1
Substrat verre-époxy sans moulage	6	1	4	4,8

Les sensibilités relatives aux EOS, TOS, MOS (Electrical Over-Stress, Thermal Over-Stress, Mechanical Over-Stress) sont données pour information pour montrer la sensibilité relative des familles aux différents types de surcharges. Elles n'interviennent pas dans les calculs.

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$:

Cette contribution s'établit de la même façon que pour les composants. C'est le placement de l'hybride dans le produit qui doit être considéré.

	$\Pi_{\text{placement}}$
Fonction numérique non interface	1
Fonction numérique d'interface	1,3
Fonction analogique bas niveau non interface	1,2
Fonction analogique bas niveau interface	1,5
Fonction analogique puissance non interface	1,3
Fonction analogique puissance interface	1,8

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{application}}$

Cette contribution s'établit de la même façon que pour les composants.

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{durcissement}}$

Cette contribution s'établit de la même façon que pour les composants.

Facteur processus H&M

Le facteur $\Pi_{\text{Process_H\&M}}$ permet de prendre en compte l'influence sur la fiabilité que peut avoir la maîtrise de la conception et de la fabrication de l'hybride ou du MCM.

$$\Pi_{\text{Process_H\&M}} = e^{1,39 \times (1 - H\&M_process_grade)}$$

$$\text{Avec } H\&M_process_grade = \frac{\sum \text{valeurs du tableau ci dessous}}{140}$$

	Valeur si vrai	Valeur si faux
Application d'une méthode formalisée ¹ permettant la prise en compte pendant la conception des moyens de fabrication de l'hybride ou du MCM	15	0
Application d'une méthode formalisée ¹ permettant la prise en compte pendant la conception des capacités de report sur carte de l'hybride ou du MCM	15	0
Expérience passé dans le développement d'hybride et de MCM avec retour d'expérience favorable	10	0
Technologie(s) d'interconnexions internes déjà mise(s) en œuvre dans un développement passé	3	0
Technologie(s) de boîtier et de substrat déjà mise(s) en œuvre dans un développement passé	3	0
Technologie(s) d'interconnexions externes déjà mise(s) en œuvre dans un développement passé	4	0
Qualification de la ligne pour application spatiale (ESA/CNES) - (classe K selon la classification de la MIL-PRF 38534F, ou classe I selon la JESD93), ou équivalent	30 Voir note 2	0
Qualification de la ligne pour application militaire - (classe H selon la classification de la MIL-PRF 38534F ou classe II selon la JESD93), ou équivalent	20 Voir note 2	0
classe G, E ou D selon la classification de la MIL-PRF 38534F, ou classe inférieure à II selon la JESD93, ou programme de qualification interne au fabricant	10 Voir note 2	0
Application des trois méthodes d'amélioration de la fiabilité : 1. burn-in, 2. DPA lot par lot, 3. test fonctionnel aux 3 températures	30	0
Application de deux parmi trois de : 1. burn-in, 2. DPA lot par lot, 3. test fonctionnel aux 3 températures	20	0
Application de un parmi trois de : 1. burn-in, 2. DPA lot par lot, 3. test fonctionnel aux 3 températures	10	0

Notes :

1. La méthode formalisée peut se traduire par l'utilisation d'un guide ou d'une spécification, qui prend en compte les capacités techniques de fabrication.
2. Ces trois cas sont exclusifs l'un de l'autre.

En l'absence d'évaluation du $\Pi_{\text{process_H\&M}}$, la valeur par défaut de 2,5 est proposée. L'utilisation de la valeur par défaut peut nuire à la précision des résultats finaux.

Microcomposants

Taux de défaillance associé aux puces nues (circuits intégrés, transistors, diodes...)

$$\lambda_{\text{puce}} = (\lambda_{0\text{TH}} \times \Pi_{\text{Thermique}}) + (\lambda_{0\text{puce_TCy}} \times C_{\text{moulage}} \times C_{\text{surface_puce}} \times \Pi_{\text{TCy_boîtier}})$$

Thermique

Pour les valeurs de $\lambda_{0\text{TH}}$ se reporter au taux de défaillance de base associé à la puce pour les Circuits Intégrés ou pour les Discrets Actifs.

Cyclage thermique puce

C'est le facteur d'accélération du cyclage thermique $\Pi_{\text{TCy boîtier}}$ (amplitude thermique puissance 4,0) qui s'applique pour cette contrainte sur les puces.

$$\lambda_{0\text{puce_TCy}} = 0,011$$

	C_{moulage}
Circuit hermétique non moulé	1
Circuit moulé enrobage type silicone	1,4
Circuit moulé enrobage type polyuréthane	1,6
Circuit moulé enrobage type époxy	2

$$C_{\text{surface_puce}} = (1 + S^d)$$

S : surface individuelle de chaque puce en mm²

	d
Circuits intégrés numériques Si (MOS, Bipolaire et BiCMOS)	0,35
Circuits intégrés analogiques Si (MOS, Bipolaire et BiCMOS)	0,2
Circuits discrets	0,1

Si la surface des puces n'est pas connue, utiliser les valeurs par défaut suivantes pour chaque puce :

	Surface_puce (mm²)
Logique	75
Analogique	4
Discret faible signal	0,8
Discret puissance	3

Taux de défaillance associé aux composants en micro-boîtiers (circuits intégrés, transistors, diodes)

$$\lambda_{\text{micro-boîtier}} = \left(\begin{array}{l} \lambda_{0\text{TH}} \times \Pi_{\text{Thermique}} + \lambda_{0\text{TCy Boîtier}} \times \Pi_{\text{TCy Boîtier}} \\ + C_{\text{moulage}} \times \lambda_{0\text{TCy Joints brasés}} \times \Pi_{\text{TCy Joints brasés}} \\ + C_{\text{herméticité}} \times \lambda_{0\text{RH}} \times \Pi_{\text{RH}} \end{array} \right)$$

Thermique

Pour les valeurs de $\lambda_{0\text{TH}}$ se reporter aux taux de défaillance de base associés aux puces pour les Circuits Intégrés ou pour les Discrets Actifs.

Cyclage thermique

Les taux de défaillance de base des joints brasés se calculent en fonction du type de substrat.

Pour les boîtiers de CI les taux de défaillance de base sont obtenus par l'équation :

$$\lambda_{0\text{Contrainte}} = e^{-a} \times Np^b$$

Où :

- a et b sont des constantes, fonction du type de boîtier et du nombre de broches, données dans le tableau qui suit,
- Np est le nombre de broche du boîtier.

Boîtier (désignation courante)	Description	Np	$\lambda_{0\text{TCy Boîtier}}$		$\lambda_{0\text{TCy Joints brasés}}$			
					Substrat Verre-époxy		Substrat Céramique	
			a	b	a	b	a	b
PQFP	Plastic Quad Flatpack, L lead	44 à 240 >240 à 304	12,41	1,46	10,80 10,11	1,46 1,46	9,41 8,61	1,46 1,46
SQFP TQFP, VQFP, LQFP	Plastic Shrink (thickness) Quad Flatpack, L lead Plastic Thin Quad Flatpack, L lead	32 à 120 >120 à 208	8,57	0,73	6,96 5,57	0,73 0,73	5,57 4,65	0,73 0,73
Power QFP (RQFP, HQFP, PowerQuad, EdQuad...)	Plastic Quad Flatpack with heat sink, L lead	160 à 240 >240 à 304	15,11	1,96	13,50 12,81	1,96 1,96	12,11 11,31	1,96 1,96
CERPACK		20 à 56	12,41	1,46	10,80	1,46	10,8	1,46
CQFP, Cerquad	Ceramic Quad Flat Pack	64 à 132 >132 à 256	12,41	1,46	10,80 9,19	1,46 1,46	10,8 10,8	1,46 1,46
PLCC	Plastic Leaded Chip Carrier J-Lead	20 à 52 >52 à 84	18,52	3,15	16,91 15,52	3,15 3,15	16,91 15,52	3,15 3,15
J-CLCC	J-Lead Ceramic Leaded Chip Carrier	4 20 32 44 52 68	8,07	0,93	6,46 6,46 6,46 5,77 5,36 4,85	0,93 0,93 0,93 0,93 0,93 0,93	6,46 6,46 6,46 6,46 6,46 6,46	0,93 0,93 0,93 0,93 0,93 0,93

Boîtier (désignation courante)	Description	Np	$\lambda_{0TCy_Boîtier}$		$\lambda_{0TCy_Joints\ brasés}$			
					Substrat Verre-époxy		Substrat Céramique	
			a	b	a	b	a	b
CLCC	Ceramic Leadless Chip Carrier	4	8,07	0,93	5,07	0,93	6,46	0,93
		20			4,51	0,93	6,46	0,93
		32			4,38	0,93	6,46	0,93
		44			4,26	0,93	6,46	0,93
		52			4,26	0,93	6,46	0,93
		68			4,16	0,93	5,77	0,93
		84			4,16	0,93	5,77	0,93
SOJ	Plastic Small Outlines, J-Lead	24 à 44	8,36	1,39	6,75	1,39	4,96	1,39
SO, SOP, SOL, SOIC, SOW	Plastic Small Outlines, L lead	8 à 14	13,36	2,18	11,75	2,18	9,67	2,18
		16 à 18			11,06	2,18	9,45	2,18
		20 à 28			10,36	2,18	9,16	2,18
		32			10,14	2,18	9,45	2,18
TSOP I TSOP II	Thin Small Outlines, leads on small edges, L lead Thin Small Outlines, leads on long edges, L lead	5 et 6	9,05	0,76	7,44	0,76	7,44	0,76
		>6 à 16			7,44	0,76	6,34	0,76
		>16 à 32			6,05	0,76	5,13	0,76
		>32 à 44			5,83	0,76	5,14	0,76
		>44 à 56			5,36	0,76	5,14	0,76
SSOP, VSOP, QSOP	Plastic Shrink (pitch) Small Outlines, L lead	16 à 64	16,28	2,60	14,67	2,60	13,28	2,60
TSSOP, MSOP, μSO, μMAX, TVSOP	Thin Shrink Small Outlines, L lead	8 à 28	15,56	2,66	13,95	2,66	12,0	2,66
		>28 à 48			13,21	2,66	11,71	2,66
		56			12,56	2,66	11,64	2,66
		64			12,16	2,66	11,65	2,66
PBGA CSP BT 0,8 et 0,75 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch = 0,8 mm et 0,75 mm	48 à 384	12,13	1,49	9,13	1,49	10,52	1,49
PBGA flex 0,8 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch = 0,8 mm et 0,75 mm	48 à 288	12,13	1,49	8,57	1,49	9,82	1,49
PBGA BT 1,00 mm	Plastic Ball Grid Array with solder ball pitch = 1,0 mm	64 à 1156	10,89	1,00	7,67	1,00	7,67	1,00
PBGA 1,27mm	Plastic Ball Grid Array, with solder ball pitch = 1,27 mm	119 à 352	10,36	0,93	7,36	0,93	7,36	0,93
		>352 à 432			7,14	0,93	7,14	0,93
		>432 à 729			6,67	0,93	6,67	0,93
Power BGA (TBGA SBGA...)	Tape BGA, PBGA with heat sink, die top down pitch=1,27 mm Super BGA, PBGA with heat sink, die top down Pitch=1,27 mm	256 à 352	15,73	1,68	12,73	1,68	12,51	1,68
		>352 à 956			12,33	1,68	12,18	1,68
CBGA	Ceramic Ball Grid Array	255 à 1156	15,37	1,87	11,56	1,87	13,76	1,87
DBGA	Dimpled BGA	255 à 1156	15,37	1,87	12,15	1,87	13,76	1,87
CI CGA	Ceramic Land GA + interposer, Ceramic column GA	255 à 1156	15,37	1,87	11,81	1,87	13,76	1,87

Pour les boîtiers de discrets actifs, les taux de défaillance de base sont donnés dans le tableau suivant :

Boîtier	Noms Équivalents	Désignation	$\lambda_{0Tcy_Boîtier}$	$\lambda_{0Tcy_Joints\ brasés}$	
				FR4	Céramique
SOT23-3	TO236AB	SMD, small signal, L-lead, plastic	0,00057	0,00285	0,00285
SOT23-5	SC74A, SOT25				
SOT23-6	SC74, SOT26, SOT457				
SOT143	TO253AA, SC61B				
SOT323	SC70				
SOT346	SC59, TO236AA				
SOT353	SC70-5, SC88A				
SOT363	SC70-6, SC88				
SOD123					
SOD323	SC76				
SOD523	SC79	SMD, medium power, small heatsink, L-lead, plastic	0,00091	0,00455	0,0091
SOT223	SC73, TO261AA				
SOT243					
SOT343	SC82				
SOT89	SC62, TO243AA				
SOT194					
SOD6	DO214AA, SMB-J	SMD, small signal, C-lead, plastic	0,00091	0,00455	0,0091
SOD15	DO214AB, SMC-J				
DKAK	TO252AA, SC63, SOT428	SMD, power, large heatsink, L-lead, plastic	0,00413	0,02065	0,0413
D2PAK	TO263, SC83A, SMD220				
D3PAK	TO268				
ISOTOP	SOT227, TO244, Half-Pak	SMD, high power, screw, plastic	0,03333	0,16665	0,199
SOD80	Mini-MELF, DO213AA	SMD, Hermetically sealed glass	0,00781	0,03905	0,00781
SOD87	MELF, DO213AB				

Notes :

- Certains boîtiers de Discrets Actifs sont également utilisés pour les Circuits Intégrés,
- Certains boîtiers de Circuits Intégrés sont également utilisés pour les Discrets Actifs,
- Les boîtiers utilisés dans les hybrides et MCM sont généralement des micro boîtiers. Les tables listent néanmoins tous les boîtiers, même plus gros, dont l'utilisation dans un hybride ou MCM reste envisageable.

Humidité

Pour les valeurs de λ_{0RH} se reporter aux taux de défaillance de base associés aux boîtiers décrits aux chapitres Circuits Intégrés ou Discrets Actifs.

	C_{herméticité}
Circuit hermétique (enrobage interne ou non)	0,05
Circuit à cavité étanche (non hermétique)	0,5
Circuit moulé	1

Taux de défaillance associé aux microcomposants internes : composants passifs (résistances, condensateurs, inductances)

Facteurs communs à tous les microcomposants passifs

L'influence du cyclage thermique dépend du type de report du composant :

Type de report	Modèle de Π_{TCy}
Par collage (colle conductrice)	Π_{TCy} boîtier
Par brasage (brasure)	Π_{TCy} joints brasés

Facteur de moulage

	$C_{moulage}$
Circuit hermétique non moulé	1
Circuit moulé enrobage type silicone	1,4
Circuit moulé enrobage type polyuréthane	1,6
Circuit moulé enrobage type époxy	2

Chip résistifs (CMS)

$$\lambda_{\text{résistance}} = \lambda_{0_résistance} \times C_{moulage} \times \Pi_{TCy}$$

Où :

$$\lambda_{0_résistance} = 0,01$$

Résistances déposées

$$\lambda_{\text{résistances déposées}} = \lambda_{0_résistances déposées} \times C_{moulage} \times C_{tolérance} \times \Pi_{TCy}$$

Où :

$$\lambda_{0_résistances déposées} = (0,01 \times R_e + 0,04 \times R_m)$$

R_e : nombre de résistances déposées couches épaisses.

R_m : nombre de résistances déposées couches minces.

Tolérance	$C_{tolérance}$
Tolérance de plus de 5%	1
Tolérance de 1 à 5%	1,5 (valeur par défaut)
Tolérance de moins de 1%	2

Réseaux résistifs

$$\lambda_{\text{résistance_réseau}} = \lambda_{0_résistance_réseau} \times C_{\text{moulage}} \times \Pi_{\text{TCy}}$$

Où :

$$\lambda_{0_résistance_réseau} = 0,059$$

Condensateurs

$$\lambda_{\text{condensateur}} = \lambda_{0_condensateur} \times (C_{\text{moulage}} \times \gamma_{\text{TCy}} \times \Pi_{\text{TCy}} + \gamma_{\text{TH_EL}} \times \Pi_{\text{Tension}} \times \Pi_{\text{TH_EL}})$$

Le facteur $\Pi_{\text{TH_EL}}$ à prendre en compte est à sélectionner pour chaque condensateur en fonction de l'énergie d'activation E_a .

Où :

Description du composant	$\lambda_{0_Condensateur}$	Energie d'activation (eV)	$S_{\text{référence}}$	$\gamma_{\text{TH-EL}}$	γ_{TCy}
Condensateur céramique Type I, Catégorie 1	0,03	0,1	0,3	0,70	0,28
Condensateur céramique Type I, Catégorie 2	0,05	0,1	0,3	0,70	0,28
Condensateur céramique Type I, Catégorie 3	0,40	0,1	0,3	0,69	0,26
Condensateur céramique Type II, Catégorie 1	0,08	0,1	0,3	0,70	0,28
Condensateur céramique Type II, Catégorie 2	0,15	0,1	0,3	0,70	0,28
Condensateur céramique Type II, Catégorie 3	1,20	0,1	0,3	0,44	0,51
Condensateur céramique à terminaisons polymères Type II, Catégorie 1	0,08	0,1	0,3	0,70	0,28
Condensateur céramique à terminaisons polymères Type II, Catégorie 2 ou 3	0,15	0,1	0,3	0,70	0,28
Condensateur au tantale solide (Packaging CMS)	0,54	0,15	0,4	0,85	0,15
Condensateur déposé	0,1	0,1	0,3	0,71	0,29

Pour le critère de choix de la catégorie des condensateurs, se reporter à la fiche condensateur céramique.

$$\Pi_{\text{Tension}} = \left(\frac{1}{S_{\text{référence}}} \times \frac{V_{\text{appliquée}}}{V_{\text{nominale}}} \right)_i^3$$

L'indice i désigne la phase. Le facteur Π_{Tension} est à calculer pour chaque phase.

$V_{\text{appliquée}}$: tension appliquée au composant dans la phase (V)

V_{nominale} : tension maximale applicable au composant spécifiée par le fournisseur (V)

Inductances multicouches

$$\lambda_{\text{inductance}} = \lambda_{0_inductance} \times (C_{\text{moulage}} \times \gamma_{\text{TCy}} \times \Pi_{\text{TCy}} + \gamma_{\text{TH_EL}} \times \Pi_{\text{TH_EL}})$$

Où :

	Ea (eV)	λ_0	$\gamma_{\text{TH_EL}}$	γ_{TCy}
Inductance	0,15	0,05	0,71	0,29

Autres composants

Si d'autres types de composant sont présents dans l'hybride ou le MCM, le modèle de ces composants sera utilisé, avec les adaptations suivantes :

Cyclage thermique :

- Si le modèle ne distingue pas le cyclage thermique boîtier.
Le facteur C_{moulage} sera appliqué en pondération du facteur Π_{TCy} , comme pour les autres microcomposants. La loi d'accélération pour le cyclage thermique sera choisie en fonction du type de report (collage ou brasage). Voir la table "modèle de Π_{TCy} ",
- Si le modèle sépare le cyclage thermique boîtier du cyclage thermique joint brasé.
La règle précédente sera appliquée au seul facteur $\Pi_{\text{TCy_joint brasé}}$.

Humidité :

Le facteur $C_{\text{herméticité}}$ sera appliqué en pondération du facteur Π_{RH} , comme dans le cas des micro-boîtiers pour prendre en compte la protection contre l'humidité que peut apporter l'herméticité de l'hybride ou MCM.

Câblage, boîtier, substrat, connexions externes

Taux de défaillance associé au câblage : câblage interne par fils (bonding), par bumps (flip-chip) ou par rubans

$$\lambda_{\text{câblage}} = \left(\lambda_{0_{\text{câblage}}} \times \left(c_{\text{moulage}} \times \gamma_{\text{TCy}} \times \Pi_{\text{TCy}} + c_{\text{particule}} \times \gamma_{\text{ME}} \times \Pi_{\text{ME}} \right) + \lambda_{0_{\text{Puce_RH}}} \times C_{\text{hermétique}} \times \Pi_{\text{RH}} \right)$$

Où :

$$\lambda_{0_{\text{câblage}}} = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{Nb}_{\text{fils}}^{0,93}$$

Nb_{fils} : Nombre total de fils, bumps ou rubans à l'intérieur de l'hybride ou du MCM.

Si le facteur Nb_{fils} n'est pas connu, il peut être estimé par défaut à partir du nombre $\text{Nb}_{\text{E/S}}$ d'entrées / sorties de l'hybride ou du MCM :

- Pour les hybrides : $\text{Nb}_{\text{fils}} = \text{Max}(6,15 \times \text{Nb}_{\text{E/S}} - 24,55; \text{Nb}_{\text{E/S}})$
- Pour les MCMs : $\text{Nb}_{\text{fils}} = 2,9 \times \text{Nb}_{\text{E/S}}$

$$\gamma_{\text{TCy}} = 0,65$$

$$\gamma_{\text{ME}} = 0,35$$

Type de câblage	Modèle de Π_{TCy}
Fils et rubans (aluminium et or)	Π_{TCy} boîtier
Bumps	Π_{TCy} joints brasés

	C_{moulage}
Circuit hermétique non moulé	1
Circuit moulé enrobage type silicone	1,4
Circuit moulé enrobage type polyuréthane	1,6
Circuit moulé enrobage type époxy	2

	$C_{\text{particule}}$
Circuit moulé, ou interconnexion puce par Flip-Chip, avec underfill	0
Circuit non moulé hermétique présence de piège à particule et fil* or	0,5
Circuit non moulé hermétique présence de piège à particule et fil* aluminium ou interconnexion puce par Flip-Chip sans underfill	0,3
Circuit non moulé hermétique absence de piège à particule et fil* or	1,5
Circuit non moulé hermétique absence de piège à particule et fil* aluminium	1

(*) : fil ou ruban

Humidité

$$\lambda_{0_puce_RH} = 7,01 \cdot 10^{-7} \times Nb_{\text{fils}}^{2,41}$$

Avec

Nb_{fils} : Nombre total de fils, bumps ou rubans à l'intérieur de l'hybride ou du MCM.

Si le facteur Nb_{fils} n'est pas connu, il peut être estimé par défaut à partir du nombre $Nb_{E/S}$ d'entrées / sorties de l'hybride ou du MCM :

- Pour les hybrides : $Nb_{\text{fils}} = \text{Max}(6,15 \times Nb_{E/S} - 24,55 ; Nb_{E/S})$
- Pour les MCMs : $Nb_{\text{fils}} = 2,9 \times Nb_{E/S}$

$Nb_{E/S}$: Nombre de broches de l'hybride ou du MCM.

Remarque : Dans le cas d'un boîtier avec deux parties distinctes (par exemple, une face hermétique et l'autre sans protection), il faut distinguer le calcul pour chaque face.

Facteur $C_{\text{herméticité}}$

	$C_{\text{herméticité}}$
Circuit hermétique (enrobage interne ou non)	0,05
Circuit à cavité étanche (non hermétique)	0,5
Circuit moulé	1

Taux de défaillance associé au boîtier et au substrat

$$\lambda_{BS} = \lambda_{0_BS} \times \left(\gamma_{TCy} \times \Pi_{TCy_boîtier} + C_{ME} \times \gamma_{ME} \times \Pi_{ME} + \gamma_{RH} \times \Pi_{RH} + \gamma_{chimique} \times \Pi_{chimique} \right)$$

Où :

$$\lambda_{0_BS} = \lambda_{0_substrat} \times \left(N_{couches} \right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{N_{pistes}^b}{2} \right) \times \Pi_{Classe} \times \Pi_{Techno-substrat}$$

N_{pistes} = nombre de pistes

Valeur par défaut : $N_{piste} = (Nb_{fils} / 2)$

Pour l'estimation par défaut de Nb_{fils} se reporter au calcul proposé à partir du nombre d'entrées / sorties.

$N_{couches}$ = nombre de couches

Type de substrat	Technologie	Valeur de $\Pi_{Techno_substrat}$
Céramique		0,25
Verre-époxy	Trous traversant	0,25
	Trous borgnes	0,5
	Technologie Micro-vias	1
	Technologie Pad on vias	2,5

Largeur minimale des conducteurs (µm) / Espace minimal entre conducteurs ou pastilles (µm)	Valeur de Π_{Classe}
800 / 800	1
500 / 500	1
310 / 310	2
210 / 210	3
150 / 150	4
125 / 125	5
100 / 100	6

	$\lambda_{0_substrat}$	b	γ_{TCy}	γ_{ME}	γ_{RH}	$\gamma_{Chimique}$	C_{ME}
Boîtier céramique hermétique (boîtier MCM cuit...)	$2,08 \cdot 10^{-4}$	0.93	0,32	0,66	0,01	0,01	$1 + 0,1\sqrt{S_{boîtier}}$
Substrat alumine dans boîtier métallique hermétique	$2,08 \cdot 10^{-4}$	0.93	0,32	0,66	0,01	0,01	$1 + 0,1\sqrt{S_{boîtier}}$
Substrat alumine, avec moulage	$2,08 \cdot 10^{-4}$	0.93	0,6	0,35	0,04	0,01	$1 + 0,1\sqrt{S_{boîtier}}$
Substrat alumine, sans boîtier ni moulage	$2,08 \cdot 10^{-4}$	0.93	0,3	0,58	0,1	0,02	$1 + 0,1\sqrt{S_{boîtier}}$
Substrat organique (verre-époxy) dans boîtier métallique hermétique	$5 \cdot 10^{-4}$	1	0.48	0.5	0.01	0.01	$1 + 0,1\sqrt{S_{boîtier}}$
Substrat organique (verre époxy), avec moulage	$5 \cdot 10^{-4}$	1	0,72	0,18	0,09	0,01	1
Substrat verre-époxy, sans boîtier ni moulage	$5 \cdot 10^{-4}$	1	0,6	0,2	0,18	0,02	1

$S_{boîtier}$ = surface du boîtier en cm²

Dans le cas d'un hybride ou MCM possédant plusieurs types de substrat, les paramètres " $\lambda_{0_substrat}$ " et "b" d'un substrat "verre-époxy" seront adoptés pour l'ensemble de l'hybride ou MCM.

Dans le cas d'un boîtier avec des parties en configurations différentes (comme par exemple, un MCM avec une face hermétique et l'autre sans protection), il faut considérer la moyenne pondérée des taux de défaillance pour chaque partie (chaque face ou chaque cavité), pour laquelle le paramètre $S_{boîtier}$ correspond à la surface de la partie considérée. Le modèle devient :

$$\lambda_{BS} = \sum_{Cavités} \frac{\lambda_{0_BS} \times S_{cavité}}{S_{total}} \times (\gamma_{TCy} \times \Pi_{TCy_boîtier} + C_{ME} \times \gamma_{ME} \times \Pi_{ME} + \gamma_{RH} \times \Pi_{RH} + \gamma_{chimique} \times \Pi_{chimique})$$

et

$$C_{ME} = 1 + 0,1\sqrt{S_{cavité}}$$

Où

$S_{cavité}$ = surface de chaque cavité (partie, ou face) en cm²

S_{total} = somme des surfaces de chaque cavité en cm²

Taux de défaillance associé aux connexions externes

$$\lambda_{\text{connexions}} = \lambda_{0_{\text{TCy}}} \Pi_{\text{TCy_joints_brasés}} + \lambda_{0_{\text{ME}}} \Pi_{\text{ME}}$$

Cyclage thermique

$$\lambda_{0_{\text{TCy}}} = 20,5 \cdot 10^3 \times (K \times (D \times \Delta \text{CTE})^2)^{1,1}$$

K : paramètre de rigidité de connexion

Type de montage	K
Composant à pattes brasé en CMS Avec broches en cuivre, ou alliage de cuivre	$\min\left(5000 \cdot \left(\frac{S_{\text{broche}}}{L_{\text{broche}}}\right) - 0,01, 200\right)$ si négatif prendre K=0 (connexion peu rigide)
Composant à pattes brasé en CMS Avec broches en alliage Fer-Nickel (alloy 42, Kovar...)	$\min\left(6150 \cdot \left(\frac{S_{\text{broche}}}{L_{\text{broche}}}\right) - 0,01, 200\right)$ si négatif prendre K=0 (connexion peu rigide)
Composant à broches brasé en traversant Avec broches en cuivre, ou alliage de cuivre	$\min\left(30 \cdot \left(\frac{S_{\text{broche}}}{0,196}\right)^{1,1}, 100\right)$
Composant à broches brasé en traversant Avec broches en alliage Fer-Nickel (alloy 42, Kovar...)	$\min\left(37 \cdot \left(\frac{S_{\text{broche}}}{0,196}\right)^{1,1}, 100\right)$
Composant sans broche brasé en CMS	500
Composant sans broche assemblé par contact	5

S_{broche} section de la broche en mm²

L_{broche} longueur de la broche en mm

D distance entre les connexions les plus éloignées du module (en mm).

ΔCTE est la différence entre le CTE du boîtier et celui du PCB

Avec par défaut :

Nature du boîtier	PCB	
	Circuit imprimé (FR4, polymide) sans Cu/In/Cu*	Circuit imprimé (FR4, polymide) avec Cu/In/Cu*
Métal (Kovar)	$\Delta \text{CTE} = 9 \cdot 10^{-6} / ^\circ \text{C}$	$\Delta \text{CTE} = 7 \cdot 10^{-6} / ^\circ \text{C}$
Céramique (alumine ou cofritté)	$\Delta \text{CTE} = 8 \cdot 10^{-6} / ^\circ \text{C}$	$\Delta \text{CTE} = 6 \cdot 10^{-6} / ^\circ \text{C}$
Moulé (substrat organique ou céramique)	$\Delta \text{CTE} = 2 \cdot 10^{-6} / ^\circ \text{C}$	$\Delta \text{CTE} = 4 \cdot 10^{-6} / ^\circ \text{C}$

(*) Les couches de Cu/In/Cu (cuivre/Invar/cuivre) sont disposées dans le circuit imprimé, sur des couches externes, de façon à diminuer le CTE en surface.

Mécanique

$$\lambda_{0_{ME}} = \frac{1}{a} \times \left(7 \cdot 10^{-4} \times \frac{M^{1,6}}{S_{broche} \cdot Nb_{broches}^{0,5}} + 1 \cdot 10^{-6} \times \frac{D^2}{S_{broche}} \right)$$

Avec :

Mode de maintien	Exemple	a
Aucun (autorise un mouvement relatif entre le composant et le circuit imprimé)	Composant simplement reporté sur la carte	1
Souple (autorise un mouvement limité du composant sur son support)	Collage	2
Rigide (n'autorise pas ou très peu de mouvement relatif entre le composant et le circuit imprimé)	Bridage Vissage	4

S_{broche} : Section de la broche en mm²

$Nb_{broches}$: Nombre de broches de l'hybride ou du MCM

D : distance entre les connexions les plus éloignées du module (en mm).

M : masse du boîtier (en grammes)

Dans le cas d'absence d'informations sur la masse de l'hybride en boîtier métallique, prendre :

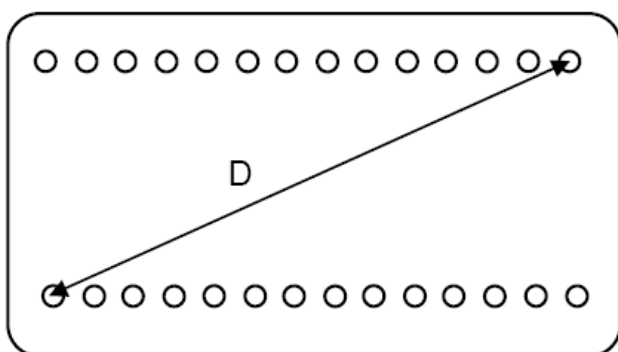
$M \text{ (gr)} = 0,003 \times \text{Volume de l'hybride (mm}^3\text{)}$

Dans le cas d'absence d'informations sur la masse du MCM, en boîtier céramique, prendre :

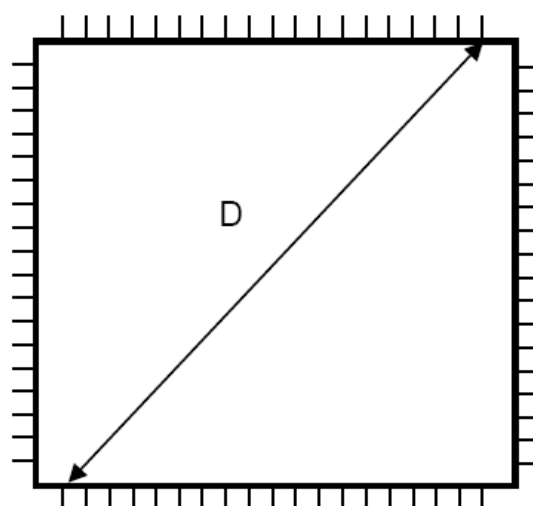
$M \text{ (gr)} = 0,004 \times \text{Volume du substrat (mm}^3\text{)}$

Remarque : La distance D entre les connexions les plus éloignées du module est souvent proche de la diagonale des boîtiers, comme le montre les schémas ci-dessous.

Cas d'un boîtier plateforme :



Cas d'un boîtier QFP :



Contraintes physiques

Renseignements liés au profil d'emploi

t_{annuel}	temps associé à chaque phase sur une année (heures)
$T_{\text{ambiante_carte}}$	température moyenne de la carte au cours de la phase (°C)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
$N_{\text{cy-annuel}}$	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage sur une année (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
Grms	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibrations aléatoires (Grms)

Niveau de pollution (voir tables)

Niveau de pollution saline	Π_{sal}
Faible	1
Forte	2

Niveau de protection système	Π_{prot}
Hermétique	0
Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	Π_{zone}
Faible	1
Modérée	2
Forte	4

Niveau de pollution d'environnement	Π_{envir}
Faible	1
Modérée	1,5
Forte	2

Renseignements liés à l'application

$T_{\text{H\&M}}$	température moyenne de l'hybride ou du MCM au cours de la phase (°C)
$T_{\text{J_composant}}$	température de jonction du composant pendant la phase (°C)
$P_{\text{dissipée}}$	puissance dissipée dans la phase par le composant, l'hybride, le MCM ou le microcomposant selon le cas (W)

Calcul de $T_{\text{H\&M}}$ et $T_{\text{J_composant}}$ dans le cas des hybrides et MCM

$$T_{\text{J_composant}} = T_{\text{H\&M}} + R_{\text{JC}} \cdot P_{\text{dissipée du composant}}$$

$$T_{\text{H\&M}} = T_{\text{ambiante}} + R_{\text{CA}} \cdot P_{\text{dissipée du H\&M}}$$

Où :

R_{JC} est la résistance thermique entre la jonction et le substrat de l'hybride ou du MCM.

R_{CA} est la résistance thermique entre l'hybride ou le MCM et l'ambiante.

Contributions associées aux contraintes physiques

$\Pi_{Thermique}$ <i>Composants actifs</i>	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\Pi_{El} \times e^{11604 \times 0,7 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{j-composant} + 273)} \right]}$ <p>Pour les diodes signal jusqu'à 1A (PIN, Schottky, signal, varactor) :</p> $\Pi_{El} = \left(\frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} \right)^{2,4} \quad \text{si } \frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} > 0,3$ $\Pi_{El} = 0,056 \quad \text{si } \frac{V_{appliquée}}{V_{nominale}} \leq 0,3$ <p>Pour les autres types d'article :</p> $\Pi_{El} = 1$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermique} = 0$</p>
$\Pi_{Thermo-électrique}$ <i>Ea = 0,1 eV Condensateur autres que tantale solide</i>	$11604 \times 0,1 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{H\&M} + 273)} \right]$ <p>En phase de fonctionnement : e</p> <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermo-électrique} = 0$</p>
$\Pi_{Thermo-électrique}$ <i>Ea = 0,15 eV Condensateur tantale solide, inductances</i>	$11604 \times 0,15 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{H\&M} + 273)} \right]$ <p>En phase de fonctionnement : e</p> <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermo-électrique} = 0$</p>
$\Pi_{TCy_joints_brasés}$	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{TCy_Boîtier}$	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{max-cyclage} + 273} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{ambiante} + 273)} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>
$\Pi_{Chimique}$	$\Pi_{Sal} \times \Pi_{Envir} \times \Pi_{zone} \times \Pi_{Prot}$

Composants hyperfréquence (HF) et radiofréquence (RF)

Facteur processus RF et HF

Facteur $\Pi_{\text{process RFHF}}$

Le facteur $\Pi_{\text{process RFHF}}$ permet de prendre en compte l'influence que peut avoir la maîtrise du cycle de vie d'un produit radiofréquence (RF) ou hyperfréquence (HF) sur la fiabilité.

Ce facteur est différent en fonction du modèle RF HF utilisé.

Le facteur $\Pi_{\text{process RFHF}}$ est une valeur comprise entre 0,5 et 4.

Quand les données ne sont pas connues, la valeur par défaut est $\Pi_{\text{process RFHF}} = 2,2$.

Ce facteur vient en complément du facteur Π_{process} qui reste applicable pour les produits hyperfréquence et radiofréquence.

Le facteur $\Pi_{\text{process RFHF}}$ est de la forme :

$$\Pi_{\text{ProcessRFHF}} = e^{1,504 \cdot (1 - \text{RFHF_grade})} - 0,5$$

Avec RFHF_grade = Somme (Valeurs du tableau ci-dessous si vrai sinon 0)/(Note maximum applicable).

N°	Critère	GAN	AsGa Cl Si SiGe DA Si et SiGe	Passif RFHF
Généralités				
1.1	Expérience confirmée de l'industriel dans le développement d'une carte ou d'une fonction radiofréquence (ou hyperfréquence) avec retour d'expérience favorable vis-à-vis de la fiabilité de la fonction réalisée.	8	8	8
1.2	Présence de protections contre la déconnexion d'antenne autour des amplificateurs et des transistors de puissance, RF et HF.	7	8	N/A
1.3	Présence de protections pour la compatibilité EMC (control du hors bande) autour des amplificateurs et des transistors de puissance, RF et HF. Par exemple : circulateur, filtre, ...	6	6	N/A
1.4	Présence de protections contre la désadaptation de charge autour des amplificateurs et des transistors de puissance, RF et HF. Par exemple : circulateur, isolateur, filtre, ...	7	8	N/A
Gestion des alimentations				
2.1	La gestion du séquençement des alimentations a été prise en compte pour la mise sous tension et pour la phase d'arrêt.	10	7	N/A
2.2	En mode opérationnel et dans le cas d'une alimentation en mode impulsif, les timings ont été vérifiés.	8	6	N/A

N°	Critère	GAN	AsGa Cl Si SiGe DA Si et SiGe	Passif RFHF
Burn-In				
3.1	Le fabricant du composant réalise un Burn-In. Sinon l'utilisateur intègre une phase de Burn-In	7	N/A	N/A
3.2	En cas de préconisation d'un Burn-In par le fabricant, il sera respecté et mis en place par l'utilisateur du composant.	7	7	N/A
3.3	L'évolution possible du composant lors des premières heures de fonctionnement a-t-elle été prise en compte et vérifiée.	5	N/A	N/A
Température de Jonction				
4.1	La Tj moyennée sur la surface de la puce déterminée à partir du Rth du composant et de la puissance dissipée de l'application respecte le RoR du fabricant.	7	7	N/A
4.2	Une attention particulière a été apportée à l'estimation du Tj (ou température plan de pose pour les passifs) composant en croisant la valeur de Tj obtenue à partir du Rth fabricant avec celle obtenue avec une méthode électrique ou tout autre méthode pertinente.	8	6	N/A
4.3	Une marge de sécurité a été prise en compte par rapport au RoR fabricant. Les valeurs de derating sont typiquement de 15% pour les composants de puissance et 10% pour les composants faible puissance.	6	6	N/A
4.4	Le risque d'emballement thermique a été pris en compte.	9	N/A	N/A
Compression, performance DC&RF et robustesse				
5.1	Le respect de tous les RoR a été vérifié dans le cadre de l'application.	10	10	10
5.2	Lorsque cela est applicable, la conception de l'application respecte, sur toute la gamme de température et de TOS, un courant de grille en régime radiofréquence inférieur au courant de grille maximum admissible et garantissant la fiabilité du composant : 'I _{g forward} '=f(Pin)<I _{g max} et 'I _{g reverse} ' conforme à la datasheet du fabricant (si indiqué).	10	10	N/A
5.3	La conception de l'application exclut toute excursion temporaire des paramètres au-delà des RoR sur toute la gamme de température opérationnelle et de TOS.	7	6	6
5.4	En mode opérationnel. La compression ne dépasse pas 6dB par rapport au gain maximum et/ou est compatible de la technologie utilisée (par des essais de RF-Step stress), la plus petite valeur étant retenue (Niveau de compression max admissible dans le RoR).	8	N/A	N/A

N°	Critère	GAN	AsGa Cl Si SiGe DA Si et SiGe	Passif RFHF
5.5	Des essais en conditions de désadaptation maximale de l'application + une marge ont été réalisés. Il n'y a pas de dérive ou bien les dérives ont été analysées par l'utilisateur et prises en compte pour le design de la fonction.	9	N/A	N/A
Essais Environnement & Qualification				
6.1	Les essais de qualification du fabricant du composant couvrent le profil de vie du produit tel que défini dans le guide, sinon ils seront réalisés par l'utilisateur (composant en boîtier ou puce nue).	6	6	6
6.2	La sensibilité du composant aux décharges ESD est connue et les mesures de précaution prises dans toute la chaîne d'approvisionnement, de la réception au test final avant expédition.	8	8	6
6.3	La méthode de report du composant est connue et est compatible du composant (boîtier, Niveau MSL, Température...).	8	8	N/A
Fiabilité				
7.1	Des essais de fiabilité sous polarisation RF représentative de l'application sont prévus par l'utilisateur. En cas de dérive elles seront prises en compte pour le design de la fonction.	9	9	N/A
7.2	La durée de vie du composant, dans les différents cas de fonctionnement est compatible du besoin et intègre une marge.	9	9	9

Composants GaN RF HF

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process} \times \Pi_{Process\ RFHF}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_{i=1}^{\text{Nombre de phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0TH} \times \Pi_{Thermique} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{sensibilité}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{sensibilité}$
	EOS	MOS	TOS	
Composants GaN, MMIC	8	3	4	6,9
Composants GaN, Discrets Actifs (dont Power Bar)	8	3	4	6,9

Facteur fabrication article Π_{PM}

Pour les MMIC, le facteur Π_{PM} est établi comme pour les Circuits Intégrés non HF RF.

Pour les Discrets Actifs (dont Power Bar), le facteur Π_{PM} est établi comme pour les Discrets Actifs non HF et RF.

Pour le choix du facteur ε , il est recommandé d'appliquer un facteur 4 pour des applications grand volume (télécommunication, grand public) et un facteur 2 pour des applications faible volume (défense, industriel, aéronautique).

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Se reporter aux taux de défaillance donnés pour les boîtiers des Circuits Intégrés autres que HF RF.

Taux de défaillance de base associés à la puce

Matériau de base	Type	λ_{0TH}
GaN	MMIC et Discrets Actifs (dont Power Bar) GaN	0,3033

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibrations aléatoires (Grms)

Renseignements liés à l'application

$T_{\text{j-composant}}$ température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)

$$T_{\text{j-composant}} = T_{\text{ambiante}} + \Delta T$$

$$\Delta T = P_{\text{dissipée}} \times R_{\text{JA}}$$

ΔT élévation de température du composant

R_{JA} résistance thermique jonction-ambiante

$P_{\text{dissipée}}$ puissance dissipée par le composant pendant la phase (W)

En cas de fonctionnement impulsionnel il est important de prendre en compte le rapport cyclique dans le calcul du $\Pi_{\text{Thermique}}$. Pour les impulsions courtes (impulsion dont la durée est inférieure à la constante de temps thermique de la puce), il est nécessaire de déterminer la ΔT à l'aide de l'impédance thermique Z au lieu de la R_{JA} .

η rapport cyclique pendant la phase

Renseignements liés à la technologie

T_{Ref} 150°C

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> <p>Si $T_{\text{j-composant}} > T_{\text{Ref}}$: $\eta \times e^{11604 \times 1,5 \times \left[\frac{1}{T_{\text{Ref}} + 273} - \frac{1}{(T_{\text{j-composant}} + 273)} \right]}$</p> <p>Si $T_{\text{j-composant}} \leq T_{\text{Ref}}$: $\eta \times e^{11604 \times 1,5}$</p> <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$</p> <p>En phase de fonctionnement non impulsionnel, $\eta = 1$</p>
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{\text{Méca}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	<p>$\left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$</p> <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{\text{RH}} = 0$</p>

Composants AsGa RF HF

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process} \times \Pi_{Process\ RFHF}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_{i=1}^{\text{Nombre de phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0TH} \times \Pi_{Thermique} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{sensibilité}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{sensibilité}$
	EOS	MOS	TOS	
Composants AsGa, MMIC (dont LNA)	9	3	5	7,4
Composants AsGa, Discrets Actifs (dont transistors)	9	3	5	7,4

Facteur fabrication article Π_{PM}

Pour les MMIC (dont LNA), le facteur Π_{PM} est établi comme pour les Discrets Actifs non HF RF.
 Pour les Discrets Actifs (dont transistors), le facteur Π_{PM} est établi comme pour les Discrets Actifs non HF et RF.

Pour le choix du facteur ε , il est recommandé d'appliquer un facteur 4 pour des applications grand volume (télécommunication, grand public) et un facteur 2 pour des applications faible volume (défense, industriel, aéronautique).

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Se reporter aux taux de défaillance donnés pour les boîtiers des Circuits Intégrés autres que HF RF.

Taux de défaillance de base associés à la puce

Matériau de base	Type	λ_{0TH}
AsGa	MMIC (dont LNA) et Discrets Actifs (dont transistors)	0,3756

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibrations aléatoires (Grms)

Renseignements liés à l'application

$T_{\text{j-composant}}$ température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)

$$T_{\text{j-composant}} = T_{\text{ambiante}} + \Delta T$$

$$\Delta T = P_{\text{dissipée}} \times R_{\text{JA}}$$

ΔT élévation de température du composant

R_{JA} résistance thermique jonction-ambiante

$P_{\text{dissipée}}$ puissance dissipée par le composant pendant la phase (W)

En cas de fonctionnement impulsionnel il est important de prendre en compte le rapport cyclique dans le calcul du $\Pi_{\text{Thermique}}$. Pour les impulsions courtes (impulsion dont la durée est inférieure à la constante de temps thermique de la puce), il est nécessaire de déterminer la ΔT à l'aide de l'impédance thermique Z au lieu de la R_{JA} .

η rapport cyclique pendant la phase

Renseignements liés à la technologie

T_{Ref} 125°C

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> <p>Si $T_{\text{j-composant}} > T_{\text{Ref}}$: $\eta \times e^{11604 \times 1,3 \times \left[\frac{1}{T_{\text{Ref}} + 273} - \frac{1}{(T_{\text{j-composant}} + 273)} \right]}$</p> <p>Si $T_{\text{j-composant}} \leq T_{\text{Ref}}$: $\eta \times e^{11604 \times 1,5}$</p> <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$</p> <p>En phase de fonctionnement non impulsionnel, $\eta = 1$</p>
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joint brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{\text{Méca}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	<p>$\left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$</p> <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{\text{RH}} = 0$</p>

Circuits Intégrés RF HF Si et SiGe

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process} \times \Pi_{Process\ RFHF}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_{i=1}^{\text{Nombre de phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0TH} \times \Pi_{Thermique} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{sensibilité}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{sensibilité}$
	EOS	MOS	TOS	
Circuits Intégrés Si, SiGe	9	3	5	7,4

Facteur fabrication article Π_{PM}

Le facteur Π_{PM} est établi comme pour les Circuits Intégrés non HF RF.

Pour le choix du facteur ε , il est recommandé d'appliquer un facteur 4 pour des applications grand volume (télécommunication, grand public) et un facteur 2 pour des applications faible volume (défense, industriel, aéronautique).

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Se reporter aux taux de défaillance donnés pour les boîtiers des Circuits Intégrés autres que HF RF.

Taux de défaillance de base associés à la puce

Matériau de base	Type	λ_{0TH}
Si	Circuit Analogique (Amplificateur de puissance) RF et HF (MOS)	0,5300
Si, SiGe	Circuit Analogique et Mixte (MOS, Bipolaire, BiCMOS, MESFET, PHEMT) dont RF et HF	0,1900
Si, SiGe	Circuit Numérique (MOS, Bipolaire, BiCMOS) RF et HF	0,0400

Notes :

- Mixte = analogique et numérique.
- La distinction entre puissance et bas niveau pour les amplificateurs est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Famille (puce avec ou sans boîtier)	Fréquence	P1dB (dBm)
Amplificateurs puissance & transistor de puissance	≤ 20 GHz	≥ 30
Amplificateurs puissance & transistor de puissance	> 20 GHz	≥ 20

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibrations aléatoires (G_{RMS})

Renseignements liés à l'application

$T_{\text{j_composant}}$ température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)

$T_{\text{i_composant}} = T_{\text{ambiante}} + \Delta T$

$\Delta T = P_{\text{dissipée}} \times R_{\text{JA}}$

ΔT élévation de température du composant

R_{JA} résistance thermique jonction-ambiante

$P_{\text{dissipée}}$ puissance dissipée par le composant pendant la phase (W)

En cas de fonctionnement impulsionnel il est important de prendre en compte le rapport cyclique dans le calcul du $\Pi_{\text{Thermique}}$. Pour les impulsions courtes (impulsion dont la durée est inférieure à la constante de temps thermique de la puce), il est nécessaire de déterminer la ΔT à l'aide de l'impédance thermique Z au lieu de la R_{JA} .

η rapport cyclique pendant la phase

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	En phase de fonctionnement : $e^{11604 \times 0,7 \times \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{\text{j_composant}}} \right)}$ En phase de fonctionnement impulsionnel : $\eta \times e^{11604 \times 0,7 \times \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{\text{j_composant}}} \right)}$ En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{\text{Méca}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$ En phase de fonctionnement : $\Pi_{\text{RH}} = 0$

Discrets Actifs RF HF Si et SiGe

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{Physique} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process} \times \Pi_{Process RFHF}$$

Avec :

$$\lambda_{Physique} = \sum_{i=1}^{\text{Nombre de phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0TH} \times \Pi_{Thermique} \\ + \lambda_{0TCyBoitier} \times \Pi_{TCyBoitier} \\ + \lambda_{0TCyJointsbrasés} \times \Pi_{TCyJointsbrasés} \\ + \lambda_{0RH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{0Méca} \times \Pi_{Méca} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induit})_i$$

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Circuit Discret actif Si et SiGe HF et RF	10	2	1	6,3
Circuit Discret actif AsGa RF et HF	10	4	5	7,4

Facteur fabrication article Π_{PM}

Le facteur Π_{PM} est établi comme pour les Discrets Actifs autres que HF RF.

Pour le choix du facteur ε il est recommandé d'appliquer un facteur 4 pour des applications grand volume (télécommunication, grand public) et un facteur 2 pour des applications faible volume (défense, industriel, aéronautique).

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Se reporter aux taux de défaillance donnés pour les boîtiers des Discrets Actifs autres que HF ou RF.

Taux de défaillance de base associés à la puce

Diodes de faible puissance	λ_{0TH}
Diodes PIN, Schottky, Tunnel, varactor (RF HF)	0,0120
Transistors de faible puissance	
Silicium, bipolaire < 5W, SiGe, bipolaire <1W	0,0138
Transistors de puissance	
Silicium, bipolaire > 5W	0,0478
Silicium, MOS > 5W	0,0202

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage sur une année (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibrations aléatoires (G_{RMS})

Renseignements liés à l'application

$T_{j_composant}$ température de jonction du composant lors d'une phase de fonctionnement (°C)

$$T_{j_composant} = T_{ambiante} + \Delta T$$

$$\Delta T = P_{dissipée} \times R_{JA}$$

ΔT élévation de température du composant

R_{JA} résistance thermique jonction-ambiante

$P_{dissipée}$ puissance dissipée par le composant pendant la phase (W)

$V_{appliquée}$ tension inverse appliquée dans la phase, pour les diodes signal uniquement (V)

En cas de fonctionnement impulsionnel il est important de prendre en compte le rapport cyclique dans le calcul du $\Pi_{Thermique}$. Pour les impulsions courtes (impulsion dont la durée est inférieure à la constante de temps thermique de la puce), il est nécessaire de déterminer la ΔT à l'aide de l'impédance thermique Z au lieu de la R_{JA} .

η rapport cyclique pendant la phase

Renseignements liés à la technologie

$V_{nominale}$ tension inverse nominale (V), pour les diodes signal uniquement

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{Thermique}$	<p>En phase de fonctionnement : $\pi_{El} \cdot e^{11604 \times 0,7 \times \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_j - \text{composant}} \right)}$</p> <p>En phase de fonctionnement impulsionnel : $\eta \cdot \pi_{El} \cdot e^{11604 \times 0,7 \times \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_j - \text{composant}} \right)}$</p> <p>Pour les diodes signal jusqu'à 1A (PIN, Schottky, signal, varactor) :</p> $\pi_{El} = \left(\frac{V_{appliqué}}{V_{nominale}} \right)^{2,4} \text{ si } \frac{V_{appliqué}}{V_{nominale}} > 0,3$ $\pi_{El} = 0,056 \text{ si } \frac{V_{appliqué}}{V_{nominale}} \leq 0,3$ <p>Pour les autres types d'article :</p> $\pi_{El} = 1$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{Thermique} = 0$</p>
Π_{TCy} <i>Boîtier</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{t_{total}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{max-cyclage} + 273)} \right]}$
Π_{TCy} <i>Joints brasés</i>	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{t_{total}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{max-cyclage} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Méca}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambiante}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{ambiante-carte} + 273)} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>

Composant passifs RF HF

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{\text{Process}} \times \Pi_{\text{Process RFHF}}$$

Avec :

Pour les fonctions spécifiques HF et RF,

$$\lambda_{\text{Physique}} = \lambda_{0_Passif\ HF\ RF} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}}_i \right) \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Pour les résistances CMS RF et HF, appliquer le calcul du $\lambda_{\text{Physique}}$ des chips résistifs décrit dans la fiche des résistances (autres que HF et RF).

Pour les capacités céramiques CMS RF et HF, appliquer le calcul du $\lambda_{\text{Physique}}$ des condensateurs en céramique à coefficient de température défini (type I) décrit dans la fiche des capacités céramiques (autres que HF et RF).

Pour les inductances RF et HF, appliquer le calcul du $\lambda_{\text{Physique}}$ des inductances multicouches décrit dans la fiche des composants magnétiques (autres que HF et RF).

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Composants passifs pour micro-ondes, fixes : Atténuateur, charge (50 Ohm), filtre, diviseur de puissance (combineur, splitter)	2	4	1	2,4
Composants passifs pour micro-ondes, variables : Atténuateur variable, filtre accordable	2	4	1	2,4
Composants passifs pour micro-ondes, avec ferrites Circulateur (circulator), isolateur (isolator), déphaseur (phase shifter)	2	4	1	2,4
Composants passifs pour micro-ondes : Filtres à ondes de surfaces	6	7	5	6,2

Facteur fabrication article Π_{PM}

Le facteur Π_{PM} est établi comme pour les Discrets Actifs autres que HF et RF.

Pour le choix du facteur ε il est recommandé d'appliquer un facteur ε de 4 pour des applications grand volume (télécommunication, grand public) et un facteur ε de 2 pour des applications faible volume (défense, industriel, aéronautique).

Taux de défaillance de base associés au composant

Description du composant	$\lambda_{0_passif\ HF\ RF}$	γ_{TH-EL}	γ_{TCy}	$\gamma_{Méca}$	γ_{RH}
Composants passifs pour micro-ondes, fixes : Atténuateur, charge (50 Ohm), filtre, diviseur de puissance (combineur, splitter)	0,5	0,01	0,67	0,30	0,02
Composants passifs pour micro-ondes, variables : Atténuateur variable, filtre accordable	1	0,01	0,67	0,30	0,02
Composants passifs pour micro-ondes, avec ferrites Circulateur (circulator), isolateur (isolator), déphaseur (phase shifter)	1	0,01	0,69	0,30	0
Filtres à ondes de surfaces	3,75	0,01	0,67	0,30	0,02

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibrations aléatoires (G_{RMS})

Renseignements liés à l'application

$$\Delta T = P_{\text{dissipée}} \times R_{\text{CA}}$$

ΔT élévation de température du composant

R_{CA} résistance thermique composant-ambiante

$P_{\text{dissipée}}$ puissance dissipée par le composant pendant la phase (W)

En cas de fonctionnement impulsionnel il est important de prendre en compte le rapport cyclique dans le calcul du $\Pi_{\text{Thermo-électrique}}$. Pour les impulsions courtes (impulsion dont la durée est inférieure à la constante de temps thermique de la puce), il est nécessaire de déterminer la ΔT à l'aide de l'impédance thermique Z au lieu de la R_{CA} .

η rapport cyclique pendant la phase

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermo-électrique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{TH-EL} \times e^{11604 \times 0,15 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + \Delta T + 273)} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement impulsionnel:</p> $\eta \times \gamma_{TH-EL} \times e^{11604 \times 0,15 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + \Delta T + 273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermo-électrique}} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{TCy} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\gamma_{Meca} \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\gamma_{RH} \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>

Cartes COTS

**Chapitre non mis à jour
dans la version 2022
(décembre 2022)**

Généralités

Le modèle carte COTS est destiné aux cartes du commerce qui remplissent des fonctions électroniques standards. Ce modèle est en particulier utile pour :

- Estimer la fiabilité de cartes COTS dont le fabricant n'a pas donné d'information de fiabilité,
- Estimer la fiabilité de cartes COTS dans des environnements autres que celui pour lequel le fabricant a donné la fiabilité,
- Estimer la fiabilité d'un ensemble de carte COTS de différentes origines dans un référentiel commun, sachant que les fabricants de carte COTS, quand ils donnent une information de fiabilité, n'en précisent pas forcément ni l'origine, ni les conditions dans lesquelles elle s'applique.

L'un des objectifs pratiques de ce modèle est de pouvoir être mis en œuvre à partir des informations directement disponibles sur la carte COTS. En général, cela se limite à la fiche de données techniques de la carte (datasheet). Or le niveau de détail des fiches d'informations techniques des cartes COTS est souvent faible. Cela entraîne certaines limitations sur ce modèle de carte COTS :

- Le découpage en fonction électronique qui est proposé permet de décrire des cartes qui réalisent des fonctions standard ; il n'est pas adapté à la description de cartes spécifiques qui ne sont pas des COTS,
- Le réalisme de la prévision est à mettre en regard du faible niveau d'information utilisé.

Pour les fabricants de cartes COTS désireux de publier des informations de fiabilité sur leur carte, il est recommandé d'utiliser la méthode composant plutôt que cette méthode carte.

Facteur induit

Contributions associées aux surcharges accidentelles

$$\Pi_{\text{induit } -i} = \left(\Pi_{\text{placement}} \times \Pi_{\text{application } n-i} \times \Pi_{\text{durcissement}} \right)^{0,511 \times \ln(C_{\text{sensibilité}})}$$

L'indice i désigne la phase considérée.

Contributions associées aux facteur $\Pi_{\text{placement}}$ et $C_{\text{sensibilité}}$

Fonctions communes toutes cartes	$\Pi_{\text{placement}}$	$C_{\text{sensibilité}}$
Fonctions communes	1,3	6,1

Fonctions numériques centrales	$\Pi_{\text{placement}}$	$C_{\text{sensibilité}}$
Fonction CPU	1,0	6,1
Fonction Mémoire FLASH Boot (NOR)		
Fonction Mémoire FLASH Stockage (NAND)		
Fonction Mémoire DRAM (DDR-SDRAM, SGRAM)		
Fonction L2, L3 cache ou SRAM		
Fonction Contrôleur SCSI		
Fonction Chipset (Northbridge, Southbridge)		

Fonctions numériques périphériques	$\Pi_{\text{placement}}$	$C_{\text{sensibilité}}$
Fonction contrôle Ethernet (LAN)	1,3	6,1
Fonction contrôle Graphique (VGA)		
Fonction contrôle Fieldbus (CAN, ARINC, 1553)		
Fonction contrôle Wireless (Bluetooth, WIFI)		
Fonction conversion analogique/digital ou digital/analogique		

Entrées sorties	$\Pi_{\text{placement}}$	$C_{\text{sensibilité}}$
Ligne numérique bus parallèle	1,6	6,1
Ligne analogique ou discrète	2,0	
Ligne périphérique série (RS232, RS485, RS422, USB, souris, clavier, ethernet)		
Ligne bus série (CAN, ARINC, 1553)		
Isolation d'entrée sortie par optocouplage		
Isolation ou aiquillage d'entrée/sortie par relais électromécanique		

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{application}}$

Cette contribution s'établit de la même façon que pour les composants.

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{durcissement}}$

Cette contribution s'établit de la même façon que pour les composants.

Facteur fabrication article

Modèle associé au facteur Π_{PM}

$$\Pi_{PM} = e^{1,39 \times (1 - \text{Part_Grade}) - 0,69}$$

Avec :

$$\text{Part_Grade} = \left\lceil \frac{(AQ_{\text{fabricant}} + AQ_{\text{article}}) \times \varepsilon}{24} \right\rceil$$

Facteur $AQ_{\text{fabricant}}$

Ce facteur se détermine de la même façon que pour les composants.

Facteur AQ_{article}

Niveau d'assurance qualité de l'article	Position par rapport à l'état de l'art	AQ_{article}
Réalisation d'essais de tenue aux environnements sévères et d'essais aggravés	Supérieur	3
Procédure connue de qualification / déverminage interne au fabricant	Equivalent	1
Pas d'information	Inférieur	0

Facteur d'expérience ε :

Ce facteur s'établit de la même façon que pour les composants.

Fonctions électroniques embarquées

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right) \times \lambda_{\text{Carte}} \right)_i$$

$$\lambda_{\text{Carte}} = \lambda_{\text{fonctions communes}} + \sum_j^{\text{Fonctions}} \lambda_{\text{fonction } j}$$

$$\lambda_{\text{fonctions communes}} = \lambda_{0 \text{ fonctions communes}} \times \sum_k^{\text{Contrainte}} (\gamma_{\text{fonctions communes}} \times \Pi_{\text{Accélération}})_k \times (\Pi_{\text{induit}})_{\text{fonctions communes}}$$

$$\lambda_{\text{fonction}} = \lambda_{0 \text{ fonction}} \times \sum_k^{\text{Contrainte}} (\gamma_{\text{fonction}} \times \Pi_{\text{Accélération}})_k \times (\Pi_{\text{induit}})_{\text{fonction}}$$

Nota : comme pour les autres modèles, $(\Pi_{\text{induit}})_{\text{fonctions communes}}$ et $(\Pi_{\text{induit}})_{\text{fonction}}$ sont à calculer pour chaque phase.

Détermination des facteurs de répartition par contrainte

Type de fonctions	γ_{TH}	$\gamma_{\text{TCy Joints Brasés}}$	$\gamma_{\text{TCy Boitier}}$	$\gamma_{\text{Méca}}$	γ_{RH}	γ_{Chi}
Fonctions communes toutes cartes	0,54	0,24	0,02	0,05	0,08	0,07
Fonctions numériques centrales	0,38	0,50	0,04	0,03	0,05	0,00
Fonctions numériques périphériques	0,38	0,50	0,04	0,03	0,05	0,00
Fonction Entrées/sorties						
• Ligne d'entrée sortie (bus parallèle, bus série, ligne discrète ou analogique)	0,49	0,40	0,03	0,02	0,05	0,01
• Isolation d'entrée sortie par optocouplage						
• Isolation ou aiguillage d'entrée/sortie par relais électromécanique	0,60	0,23	0,02	0,05	0,10	0,01

Taux de défaillance de base

Fonctions communes toutes cartes	λ_0 fonction
Fonctions communes	155 x FF

Fonctions numériques centrales	λ_0 fonction
Fonction CPU	11
Fonction Mémoire FLASH Boot (NOR)	17 x D_flash_boot
Fonction Mémoire FLASH Stockage (NAND)	19 x D_flash_stock
Fonction Mémoire DRAM (DDR-SDRAM, SGRAM)	23 x D_DRAM
Fonction L2, L3 cache ou SRAM	11 x D_SRAM
Fonction Contrôleur SCSI	6
Fonction Chipset (Northbridge, Southbridge)	16

Fonctions numériques périphériques	λ_0 fonction
Fonction contrôle Ethernet (LAN)	12
Fonction contrôle Graphique (VGA)	24
Fonction contrôle Fieldbus (CAN, ARINC, 1553)	12
Fonction contrôle Wireless (Bluetooth, WIFI)	11
Fonction conversion analogique/digital ou digital/analogique	10

Lignes d'entrées sorties	λ_0 fonction
Ligne numérique bus parallèle	1,0 x M _{parallèle}
Ligne analogique ou ligne discrète tout-ou-rien	1,2 x M _{analogique}
Ligne périphérique série (RS232, RS485, RS422, USB, souris, clavier, ethernet)	2 x M _{série}
Ligne bus série (CAN, ARINC, 1553)	3 x M _{série}
Isolation d'entrée sortie par optocouplage	1 x quantité
Isolation ou aiguillage d'entrée/sortie par relais électromécanique	3 x quantité

Détermination du facteur de forme FF

Format de carte	Longueur (mm)	Largeur (mm)	FF
lpack	99	45	0,12
PC104	96	90	0,23
PMC	149	74	0,30
EPIC	165	115	0,51
3U	160	100	0,43
mini ITX	170	170	0,78
6U	233	160	1,00
Flex-ATX	228	190	1,16
micro ATX	244	244	1,60
ATX	304	244	2,00

$$FF = \frac{\text{Largeur} \times \text{Longueur}}{37280}$$

Où Largeur et Longueur sont les dimensions principales de la carte en millimètres. Dans le cas où aucune donnée sur la taille de la carte n'est disponible, FF sera égal à 1.

Détermination des facteurs D de densité mémoire

Mémoire Flash Boot NOR	
Taille (Mo)	D_flash_boot
≤ 4	1,00
8	1,41
16	2,00
32	2,83
64	4,00
128	5,66

$D_{flash_boot} = 1$ si taille ≤ 4Mo

$$D_{flash_boot} = \left(\frac{Taille(Mo)}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ si taille} > 4\text{Mo}$$

Mémoire Flash stockage NAND	
Taille (Mo)	D_flash_stock
≤ 512	1
1024	1,41
2048	2
4096	2,82

$D_{flash_stock} = 1$ si taille ≤ 512Mo

$$D_{flash_stock} = \left(\frac{Taille(Mo)}{512} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ si taille} > 512\text{Mo}$$

Mémoire DRAM	
Taille (Mo)	D_DRAM
≤ 256	1
512	1,41
1024	2
2048	2,82
4096	4

$D_{DRAM} = 1$ si taille ≤ 256Mo

$$D_{DRAM} = \left(\frac{Taille(Mo)}{256} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ si taille} > 256\text{Mo}$$

Mémoire SRAM	
Taille (Ko)	D_SRAM
≤ 512	1
1024	1,41
2048	2
4096	2,82

$D_{SRAM} = 1$ si taille ≤ 512Ko

$$D_{SRAM} = \left(\frac{\text{Taille}(Ko)}{512} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ si taille} > 512Ko$$

Dans le cas où aucune donnée technologique associée à la fonction dénombrée n'est disponible, D sera égal à 1.

Détermination du facteur M de multiplicité des lignes entrée/sortie

Cas des entrées sorties bus parallèles : $M_{\text{parallèle}} = \sum_{\text{Bus parallèle}} (\text{Nombre de lignes du bus})^{1/2}$

Dans le cas où le nombre d'entrée sortie parallèle n'est pas disponible, $M_{\text{parallèle}}$ sera égal à 4.

Cas des entrées sorties analogiques : $M_{\text{analogique}} = (\text{Nombre de lignes})^{1/2}$

Dans le cas où le nombre d'entrée sortie parallèle n'est pas disponible, $M_{\text{analogique}}$ sera égal à 3.

Cas des entrées sorties bus série : $M_{\text{série}} = \text{Nombre d'interfaces bus série}$

Dans le cas où le nombre lignes n'est pas disponible, $M_{\text{série}}$ sera égal à 2.

Le nombre d'interface bus série doit considérer tous les protocoles présents.

Par exemple si la carte dispose de 3 bus CAN et d'un bus ARINC le $M_{\text{série}}$ à considérer est de 4.

Guide pour le dénombrement des fonctions

L'analyse permettant d'effectuer le recensement des fonctions électroniques sur la carte COTS en étude doit être basée sur les spécifications qui sont indiquées dans les fiches de données constructeurs. Le processus recommandé est le suivant :

1	Identifier les dimensions de la carte en étude : calcul du facteur de forme FF
2	Identifier les fonctions numériques centrales : ces fonctions seront nécessairement associées à la présence sur la carte de composants en charge d'une partie de l'architecture
3	Identifier la génération technologique des diverses ressources mémoire sur la carte en étude : calcul des facteurs de densité des mémoires D
4	Identifier les fonctions numériques périphériques : ces fonctions seront nécessairement associées à la présence sur la carte de composants en charge de la gestion spécifique d'un protocole de communication ou de traitement de signal
5	Identifier le nombre de bus et la multiplicité des lignes d'entrée sortie bus parallèle : calcul du facteur $M_{\text{parallèle}}$ Exemple : pour une carte gérant 4 bus parallèles à 16 lignes chacun, $M_{\text{parallèle}} = 4 \times (16)^{1/2} = 16$
6	Identifier la multiplicité des lignes d'entrée sortie analogique : calcul du facteur $M_{\text{analogique}}$ Exemple : pour une carte gérant 16 entrées analogiques, $M_{\text{analogique}} = (16)^{1/2} = 4$
7	Identifier la multiplicité des lignes d'entrée sortie bus série : calcul du facteur $M_{\text{série}}$ Exemple : une carte gérant 3 accès à un bus CAN et 1 accès à un bus ARINC possèdera un contrôleur CAN et un contrôleur ARINC (donc 2 fonctions contrôle fieldbus), 3 lignes bus série CAN et 1 ligne bus série ARINC (facteur $M_{\text{série}} = 4$)
8	Identifier les lignes d'entrée sortie ayant des barrières d'isolation (optocouplage ou électromécaniques) et ajouter les taux de défaillance aux lignes d'entrée sortie concernées. Exemple : pour une carte avec 1 entrée analogique commutable par 8 relais vers 8 sources externes, alors $M_{\text{analogique}} = 1$, plus 8 fonctions barrières d'isolation par relais électromécanique

Renseignements liés au profil de vie

t_{annuel}	temps associé à chaque phase sur une année (heures)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associés à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{RMS})

Niveau de pollution (voir tables)

Niveau de pollution saline	Π_{sal}
Faible	1
Forte	2

Niveau de protection produit	Π_{prot}
Hermétique	0
Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	Π_{zone}
Faible	1
Modérée	2
Forte	4

Niveau de pollution d'environnement	Π_{envir}
Faible	1
Modérée	1,5
Forte	2

Contributions associées aux stress physiques

$\Pi_{Thermique}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $e^{11604 \times 0,45 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{thermique} = 0$</p>
$\Pi_{Tcy_joints\ brasés}$	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{t_{total}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Tcy_boîtiers}$	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{t_{total}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cyclage}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Mécanique}$	$\left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH} <ul style="list-style-type: none"> Fonctions communes Ligne d'entrée sortie (bus parallèle, analogique ou discrète, périphérique série, bus série) Isolation ou aiguillage d'entrée/sortie par relais électromécanique 	<p>En phase de non-fonctionnement :</p> $\left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement :</p> $0,6 \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$
Π_{RH} Autres fonctions	$\left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{RH} = 0$</p>
$\Pi_{Chimique}$	$\Pi_{Sal} \times \Pi_{Indus} \times \Pi_{Zone} \times \Pi_{Prot}$

Sous-ensembles divers

**Chapitre non modifié dans
la version 2022 (décembre
2022)**

Généralités

Avertissement sur le domaine d'applicabilité théorique

Compte tenu de la méthode de construction de certains modèles de sous-ensembles présentés dans ce chapitre, leur comportement dans les environnements extrêmes (sévéres ou très bénins comme le stockage) n'est pas nécessairement aussi représentatif que ce qui est attendu pour les modèles composants.

En conséquence, l'emploi de ces modèles pour des environnements extrêmes (sévéres ou très bénins) doit se faire avec précaution.

Les sous-ensembles concernés sont :

- Ecrans LCD,
- Disques durs,
- Moniteurs CRT,
- Batteries lithium et nickel,
- Ventilateurs,
- Claviers.

Durée de vie

Modélisation

La durée de vie, liée à des phénomènes de vieillissement, se traduit par une augmentation du taux de défaillance qui peut se modéliser à l'aide d'une loi de Weibull.

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}}(t) = \beta \cdot \frac{t^{\beta-1}}{\eta^\beta}$$

avec :

t le temps,

β , facteur de forme

η , facteur d'échelle.

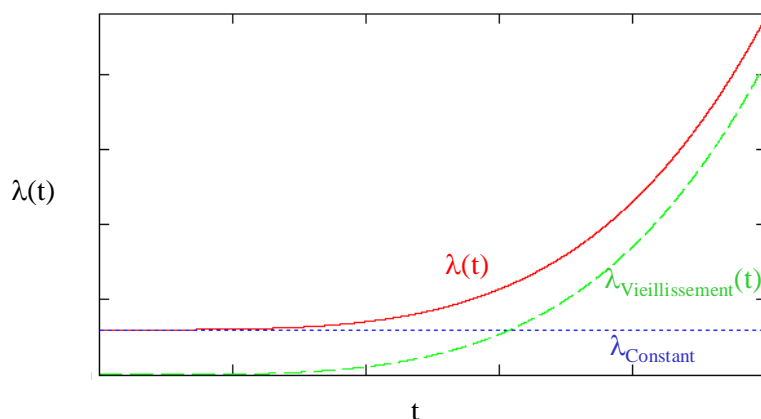
La durée de vie s'exprime généralement à l'aide du paramètre L10 correspondant au temps à partir duquel 10% des défaillances de vieillissement se sont produites.

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}}(t) = \beta \cdot \text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right) \cdot \frac{t^{\beta-1}}{L10^\beta}$$

Ces défaillances, $\lambda_{\text{vieillesse ment}}(t)$, viennent s'ajouter aux pannes dites aléatoires modélisées à l'aide d'une loi exponentielle avec un taux de défaillance constant.

$$\lambda(t) = \lambda_{\text{Constant}} + \lambda_{\text{Vieillesse ment}}(t)$$

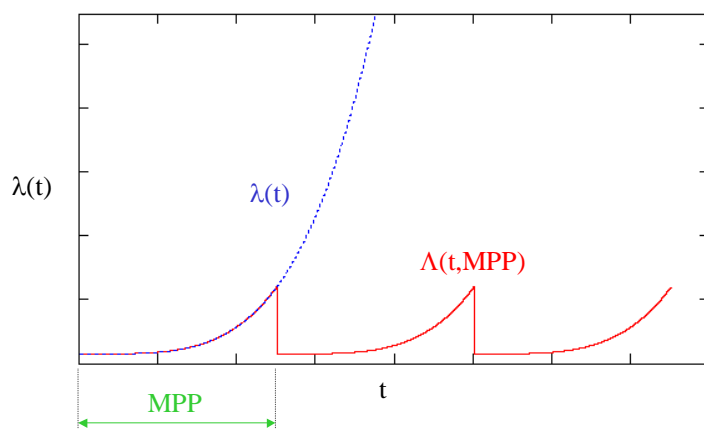
Ce qui est illustré par la courbe :



Maintenance préventive

Pour éviter l'avalanche des défaillances dues au vieillissement, il est souvent intéressant d'instaurer une Maintenance Préventive Périodique, de périodicité : MPP.

Le taux de défaillance évolue alors de la façon suivante :



Dans la détermination de MPP, il faut prendre en compte le cas où le sous-ensemble a une durée de vie plus longue que le système complet (par exemple disque dur dans un ordinateur de bureau). Dans ce cas MPP sera majorée par la durée de vie du système complet.

La MPP doit être considérée comme la périodicité de remplacement du sous-ensemble dans le système. Le sous-ensemble lui-même est considéré ici comme un article non réparable.

Taux de défaillance moyen

En toute rigueur, il conviendrait de prendre une modélisation du taux de défaillance en fonction du temps. Toutefois, compte tenu des besoins, il est beaucoup plus pratique de retenir un taux de défaillance moyen.

$$\lambda = \lambda_{\text{Constant}} + \text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right) \cdot \frac{\text{MPP}^{\beta-1}}{\text{L10}^{\beta}}$$

Lorsque la politique de maintenance ne prévoit pas de maintenance préventive le taux de défaillance moyen se calcule sur la période moyenne entre deux maintenances correctives dues aux défaillances de vieillissement : MC.

$$\text{MC} = \text{L10} \cdot \left(\frac{-\text{Ln}(0,5)}{\text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right)} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Certains modèles d'article (sous-ensembles) font donc intervenir le paramètre $\lambda_{\text{Vieillessement}}$ qui est construit selon les principes exposés ici.

Facteur de forme de Weibull β

Le facteur de forme β permet de modéliser le type de vieillissement. Une valeur de β par défaut est proposée pour chaque modèle ayant un $\lambda_{\text{Vieillessement}}$. Lorsque le fournisseur du sous-ensemble fournit une valeur de β , elle sera préférée à la valeur par défaut.

Facteur induit et fabrication article

Contributions associées aux surcharges accidentelles Π_{Induit}

Le facteur Π_{Induit} se calcule comme pour les composants.

La détermination du paramètre $\Pi_{\text{placement}}$ est définie dans chaque fiche d'article.

Modèle associé au facteur fabrication article Π_{PM}

Pour tous les sous-ensembles, le facteur Π_{PM} se calcule comme pour les cartes COTS.

Ecrans LCD (TFT, STN)

Modèle général associé à la famille

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{\text{Cst}} + \lambda_{\text{Vieillesse ment}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Cst}} = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

et :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}}_i \right) \times (\lambda_{\text{Ecran_Thermique}} \times \Pi_{\text{Thermique}} + \lambda_{\text{Ecran_Mécanique}} \times \Pi_{\text{Mécanique}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

et :

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}} = 0,105 \cdot 10^9 \times \frac{\min(\text{MPP}, \text{MC})^{\beta-1}}{\left(\frac{\text{DDV}}{T_{\text{utilisation}}}_n \right)^{\beta}}$$

avec :

- DDV, durée de vie en fonctionnement (L10).
Les écrans LCD ont une durée de vie limitée liée, en particulier, à la (ou aux) lampe(s) de rétro éclairage.
En l'absence de données fabricants, prendre DDV = 40 000 heures de fonctionnement.
- MPP, temps moyen calendaire entre 2 maintenances préventives périodiques.
Si la politique de maintenance n'en prévoit pas, prendre MPP = MC.
- MC, temps moyen calendaire entre 2 maintenances correctives dues aux seules pannes de

vieillessement :

$$\text{MC} = \frac{\text{DDV}}{T_{\text{utilisation}}}_n \times 6,579^{\frac{1}{\beta}}$$

- $T_{\text{utilisation}}$, taux d'utilisation pendant la durée du profil de vie (somme des durées de fonctionnement divisée par durée totale).
- β , facteur de forme de Weibull, par défaut $\beta = 3$.

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

Ecrans LCD		EOS	MOS	TOS	$C_{\text{sensibilité}}$
	TFT	7	2	1	2,40
	STN	3	2	1	1,80

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$

Ecrans LCD		$\Pi_{\text{placement}}$
	Portable	1,6
	Fixe	1,0

Taux de défaillance associé au sous-ensemble

Description du sous-ensemble	$\lambda_{\text{Ecran_Mécanique}}$	$\lambda_{\text{Ecran_Thermique}}$	Ea (eV) Energie d'activation
Ecrans LCD TFT	$\Pi_c \times (126 \times D^{1,11})$	$\Pi_c \times \left(193 \times e^{\frac{P}{115}} \right)$	0,6
Ecrans LCD STN	$\Pi_c \times (11 \times D^{2,48})$	$\Pi_c \times \left(96,5 \times e^{\frac{P}{10,8}} \right)$	0,5

Renseignements liés aux caractéristiques techniques

D : Taille de l'écran, diagonale (en pouces). $6'' < D_{\text{TFT}} < 70''$ et $6'' < D_{\text{STN}} < 17''$

P : Puissance (en Watt). $P_{\text{TFT}} < 300\text{W}$ et $P_{\text{STN}} < 40\text{W}$

Remarque : Si P inconnue prendre $P(D) = 2,4 \times e^{0,18 \times D}$, pour $6'' < D < 20''$.

Détermination du facteur de classe Π_c

Classification simplifiée suivant ISO13406-2 :

Classe	Nombre maximum de pixels, sous-pixels ou clusters morts par million de pixel					Facteur de classe Π_c
	Pixels allumés Type 1	Pixels éteints Type 2	Sous-pixels Type 3	Clusters de type 1 ou 2	Clusters de type 3	
I	0	0	0	0	0	2,48
II	2	2	5	0	2	1,00
III	5	15	50	0	5	0,46
IV	50	150	500	5	50	0,28

Ce tableau donne le nombre de défauts au-delà duquel un écran est considéré défaillant. Par exemple, en classe II un écran avec seulement 2 pixels par million en défaut n'est pas considéré comme défaillant.

Renseignements liés au profil de vie :

t_{annuel}	temps associé à chaque phase sur une année (heures)
T_{ambiante}	température ambiante moyenne associée à une phase (°C)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{RMS})

Contributions associées aux stress Physiques :

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{thermique}} = 0$</p>
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$

Disques durs (EIDE, SCSI)

Modèle général associé à la famille :

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{\text{Cst}} + \lambda_{\text{Vieillesse ment}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Cst}} = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

et :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{annuel}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\lambda_{\text{Disque-dur_Thermique}} \times \Pi_{\text{Thermique}} + \lambda_{\text{Disque-dur_Mécanique}} \times \Pi_{\text{Mécanique}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

et :

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}} = 0,105 \cdot 10^9 \times \frac{\min(\text{MPP}, \text{MC})^{\beta-1}}{\left(\frac{\text{DDV}}{T_{\text{utilisation}}}} \right)^{\beta}}$$

Avec :

- DDV, durée de vie en fonctionnement (L10).
Les disques durs ont une durée de vie limitée liée, en particulier, à l'usure des pièces mécaniques en mouvement.
En l'absence de données fabricants, prendre DDV = 50 000 heures de fonctionnement.
- MPP, temps moyen calendaire entre 2 maintenances préventives périodiques.
Si la politique de maintenance n'en prévoit pas, prendre MPP = MC.
- MC, temps moyen calendaire entre 2 maintenances correctives dues aux seules pannes de

vieillessement :

$$\text{MC} = \frac{\text{DDV}}{T_{\text{utilisation}}} \times 6,579^{\frac{1}{\beta}}$$

- $T_{\text{utilisation}}$, taux d'utilisation pendant la durée du profil de vie (somme des durées de fonctionnement divisée par durée totale).
- β , facteur de forme de Weibull, par défaut $\beta = 4,5$.

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

			EOS	MOS	TOS	$C_{\text{sensibilité}}$
Disques durs	Usage normal	Protection aux chocs/vibrations	2	6	2	4,00
		Qualification aux chocs/vibrations	2	8	2	5,00
		Sans protection ni qualification particulière	2	10	2	6,00
	Usage intensif ventilé	Protection aux chocs/vibrations	2	6	5	5,05
		Qualification aux chocs/vibrations	2	8	5	6,05
		Sans protection ni qualification particulière	2	10	5	7,05
	Usage intensif non ventilé	Protection aux chocs/vibrations	2	6	8	6,10
		Qualification aux chocs/vibrations	2	8	8	7,10
		Sans protection ni qualification particulière	2	10	8	8,10

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$

		$\Pi_{\text{placement}}$
Disques durs	Portable ou tiroir	2,5
	Fixe	1,8

Taux de défaillance associé au sous-ensemble

Description du sous-ensemble	$\lambda_{\text{Disque-dur_Mécanique}}$	$\lambda_{\text{Disque-dur_Thermique}}$
Disque dur famille IDE (IDE, EIDE, E-IDE, ATA, SATA, S-ATA, Ultra ATA, DMA, Ultra DMA,...)	$[425 - 208 \times \ln(Ft)]$	$\left[5,2 + \left(\frac{Ta}{9,6} \right)^{4,97} \right]$
Disque dur famille SCSI (SCSI-1, 2, 3, Ultra Wide SCSI 1, 2, 3, 4, SAS,...)	$[205 - 100 \times \ln(Ft)]$	$\left[2,5 + \left(\frac{Ta}{11,1} \right)^{4,97} \right]$

Description des facteurs technologiques

Ft Format du disque dur (en pouces). $1'' < Ft < 5.25''$

Ta Temps d'accès moyen (en ms). $Ta < 20\text{ms}$

Pc Nombre de plateau (Platter Count)

Remarque : si Pc inconnu, prendre : $Pc = \text{Part_entière} \left(\frac{1 + Nt}{2} \right)$ avec Nt : Nombre de têtes.

Renseignements liés à l'application : Calcul du facteur de sollicitation Π_s

$$\Pi_s(P_c, D_c) = \frac{P_c \times D_c + 3}{4}$$

Avec :

 P_c Nombre de plateau (Platter Count) D_c Taux de sollicitation (Duty Cycle) défini par :

$$D_c = \frac{\left(\sum_a \text{Temps_Accès} + \sum_b \text{Temps_Lecture} + \sum_c \text{Temps_Ecriture} \right)}{\text{Temps_utilisation}}$$

Toutefois, en l'absence de données sur le taux de sollicitation, les valeurs par défaut suivantes en fonction du type d'utilisation peuvent être prises en compte :

Type d'utilisation	Dc
Application bureautique ou domestique hors téléchargement haut débit	10%
Serveur de réseau (applications, données)	50%
Serveur ou client de téléchargement haut débit	100%

Renseignements liés au profil de vie t_{annuel} temps associé à chaque phase sur une année (heures) T_{ambiante} température ambiante moyenne associée à une phase (°C) G_{RMS} stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{RMS})**Contributions associées aux stress Physiques :**

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\Pi_s \times e^{11604 \times 0,785 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{thermique}} = 0$</p>
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\Pi_s \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$

Moniteurs CRT

Modèle général associé à la famille

① Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{\text{Cst}} + \lambda_{\text{Vieillesse ment}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Cst}} = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

et :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{l} \lambda_{\text{Moni_Thermique}} \times \Pi_{\text{Thermique}} \\ + \lambda_{\text{Moni_TCy}} \times \Pi_{\text{TCy}} \\ + \lambda_{\text{Moni_Mécanique}} \times \Pi_{\text{Mécanique}} \\ + \lambda_{\text{Moni_RH}} \times \Pi_{\text{RH}} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

et :

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}} = 0,105 \cdot 10^9 \times \frac{\min(\text{MPP}, \text{MC})^{\beta-1}}{\left(\frac{\text{DDV}}{T_{\text{utilisation}}} \right)^{\beta}}$$

avec :

- DDV, durée de vie en fonctionnement (L10).
Les moniteurs CRT ont une durée de vie limitée liée, en particulier, à la perte de précision du bombardement d'électron et surtout à l'altération de la couche luminophore.
En l'absence de données fabricants, prendre DDV = 20 000 heures de fonctionnement.
- MPP, temps moyen calendaire entre 2 maintenances préventives périodiques ;
si la politique de maintenance n'en prévoit pas, prendre MPP = MC.
- MC, temps moyen calendaire entre 2 maintenances correctives dues aux seules pannes de vieillissement :

$$\text{MC} = \frac{\text{DDV}}{T_{\text{utilisation}}} \times 6,579^{\frac{1}{\beta}}$$
- $T_{\text{utilisation}}$, taux d'utilisation pendant dans la durée du profil de vie (somme des durées de fonctionnement divisée par durée totale).
- β , Facteur de forme de Weibull, par défaut $\beta = 2,5$.

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	EOS	MOS	TOS	$C_{\text{sensibilité}}$
Ecrans CRT	2	5	1	3,15

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$

	$\Pi_{\text{placement}}$
Ecrans CRT	1,4

Taux de défaillance associé au sous-ensemble

$\lambda_{\text{Moni_Mécanique}}$	$\lambda_{\text{Moni_TCy}}$	$\lambda_{\text{Moni_Thermique}}$	$\lambda_{\text{Moni_RH}}$
$\left(262 + e^{\frac{Pds-14,4}{3,97}} \right)$	$\left(524 + e^{\frac{Pds-11,7}{3,97}} \right)$	$\left[13,6 + \left(\frac{P}{40,7} \right)^{2,5} + \frac{215}{\sqrt{Fh}} \right]$	$\left(128 + e^{\frac{D-16,9}{1,18}} \right)$

Description des facteurs technologiques

Pds	Poids du moniteur sans habillage (en kg) : $P < 40\text{kg}$
D	Taille de l'écran, diagonale (en pouces) : $D < 25''$
Fh	Fréquence de balayage horizontale max (en kHz) : $30\text{kHz} < Fh < 150\text{ kHz}$
P	Puissance maximale en fonctionnement (en Watts) : $P < 200\text{W}$

Remarque : Si P inconnu, prendre : $P(D) = 0,78 \times D^{1,72}$

Renseignements nécessaires liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase sur une année (heures)
T_{ambiante}	température ambiante moyenne associée à une phase (°C)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{RMS})

Renseignements nécessaires liés à l'application

Π_{Prot}	Niveau de protection du sous-ensemble
---------------------	---------------------------------------

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $e^{11604 \times 0,35 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{thermique}} = 0$</p>				
Π_{TCy}	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$				
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$				
Π_{RH}	$\Pi_{\text{Prot}} \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,8 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ <p>Niveau de Protection du sous-ensemble: Valeur de Π_{Prot}</p> <table> <tr> <td>Hermétique</td><td>0</td></tr> <tr> <td>Non hermétique</td><td>1</td></tr> </table>	Hermétique	0	Non hermétique	1
Hermétique	0				
Non hermétique	1				

Convertisseurs de tension AC/DC et DC/DC

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\lambda_{0\text{TH-TCy}} \times (\gamma_{\text{TH}} \times \Pi_{\text{TH}} + \gamma_{\text{TCy}} \times \Pi_{\text{TCy}}) + \lambda_{0\text{M-RH}} \times (\gamma_{\text{M}} \times \Pi_{\text{M}} + \gamma_{\text{RH}} \times \Pi_{\text{RH}}) \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	EOS	MOS	TOS	$C_{\text{sensibilité}}$
Convertisseurs AC/DC et DC/DC	8,4	3,4	1	5,90

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$

	$\Pi_{\text{placement}}$
Convertisseurs AC/DC et DC/DC	1,6

Taux de défaillance de base associés au sous-ensemble

	λ_0 AC/DC	λ_0 DC/DC	γ_{TH}	γ_{TCy}	γ_{M}	γ_{RH}
$\lambda_{0\text{TH-TCy}}$	$\sqrt{1150 + 86 \cdot \sqrt{P} \cdot \ln(P)}$	$(3,4 + 0,27 \cdot \sqrt{P})^2$	0,359	0,523		
$\lambda_{0\text{M-RH}}$	$\frac{1}{6,48 \cdot 10^{-3} + 0,296 \cdot \frac{\ln(Vol)}{Vol}}$	$6,4 \cdot Vol^{0,38} - 0,79$			0,090	0,028

Description des facteurs technologiques

	AC/DC	DC/DC
P : Puissance de sortie (en W)	5 W < P < 7 000 W	0,5 W < P < 1 000 W
Vol : Volume en cm ³	25 cm ³ < Vol < 10 000 cm ³	0,5 cm ³ < Vol < 3 500 cm ³
si Vol inconnu prendre	$\text{Vol}(P_{\text{ds}}) = 1,4 \times P_{\text{ds}}$	$\text{Vol}(P_{\text{ds}}) = \left(\frac{P_{\text{ds}}}{4,2} \right)^{1,3}$
avec Pds : Poids en g	20 g < Pds < 7 000 g	10 g < Pds < 2 200 g

Renseignements liés au profil de vie

t_{annuel}	temps associé à chaque phase sur une année (heures)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)
T_{ambiante}	température moyenne du sous-ensemble au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale du sous-ensemble lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	niveau vibratoire associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{RMS})

Renseignements liés à la technologie

Type de boîtier : Boîtier moulé ou autres.

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $e^{11604 \times 0,44 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + \Delta T + 273)} \right]}$ <p>avec : boîtiers moulés, $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ autres boîtiers, $\Delta T = 10^\circ\text{C}$</p> <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{2,5} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	<p>En phase de non fonctionnement :</p> $\left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,6 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de fonctionnement : $\Pi_{\text{RH}} = 0$</p>

Batteries lithium et nickel

Modèle général associé à la famille

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{\text{Cst}} + \lambda_{\text{Vieillesse ment}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Cst}} = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

et :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \lambda_{0_Batterie} \times N_{\text{cellules}} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

et :

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}} = 0,105 \cdot 10^9 \times \frac{\min(\text{MPP}, \text{MC})^{\beta-1}}{\min(\text{DDV}_1, \text{DDV}_2)^{\beta}}$$

avec :

- DDV₁, DDV₂, durées de vie calendaires (L10).
Les batteries ont une durée de vie limitée (DDV₁) liée au nombre de cycles de charges/décharges. Les batteries Lithium ont, de plus, et indépendamment du nombre de cycles de charges/décharges, une durée de vie (DDV₂) limitée dans le temps. Pour l'estimation des durées de vie, le critère de défaillance est en général une capacité de la batterie inférieure à un seuil spécifié (généralement entre 60% et 80% de la capacité initiale).

En l'absence de données fabricants, prendre :

		Facteur de mérite (Wh/Kg)	NbCD : Nb Cycles Charges/ Décharges	DDV ₂ en heures Calendaires
Lithium	Li-ion Polymère	-	300	20 000
	Li-ion (1)	≤ 100	300	20 000
		100 < ≤ 200	500	
		> 200	1 000	
	Li-métal Phosphate	-	2 000	35 000
	Nano Titane	-	10 000	150 000
Nickel	NiMH Métal Hydrure (2)	≤ 50	300	NA
		> 50	1 000	
	Ni-Zn Zinc	-	1 000	
	Ni-Cd Cadmium	-	2 000	

(1) et (2) : si le facteur de mérite n'est pas connu, prendre NbCD = 500

$$\text{DDV}_1 = \frac{\text{NbCD}}{\text{NbCD}_{\text{Annuel}}} \times 8760 \quad (8760, \text{nombre d'heure par an pour un profil de vie annuel})$$

avec $NbCD_{\text{Annuel}}$: Nombre de cycles de charges/décharges par an.

- MPP, temps moyen calendaire entre 2 maintenances préventives périodiques.
Si la politique de maintenance n'en prévoit pas, prendre $MPP = MC$.
- MC, temps moyen calendaire entre 2 maintenances correctives dues aux seules pannes de vieillissement :

$$MC = \min(DDV_1, DDV_2) \times 6,579^{\frac{1}{\beta}}$$
- β , facteur de forme de Weibull, par défaut $\beta = 5,0$.

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	EOS	MOS	TOS	$C_{\text{sensibilité}}$
Batteries Lithium et Nickel	7	7	1	6,40

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$

	$\Pi_{\text{placement}}$
Batteries Lithium et Nickel	1,3

Taux de défaillance de base associés au sous-ensemble

Description du sous-ensemble	λ_0 - Batterie	Energie d'activation (eV)	γ_{TH}	γ_{TCy}	$\gamma_{Méca}$
Nickel : NiMH Métal Hydrure, Ni-Zn Zinc, Ni-Cd Cadmium	0.21	0.40	0.85	0.14	0.01
Lithium : Li-ion, Nano Titane					
Lithium : Li-ion Polymère	0.29				
Lithium : Li-métal Phosphate	0.40				

N_{cellule} est le nombre de cellules dont est constituée la batterie. Si N_{cellule} n'est pas connu, prendre $N_{\text{cellule}} = 1$.

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase de fonctionnement (heures)
$T_{\text{ambiante-carte}}$	température moyenne de la carte au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{RMS})

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{\text{TH}} \times e^{11604 \times E_a \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante-carte}} + 273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$</p>
Π_{TCy}	$\gamma_{\text{TCy}} \times \left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\gamma_{\text{Méca}} \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$

Ventilateurs

Modèle général associé à la famille

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

$$\lambda = \lambda_{\text{Cst}} + \lambda_{\text{Vieillesse ment}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Cst}} = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

et :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \lambda_{0_Ventilateur} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Thermo-électrique}} + \Pi_{\text{TCy}} + \Pi_{\text{Mécanique}} + \Pi_{\text{RH}})_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

et :

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}} = 0,105 \cdot 10^9 \times \frac{\min(\text{MPP}, \text{MC})^{\beta-1}}{(\text{DDV}_{\text{calendaire}})^{\beta}}$$

avec :

- DDV_{calendaire}, durée de vie en heure calendaire.
Les ventilateurs ont une durée de vie (DDV) limitée liée principalement à l'usure des roulements. Les technologies de ventilateurs pouvant être très différentes, il est préférable de prendre les données du fabricant, généralement accessibles sous forme de durée de vie en fonctionnement (L10). Cette durée de vie en fonctionnement est réputée dépendre de la température de fonctionnement. La durée de vie en heure calendaire se déduit de la durée de vie dans les différentes phases de vie en utilisant la formule suivante :

$$\text{DDV}_{\text{calendaire}} = \left(\sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{annuel}}}{8760} \right)_i \times \left(\frac{1}{\text{DDV}} \right)_i \right)^{-1}$$

Avec :

$$\left(\frac{1}{\text{DDV}} \right)_i = 0 \text{ pour les phases de non fonctionnement.}$$

Pour les phases de fonctionnement, $\left(\frac{1}{\text{DDV}} \right)$ sera calculé à partir de la durée de vie en fonctionnement (L10) donnée par le fabricant, lorsque cette donnée est accessible. En l'absence de donnée fabricant, prendre :

$$\text{DDV} = 79200 \times \Pi_{\text{Type}} \times [3,53 - 0,744 \times \ln(B)] \times e^{-E_a * 11604 * \left(\frac{1}{313} - \frac{1}{T+273} \right)} \times \left(\frac{V}{3000} \right)^{-m}$$

Avec :

B, Bruit en dBA

V, Vitesse de rotation en Tours/minute (Tr/mn)

T, Température au voisinage du roulement dans la phase considérée en °C

Si T inconnu, prendre T = 30°C

Et T = 1,1 × Tamb + 12,5

10 dBA < B < 90 dBA

1500 Tr/mn < V < 5000 Tr/mn

30°C < T < 90°C

pour -40°C ≤ Tamb ≤ 16°C

pour 16°C < Tamb ≤ 70°C

Où T_{amb} est la température ambiante dans la phase considérée en °C

Et :

Type de roulement	Π_{type}		Ea	m
	AC	DC		
Pallier lisse <i>Sealed sleeve bearing</i>	0,50	0,46	0,46	1,60
Billes (simple) et pallier lisse <i>Single ball bearing (ball/sleeve)</i> Hydro-dynamique <i>Hydrodynamic (hypro)</i>	0,70	0,64	0,40	1,23
Billes (double) <i>Ball bearing (dual)</i>	1,0	0,92	0,28	0,93
Billes céramiques <i>Ceramic bearing</i>	1,4	1,3	0,21	0,57

- MPP, temps moyen calendaire entre 2 maintenances préventives périodiques.
Si la politique de maintenance n'en prévoit pas, prendre MPP = MC.
- MC, temps moyen calendaire entre 2 maintenances correctives dues aux seules pannes de vieillissement :

$$MC = DDV_{\text{calendaire}} \times 6,579^{\frac{1}{\beta}}$$

- β , facteur de forme de Weibull, par défaut $\beta = 2,2$.

Facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	Sensibilité relative (note sur 10)			$C_{\text{sensibilité}}$
	EOS	MOS	TOS	
Ventilateur	3.7	9.1	2.4	5.5

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$

	$\Pi_{\text{placement}}$
Ventilateur	1,6

Taux de défaillance de base associés au sous-ensemble

Description du composant	λ_0 -Ventilateur	γ_{Th}	γ_{TCy}	$\gamma_{Méca}$	γ_{Rh}
Ventilateur	0,17	0,51	0,31	0,08	0,11

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase sur une année (heures)
T_{ambiante}	température ambiante moyenne au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cylage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage sur une année (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (Grms)
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)

Contributions associées aux stress Physiques

$\Pi_{\text{Thermique}}$	<p>En phase de fonctionnement :</p> $\gamma_{\text{Th}} \times e^{11604 \times 0,15 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T+273)} \right]}$ <p>En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$</p> <p>T : température au voisinage du roulement au cours d'une phase (°C) Si T inconnu, prendre : Pour $-40^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{ambiante}} \leq 16$ $T = 30^{\circ}\text{C}$ Pour $16^{\circ}\text{C} < T_{\text{ambiante}} \leq 70^{\circ}\text{C}$ $T = 1,1 \times T_{\text{ambiante}} + 12,5$</p>
Π_{Tcy}	$\gamma_{\text{Tcy}} \times \left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{t_{\text{total}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{\text{max-cyclage}}+273)} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\gamma_{\text{M}} \times \left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\gamma_{\text{Rh}} \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,8 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}}+273)} \right]}$

Claviers

Généralités

ⓘ Attention : Durée de vie limitée

Ce modèle décrit les claviers à contacts à membrane, à course longue ou courte.

Le modèle clavier comprend la partie mécanique du clavier (touches) et la carte clavier qui assure l'interface électrique. Ces deux éléments sont distingués dans le modèle.

Le modèle clavier ne prend pas en compte les différentes options possibles que peuvent comporter certains claviers (lecteurs de carte, option sans fil, dispositif de pointage...).

Modèle général associé à la famille

$$\lambda = \lambda_{\text{Cst}} + \lambda_{\text{Vieillesse ment}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Cst}} = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

et :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \lambda_{\text{Clavier}} + \lambda_{\text{Carte}}$$

$$\lambda_{\text{Clavier}} = \lambda_{0_Clavier} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\frac{\Pi_{\text{Th_Clavier}} + \Pi_{\text{TCy_Clavier}}}{\Pi_{\text{Rh_Clavier}} + \Pi_{\text{Mécanique_Clavier}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

$$\lambda_{\text{Carte}} = \lambda_{0_Carte} \times \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\frac{\Pi_{\text{Th_Carte}} + \Pi_{\text{TCy_Carte}} + \Pi_{\text{Rh_Carte}}}{\Pi_{\text{Mécanique_Carte}} + \Pi_{\text{Chimique_Carte}}} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

et :

$$\lambda_{\text{Vieillesse ment}} = 0,105 \cdot 10^9 \times \frac{\min(\text{MPP}, \text{MC})^{\beta-1}}{\text{DDV}^{\beta}}$$

avec :

- DDV, durée de vie calendaire (L10).
Les claviers à membrane ont une durée de vie limitée. Il est toujours préférable de prendre les données constructeur, généralement accessibles. Toutefois, en l'absence d'information, prendre :

$$\text{DDV} = \frac{N_{\text{Frappes}}}{\text{Frq}}$$

Avec :

- N_{Frappes} , Nombre de frappe au clavier avant défaillance.
 - Frq, Fréquence de frappe au clavier en Nombre de frappes/heure calendaire.
- Si N_{Frappes} n'est pas connu, prendre :

$$N_{\text{Frappes}} = (0,69 + 0,34 \times \text{Poids}^{2,5}) \times (N_{\text{Touche}})^{1-\frac{1}{\beta}} \times 10^6$$

Où N_{Touche} est le nombre de touches du clavier.

- Poids, le poids du clavier en kilogrammes. $0,1 \text{ Kg} < \text{Pds} < 2 \text{ Kg}$.

- β , facteur de forme de Weibull, par défaut $\beta = 2,4$.
- MPP, temps moyen calendaire entre 2 Maintenance Préventives Périodiques. Si la politique de maintenance n'en prévoit pas, prendre MPP = MC.
- MC, temps moyen calendaire entre 2 Maintenance Correctives dues aux seules pannes de vieillissement :

$$MC = DDV \times 6,579^{\frac{1}{\beta}}$$

Exemple : Le clavier d'un ordinateur bureautique dont le nombre de cycle avant défaillance serait de $N_{\text{Frappes}}=10^6$ frappes subit, en moyenne, une fréquence de frappe de l'ordre de 3000 caractères par jours soit $\text{Frq}=3000/24=125$ caractères par heure calendaire. Sa durée de vie est alors : $DDV=10^6/125=80\,000$ heures calendaire.

Le même clavier utilisé à 180 frappes/minute pendant 2 heures/jour, correspondant à une fréquence $\text{Frq}=900$ frappes par heure calendaire aurait comme durée de vie : $DDV=10^6/900=11\,000$ heures calendaire

Contribution associée au facteur $C_{\text{sensibilité}}$

	$C_{\text{sensibilité}}$
Clavier membrane	7,2
Carte clavier	4,7

Contribution associée au facteur $\Pi_{\text{placement}}$

	$\Pi_{\text{placement}}$
Clavier et Carte clavier	1,6

Taux de défaillance de base associés au sous-ensemble Clavier

Description du composant		$\lambda_0\text{-Clavier}$	$\gamma_{\text{Th-Clavier}}$	$\gamma_{\text{Tcy-Clavier}}$	$\gamma_{\text{RH-Clavier}}$	$\gamma_{\text{Méca-Clavier}}$
Clavier membrane	Jusqu'à 20 touches	1,0	0,27	0,13	0,32	0,28
	De 20 à 70 touches	2,0	0,38	0,10	0,19	0,33
	De 70 à 95 touches	3,0	0,45	0,10	0,12	0,33
	De 95 à 120 touches	3,6	0,45	0,10	0,12	0,33
	Plus de 120 touches	4,5	0,45	0,10	0,12	0,33

Taux de défaillance de base associés au sous-ensemble Carte clavier

Description du composant	Phases	$\lambda_0\text{-Carte}$	$\gamma_{\text{Th-Carte}}$	$\gamma_{\text{Tcy_B-Carte}}$	$\gamma_{\text{Tcy_JB-Carte}}$	$\gamma_{\text{RH-Carte}}$	$\gamma_{\text{Méca-Carte}}$	$\gamma_{\text{Chim-Carte}}$
Carte clavier	ON	2,9	0,21	0,24	0,23	0,03	0,07	0,22
	OFF	2,9	0	0,24	0,23	0,24	0,07	0,22

Renseignements liés au profil de vie

t_{phase}	temps associé à chaque phase (heures)
T_{ambiante}	température ambiante moyenne au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	durée du cycle (heures)
G_{RMS}	stress associé à chaque phase de vibration aléatoire (G_{RMS})
RH_{ambiante}	taux d'humidité associé à une phase (%)

Niveau de pollution (voir tables) :

Niveau de pollution saline	Π_{sal}
Faible	1
Forte	2

Niveau de protection produit	Π_{prot}
Hermétique	0
Non hermétique	1

Niveau de pollution d'application	Π_{zone}
Faible	1
Modérée	2
Forte	4

Niveau de pollution d'environnement	Π_{envir}
Faible	1
Modérée	1,5
Forte	2

Contributions associées aux contraintes physiques

$\Pi_{Th \text{ Clavier}}$	$\gamma_{Th-Clavier} \times e^{11604 \times 0,25 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Tcy \text{ Clavier}}$	$\gamma_{Tcy-Clavier} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{M\acute{e}canique \text{ Clavier}}$	$\gamma_{M\acute{e}ca-Clavier} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
$\Pi_{RH \text{ Clavier}}$	$\gamma_{RH-Clavier} \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,86 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Th \text{ Carte}}$	$\gamma_{Th-Carte} \times e^{11604 \times 0,27 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ $\gamma_{Th-Carte}$ est différent en fonctionnement et en non fonctionnement
$\Pi_{Tcy \text{ Carte}}$	$\Pi_{TCy} = \Pi_{TCy_B} + \Pi_{TCy_JB}$ $\Pi_{TCy_B} = \gamma_{TCy_B-carte} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,27} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$ $\Pi_{TCy_JB} = \gamma_{TCy_JB-carte} \times \left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{M\acute{e}canique \text{ Carte}}$	$\gamma_{M\acute{e}ca-Carte} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0,5} \right)^{1,5}$
$\Pi_{RH \text{ Carte}}$	$\gamma_{RH-Carte} \times \left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times Ea \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{\text{ambiante}} + 273)} \right]}$ $\gamma_{RH-Carte}$ est différent en fonctionnement et en non fonctionnement En phase de fonctionnement : $Ea = 0,80$ En phase de non-fonctionnement : $Ea = 0,84$
$\Pi_{Chimique \text{ Carte}}$	$\gamma_{Chim-Carte} \times \Pi_{Sal} \times \Pi_{Envir} \times \Pi_{Zone} \times \Pi_{Prot}$

Comptage fiabilité par types d'articles

Principes généraux

La méthode de calcul comptage par types d'articles est une méthode d'évaluation simplifiée de la fiabilité. Elle a été établie par moyenne des différents paramètres détaillés dans les fiches des composants et, pour cette raison, l'utilisation de cette méthode simplifiée ne donne pas nécessairement un résultat pessimiste ou prudent. Les valeurs de taux de défaillances obtenus pour un ensemble de composants seront d'autant plus proches d'un calcul détaillé que les quantités et surtout la diversité des composants utilisés seront importantes. Au contraire, des écarts plus importants pourraient apparaître dans le cas d'un ensemble constitué de peu de type différent de composants. Les contraintes appliquées aux composants sont presque toujours fixées par défaut sur la base de niveaux usuellement observés et respectueux des règles de l'art.

La méthode de comptage par types d'articles permet d'avoir rapidement des évaluations de fiabilité de façon à pouvoir focaliser ensuite les efforts d'études et de construction de la fiabilité sur les points les plus sensibles. Cette méthode est donc particulièrement utile pour les études de fiabilité sur les très gros systèmes où il n'est pas forcément nécessaire de détailler finement des millions de composant.

Note : Cette méthode est à distinguer de la méthode carte COTS qui reste la mieux adaptée pour les évaluations des cartes COTS.

Profil de vie et contraintes physiques :

Le profil de vie est à décrire de la même façon que pour l'application de la méthode détaillée complète. La seule simplification qui est faite concerne les informations relatives aux contraintes chimiques qui sont fixées à des valeurs par défaut et n'ont pas besoin d'être renseignées.

Audit Processus, Π_{process} :

Le Π_{process} est à considérer comme pour l'application complète de la méthodologie FIDES. L'utilisation de la valeur par défaut peut nuire à la précision des résultats finaux.

Facteur Induit, Π_{induit} :

Le Π_{induit} est à considérer comme pour l'application complète de la méthodologie FIDES, sauf pour le $\Pi_{\text{placement}}$ qui n'est pas à considérer au niveau composant mais directement au niveau de l'objet à calculer. Le facteur C_sensibilité est précisé par famille de composant dans les tableaux comptage par type donnés ci-après.

Facteur fabrication article Π_{PM} :

Le Π_{PM} est simplifié et pris comme une politique de choix des composants à considérer globalement et non pas par famille de composant.

$$\Pi_{PM} = e^{1,39 \times (1 - \text{Part_Grade}) - 0,69}$$

Avec :

$$\text{Part_Grade} = \left[\frac{(AQ_{\text{fabricant}} + AQ_{\text{composant}} + AF_{\text{composant}}) \times \varepsilon}{36} \right]$$

 $AQ_{\text{fabricant}}$

Le niveau d'Assurance Qualité des fabricants choisis est le plus souvent, par exemple	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{fabricant}}$
Certifié ISO/TS16949 V2002	Supérieur	3
Certifié selon l'une des normes suivantes : QS9000, TL9000, ISO/TS 29001, EN9100, AS9100, JISQ 9100, AQAP 2110, AQAP 2120, AQAP 2130, IRIS, IEC TS 62239, ESA/SCC QPL, MIL-PRF-38535 QML, MIL-PRF-19500	Equivalent	2
Certifié ISO 9000 version 2000	Inférieur	1
Pas d'information	Très inférieur	0

 $AQ_{\text{composant}}$

Le niveau d'Assurance Qualité des composants choisis est le plus souvent, par exemple	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Qualification selon AEC Q100, Q101, ou JESD47	Supérieur	3
Qualification selon standards JESD22, JEP143 ou QML	Equivalent	2
Programme de qualification fabricant, sites de fabrication non identifiés	Inférieur	1
Pas d'informations	Très inférieur	0

 $AF_{\text{composant}}$

Le niveau des essais effectués sur la plupart des choisis est le plus souvent, par exemple	Position par rapport à l'état de l'art	$AQ_{\text{composant}}$
Des essais très sévères sont généralement effectués	Très fiable - Niveau A	3
Des essais sévères sont généralement effectués	Très fiable - Niveau B	2
Des essais sont généralement effectués	Fiable	1
Pas d'essais	Non fiable	0

Des essais types sont donnés, par exemple, pour les circuits intégrés dans la méthode détaillée.

Facteur d'expérience ε

Les fabricants choisis sont le plus souvent	Position par rapport à l'état de l'art	Facteur ε
Reconnus avec des procédés matures	Très peu de risque	4
Reconnus avec des procédés non analysés ou non matures	Peu de risque	3
Non reconnus	Risque	2

Précédentes disqualifications, problèmes constatés,...	Risque important	1
--	------------------	---

Modèle général associé à toutes les familles

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

Avec :

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right) \times (\lambda_{\text{ECU}})_i$$

$$+ \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{phase}}}{T_{\text{Total}}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{0\text{TH}} \times \Pi_{\text{Thermique}} \\ + \lambda_{0\text{TCyBoitier}} \times \Pi_{\text{TCyBoitier}} \\ + \lambda_{0\text{TCyJointsbrasés}} \times \Pi_{\text{TCyJointsbrasés}} \\ + \lambda_{0\text{RH}} \times \Pi_{\text{RH}} \\ + \lambda_{0\text{Méca}} \times \Pi_{\text{Méca}} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Le taux de défaillance λ_{ECU} est celui des contributions Electrique (cas des relais et interrupteurs), Chimique et vieillissement (Usure) dont l'évolution en fonction des conditions d'environnement est nulle ou négligée dans le cas de la méthode de comptage fiabilité. Cependant λ_{ECU} est différent en fonctionnement (sous tension) et en non fonctionnement (hors tension).

Renseignements liés au profil d'emploi

t_{annuel}	Temps associé à chaque phase sur une année (heures)
$\text{RH}_{\text{ambiante}}$	Taux d'humidité associé à une phase (%)
T_{ambiante}	Température moyenne au cours d'une phase (°C)
$\Delta T_{\text{cyclage}}$	Amplitude de variation de température associée à une phase de cyclage (°C)
$T_{\text{max-cyclage}}$	Température maximale au niveau de la carte lors d'une phase de cyclage (°C)
N_{cy}	Nombre de cycles associé à chaque phase de cyclage (cycles)
θ_{cy}	Durée du cycle (heures)
G_{RMS}	Niveau de vibrations aléatoires associé à chaque phase (GRMS)

Contributions associées aux stress physiques :

$\Pi_{\text{Thermique}}$	$e^{11604 \times E_a_{\text{Th}} \times \left[\frac{1}{T_0 + 273} - \frac{1}{T_{\text{ambiante}} + \Delta T \times e^{-\alpha \cdot T_{\text{ambiante}} + 273}} \right]}$
$\Pi_{\text{TcyBoitier}}$	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{m_B} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{\text{TcyJoints_Brasés}}$	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy}}}{T_{\text{phase}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cyclage}}}{20} \right)^{m_{JB}} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{T_{\text{max-cyclage}} + 273} \right]}$
$\Pi_{\text{Mécanique}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^n$
Π_{RH}	$\left(\frac{\text{RH}_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times E_a_{\text{RH}} \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T_{\text{ambiante}} + 273} \right]}$

Comptage par types d'articles : Paramètres

Paramètres associés aux phases de fonctionnement (ON) du comptage par types

			Phases ON : Paramètres moyens par défaut par type d'article													Induit	
			Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité
			λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU	
Circuit intégré Numérique	Hermétique	≤ 24 p	0,021	0,7	20	3	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0,021	0,7	20	5	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0,021	0,7	20	7	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0,021	0,7	20	10	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0,021	0,7	20	14	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
	Non Hermétique	≤ 24 p	0,021	0,7	20	3	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0,021	0,7	20	5	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0,021	0,7	20	7	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0,021	0,7	20	10	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0,021	0,7	20	14	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
Circuit intégré Mémoire	Hermétique	≤ 24 p	0,054	0,7	20	6	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0,054	0,7	20	8	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0,054	0,7	20	12	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0,054	0,7	20	17	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0,054	0,7	20	24	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
	Non Hermétique	≤ 24 p	0,054	0,7	20	6	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0,054	0,7	20	8	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0,054	0,7	20	12	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0,054	0,7	20	17	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0,054	0,7	20	24	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
Circuit intégré Micro*, DSP, ASIC simple	Hermétique	≤ 24 p	0,075	0,7	20	8	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0,075	0,7	20	11	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0,075	0,7	20	17	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0,075	0,7	20	23	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0,075	0,7	20	33	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3

				Phases ON : Paramètres moyens par défaut par type d'article													Induit			
				Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité		
				λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU			
Non Hermétique				≤ 24 p	0,075	0,7	20	8	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3	
				de 24 à 48 p	0,075	0,7	20	11	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3	
				de 48 à 144 p	0,075	0,7	20	17	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3	
				de 144 à 288 p	0,075	0,7	20	23	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3	
				> 288 p	0,075	0,7	20	33	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3	
Circuit intégré Analogique, Mixte, FPGA, CPLD, ASIC complexe				Hermétique	≤ 24 p	0,14	0,7	20	10	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
					de 24 à 48 p	0,14	0,7	20	15	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
					de 48 à 144 p	0,14	0,7	20	22	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
					de 144 à 288 p	0,14	0,7	20	30	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
					> 288 p	0,14	0,7	20	43	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
				Non Hermétique	≤ 24 p	0,14	0,7	20	10	0	0	0	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
					de 24 à 48 p	0,14	0,7	20	15	0	0	0	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
					de 48 à 144 p	0,14	0,7	20	22	0	0	0	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
					de 144 à 288 p	0,14	0,7	20	30	0	0	0	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
					> 288 p	0,14	0,7	20	43	0	0	0	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
Diode	Non Hermetique	SMD	faible puissance	0,0075	0,7	20	10	0	0	0	0,0008	4	0,0040	1,9	0,000080	1,5	0	5,2		
			puissance	0,15	0,7	20	43	0	0	0	0,0041	4	0,021	1,9	0,00041	1,5	0	5,2		
		TH	faible puissance	0,0075	0,7	20	10	0	0	0	0,0011	4	0,0055	1,9	0,00011	1,5	0	5,2		
			puissance	0,15	0,7	20	43	0	0	0	0,003	4	0,015	1,9	0,00030	1,5	0	5,2		
	Hermetique	SMD		0,079	0,7	20	27	0	0	0	0,0078	4	0,039	1,9	0,00078	1,5	0	5,2		
		TH		0,079	0,7	20	27	0	0	0	0,01	4	0,051	1,9	0,0010	1,5	0	5,2		
Transistor	Non Hermetique	SMD	faible puissance	0,014	0,7	20	10	0	0	0	0,0008	4	0,0040	1,9	0,00008	1,5	0	5,2		
			puissance	0,034	0,7	20	43	0	0	0	0,0041	4	0,021	1,9	0,00041	1,5	0	5,2		
		TH	faible puissance	0,014	0,7	20	10	0	0	0	0,0011	4	0,0055	1,9	0,00011	1,5	0	5,2		
			puissance	0,034	0,7	20	43	0	0	0	0,003	4	0,015	1,9	0,0003	1,5	0	5,2		
	Hermetique	SMD		0,024	0,7	20	27	0	0	0	0,0078	4	0,039	1,9	0,00078	1,5	0	5,2		
		TH		0,024	0,7	20	27	0	0	0	0,01	4	0,051	1,9	0,001	1,5	0	5,2		
Photodiode	Non Hermetique	SMD	faible puissance	0,05	0,4	20	7	0	0	0	0,0008	4	0,014	1,9	0,0051	1,5	0	5,2		
			puissance	0,05	0,4	20	29	0	0	0	0,0041	4	0,031	1,9	0,0054	1,5	0	5,2		
		TH	faible puissance	0,05	0,4	20	7	0	0	0	0,0011	4	0,016	1,9	0,0051	1,5	0	5,2		

				Phases ON : Paramètres moyens par défaut par type d'article														Induit
				Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité
				λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU	
	Hermetique		puissance	0,05	0,4	20	29	0	0	0	0,003	4	0,025	1,9	0,0053	1,5	0	5,2
		SMD	0,05	0,4	20	18	0	0	0	0,0078	4	0,049	1,9	0,0058	1,5	0	5,2	
			TH	0,05	0,4	20	18	0	0	0	0,01	4	0,061	1,9	0,0060	1,5	0	5,2
Phototransistor	Non Hermetique	SMD	faible puissance	0,11	0,4	20	7	0	0	0	0,0008	4	0,025	1,9	0,011	1,5	0	5,2
			puissance	0,11	0,4	20	29	0	0	0	0,0041	4	0,042	1,9	0,011	1,5	0	5,2
		TH	faible puissance	0,11	0,4	20	7	0	0	0	0,0011	4	0,027	1,9	0,011	1,5	0	5,2
			puissance	0,11	0,4	20	29	0	0	0	0,003	4	0,036	1,9	0,011	1,5	0	5,2
	Hermetique	SMD	0,11	0,4	20	18	0	0	0	0,0078	4	0,060	1,9	0,012	1,5	0	5,2	
		TH	0,11	0,4	20	18	0	0	0	0,01	4	0,072	1,9	0,012	1,5	0	5,2	
Potentiomètre				0,13	0,15	20	33	0	0	0	0	1	0,11	1,9	0,066	1,5	0	2,5
Résistance		forte dissipation		0,010	0,15	20	78	0	0	0	0	1	0,37	1,9	0,0040	1,5	0	2,3
		faible dissipation		0,0050	0,15	20	12	0	0	0	0	1	0,19	1,9	0,0020	1,5	0	2,8
Résistance à feuille métallique gravée				0,021	0,15	20	26	0	0	0	0	1	0,097	1,9	0,012	1,5	0	5,8
Réseau résistif, Chip résistif				0,00021	0,15	20	7	0	0	0	0	1	0,020	1,9	0,00021	1,5	0	4,5
Condensateur céramique		produit CV modéré		0,048	0,1	20	0	0	0	0	0	1	0,019	1,9	0,0014	1,5	0	6,1
		produit CV élevé		0,12	0,1	20	0	0	0	0	0	1	0,075	1,9	0,0074	1,5	0	6,1
Condensateur aluminium				0,26	0,4	20	0	0	0	0	0	1	0,043	1,9	0,0031	1,5	0	6,4
Condensateur tantale		gélifié		0,33	0,15	20	0	0	0	0	0	1	0,0043	1,9	0,052	1,5	0	7,0
		solide		0,54	0,15	20	0	0	0	0	0	1	0,072	1,9	0,013	1,5	0	7,0
Inductance				0,013	0,15	20	17	0	0	0	0	1	0,024	1,9	0,0043	1,5	0	5,5
Transformateur		faible puissance		0,0013	0,15	20	10	0	0	0	0	1	0,091	1,9	0,033	1,5	0	6,9
		forte puissance		0,038	0,15	20	30	0	0	0	0	1	0,17	1,9	0,040	1,5	0	6,8
Résonateur à quartz		traversant		0,23	0	20	0	0	0	0	0	1	0,37	1,9	0,22	1,5	0	4,6
		CMS		0,13	0	20	0	0	0	0	0	1	0,47	1,9	0,12	1,5	0	4,6
Oscillateur à quartz		traversant		1,65	0	20	0	0	0	0	0	1	0,68	1,9	0,22	1,5	0	8,1
		CMS		1,65	0	20	0	0	0	0	0	1	0,94	1,9	0,12	1,5	0	8,1
Relais jusqu'à 10 contacts	Charge résistive	< 3 actuations/h		2,6	0,25	40	57	0,024	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	0,76	1,5	0,12	7,55
		≥ 3 actuations/h		26	0,25	40	57	0,024	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	7,6	1,5	1,2	7,55
	Charge non résistive	< 3 actuations/h		2,6	0,25	40	57	0,024	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	0,76	1,5	2,4	7,55
		≥ 3 actuations/h		26	0,25	40	57	0,024	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	7,6	1,5	24	7,55

			Phases ON : Paramètres moyens par défaut par type d'article														Induit	
			Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité	
			λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU		
Relais > 10 contacts	Charge résistive	< 3 actuations/h	6,2	0,25	40	57	0,024	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	1,8	1,5	0,28	7,55	
		≥ 3 actuations/h	62	0,25	40	57	0,024	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	18	1,5	2,8	7,55	
	Charge non résistive	< 3 actuations/h	6,2	0,25	40	57	0,024	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	1,8	1,5	5,7	7,55	
		≥ 3 actuations/h	62	0,25	40	57	0,024	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	18	1,5	57	7,55	
Poussoir, Inter., Inver. (< 4 pattes)			charge résistive	0,45	0,25	40	52	0,024	0,070	0,9	0	1	0,041	1,9	0,32	1,5	0,030	7,45
DIP, Roue codeuse (de 4 à 10 pattes)				0,88	0,25	40	52	0,024	0,14	0,9	0	1	0,081	1,9	0,63	1,5	0,058	7,45
Commutateur (> 10 pattes)				1,9	0,25	40	52	0,024	0,30	0,9	0	1	0,18	1,9	1,4	1,5	0,13	7,45
Poussoir, Inter., Inver. (< 4 pattes)			charge non résistive	0,45	0,25	40	52	0,024	0,070	0,9	0	1	0,041	1,9	0,32	1,5	0,59	7,45
DIP, Roue codeuse (de 4 à 10 pattes)				0,88	0,25	40	52	0,024	0,14	0,9	0	1	0,081	1,9	0,63	1,5	1,2	7,45
Commutateur (> 10 pattes)				1,9	0,25	40	52	0,024	0,30	0,9	0	1	0,18	1,9	1,4	1,5	2,6	7,45
Connecteur circuit imprimé et supports CI	soudés (PTH ou CMS)	jusqu'à 20 contacts	0,29	0,1	20	5	0	0,066	0,8	0	1	0,020	1,9	0,025	1,5	0,22	4,4	
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0,93	0,1	20	5	0	0,21	0,8	0	1	0,064	1,9	0,080	1,5	0,69	4,4	
		de plus de 200 contacts	2,1	0,1	20	5	0	0,47	0,8	0	1	0,14	1,9	0,18	1,5	1,5	4,4	
	wrapping ou insertion	jusqu'à 20 contacts	0,073	0,1	20	5	0	0,016	0,8	0	1	0,0051	1,9	0,0063	1,5	0,055	4,4	
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0,23	0,1	20	5	0	0,052	0,8	0	1	0,016	1,9	0,020	1,5	0,17	4,4	
		de plus de 200 contacts	0,52	0,1	20	5	0	0,12	0,8	0	1	0,036	1,9	0,045	1,5	0,39	4,4	
Autre connecteur	soudés (PTH ou CMS)	jusqu'à 20 contacts	0,18	0,1	20	5	0	0,039	0,8	0	1	0,012	1,9	0,015	1,5	0,13	4,4	
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0,56	0,1	20	5	0	0,12	0,8	0	1	0,038	1,9	0,048	1,5	0,42	4,4	
		de plus de 200 contacts	1,2	0,1	20	5	0	0,28	0,8	0	1	0,086	1,9	0,11	1,5	0,93	4,4	
	wrapping ou insertion	jusqu'à 20 contacts	0,044	0,1	20	5	0	0,010	0,8	0	1	0,0030	1,9	0,0038	1,5	0,033	4,4	
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0,14	0,1	20	5	0	0,031	0,8	0	1	0,010	1,9	0,012	1,5	0,10	4,4	
		de plus de 200 contacts	0,31	0,1	20	5	0	0,070	0,8	0	1	0,021	1,9	0,027	1,5	0,23	4,4	
Circuit imprimé, PTH		jusqu'à 2000 reports	0	0	40	0	0	0,090	0,8	0	1	0,30	1,9	0,10	1,5	0,022	6,5	
		> 2000 reports	0	0	40	0	0	0,36	0,8	0	1	1,2	1,9	0,40	1,5	0,087	6,5	
Circuit imprimé, CMS		jusqu'à 2000 reports	0	0	40	0	0	1,2	0,8	0	1	4,1	1,9	1,4	1,5	0,30	6,5	
		> 2000 reports	0	0	40	0	0	4,9	0,8	0	1	16	1,9	5,5	1,5	1,2	6,5	
Disque dur		EIDE	8,2	0,785	20	0	0	0	0	0	1	0	1	230	1,5	510	5,0	
		SCSI	2,9	0,785	20	0	0	0	0	0	1	0	1	110	1,5	510	5,0	
Ecran LCD (Classe III)		STN	jusqu'à 14"	449	0,5	20	0	0	0	0	1	0	1	3520	1,5	1167	1,8	

			Phases ON : Paramètres moyens par défaut par type d'article														Induit
			Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité
			λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU	
		de 14" à 20"	713	0,5	20	0	0	0	0	0	1	0	1	5697	1,5	1167	1,8
	TFT		137	0,6	20	0	0	0	0	0	1	0	1	1346	1,5	1167	2,4
			au delà de 20"	252	0,6	20	0	0	0	0	0	1	0	1	2156	1,5	1167
Moniteur CRT	jusqu'à 20"		42	0,35	20	0	0	64	0,8	0	1	526	1,9	263	1,5	2858	3,2
	au delà de 20"		89	0,35	20	0	0	269	0,8	0	1	796	1,9	401	1,5	2858	3,2
Alimentation à découpage	jusqu'à 500W		77	0,44	20	0	0	0	0	0	1	112	2,5	23	1,5	0	5,9
	au delà de 500W		142	0,44	20	0	0	0	0	0	1	207	2,5	26	1,5	0	5,9
Convertisseur DC/DC	jusqu'à 50W		19	0,44	20	0	0	0	0	0	1	27	2,5	6,4	1,5	0	5,9
	au delà de 50W		47	0,44	20	0	0	0	0	0	1	68	2,5	12	1,5	0	5,9

SMD : Surface Mounted Device - CMS : Composant monté en surface

TH : Through Hole - Trou traversant

ECU = Electrique, Chimique, Usure

Paramètres associés aux phases de non fonctionnement (OFF) du comptage par types

			Phases OFF : Paramètres moyens par défaut par type d'article													Induit	
			Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité
			λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU	
Circuit intégré Numérique	Hermétique	≤ 24 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
	Non Hermétique	≤ 24 p	0	0	0	0	0	0,011	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0	0	0	0	0	0,072	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0	0	0	0	0	0,17	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0	0	0	0	0	0,45	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
Circuit intégré Mémoire	Hermétique	≤ 24 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
	Non Hermétique	≤ 24 p	0	0	0	0	0	0,011	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0	0	0	0	0	0,072	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0	0	0	0	0	0,17	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0	0	0	0	0	0,45	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
Circuit intégré Micro*, DSP, ASIC simple	Hermétique	≤ 24 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3
		de 144 à 288 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3
		> 288 p	0	0	0	0	0	0	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3
	Non Hermétique	≤ 24 p	0	0	0	0	0	0,011	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3
		de 24 à 48 p	0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3
		de 48 à 144 p	0	0	0	0	0	0,072	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3

				Phases OFF : Paramètres moyens par défaut par type d'article												Induit										
				Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité								
				λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU									
				de 144 à 288 p		0	0	0	0	0	0,17	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3						
				> 288 p		0	0	0	0	0	0,45	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3						
Circuit intégré Analogique, Mixte, FPGA, CPLD, ASIC complexe				Hermétique		≤ 24 p		0	0	0	0	0	0	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3				
						de 24 à 48 p		0	0	0	0	0	0	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3				
						de 48 à 144 p		0	0	0	0	0	0	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3				
						de 144 à 288 p		0	0	0	0	0	0	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3				
						> 288 p		0	0	0	0	0	0	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3				
				Non Hermétique		≤ 24 p		0	0	0	0	0	0,011	0,9	0,002	4	0,012	1,9	0,00028	1,5	0	6,3				
						de 24 à 48 p		0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0044	4	0,041	1,9	0,0012	1,5	0	6,3				
						de 48 à 144 p		0	0	0	0	0	0,072	0,9	0,0084	4	0,11	1,9	0,0036	1,5	0	6,3				
						de 144 à 288 p		0	0	0	0	0	0,17	0,9	0,016	4	0,30	1,9	0,011	1,5	0	6,3				
						> 288 p		0	0	0	0	0	0,45	0,9	0,034	4	0,96	1,9	0,043	1,5	0	6,3				
Diode		Non Hermetique		SMD		faible puissance		0	0	0	0	0	0,01	0,9	0,0008	4	0,0040	1,9	0,000080	1,5	0	5,2				
						puissance		0	0	0	0	0	0,034	0,9	0,0041	4	0,021	1,9	0,00041	1,5	0	5,2				
				TH		faible puissance		0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0011	4	0,0055	1,9	0,00011	1,5	0	5,2				
						puissance		0	0	0	0	0	0,059	0,9	0,003	4	0,015	1,9	0,00030	1,5	0	5,2				
		Hermetique		SMD		0	0	0	0	0	0	0,9	0,0078	4	0,039	1,9	0,00078	1,5	0	5,2						
				TH		0	0	0	0	0	0	0,9	0,01	4	0,051	1,9	0,0010	1,5	0	5,2						
				Transistor		Non Hermetique		SMD		faible puissance		0	0	0	0	0	0,01	0,9	0,0008	4	0,0040	1,9	0,00008	1,5	0	5,2
										puissance		0	0	0	0	0	0,034	0,9	0,0041	4	0,021	1,9	0,00041	1,5	0	5,2
TH		faible puissance						0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0011	4	0,0055	1,9	0,00011	1,5	0	5,2				
		puissance						0	0	0	0	0	0,059	0,9	0,003	4	0,015	1,9	0,0003	1,5	0	5,2				
		Hermetique		SMD		0	0	0	0	0	0	0,9	0,0078	4	0,039	1,9	0,00078	1,5	0	5,2						
				TH		0	0	0	0	0	0	0,9	0,01	4	0,051	1,9	0,001	1,5	0	5,2						
				Photodiode		Non Hermetique		SMD		faible puissance		0	0	0	0	0	0,01	0,9	0,0008	4	0,014	1,9	0,0051	1,5	0	5,2
										puissance		0	0	0	0	0	0,034	0,9	0,0041	4	0,031	1,9	0,0054	1,5	0	5,2
TH		faible puissance						0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0011	4	0,016	1,9	0,0051	1,5	0	5,2				
		puissance						0	0	0	0	0	0,059	0,9	0,003	4	0,025	1,9	0,0053	1,5	0	5,2				
		Hermetique		SMD		0	0	0	0	0	0	0,9	0,0078	4	0,049	1,9	0,0058	1,5	0	5,2						
				TH		0	0	0	0	0	0	0,9	0,01	4	0,061	1,9	0,0060	1,5	0	5,2						

				Phases OFF : Paramètres moyens par défaut par type d'article														Induit
				Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité
				λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU	
Phototransistor	Non Hermetique	SMD	faible puissance	0	0	0	0	0	0,01	0,9	0,0008	4	0,025	1,9	0,011	1,5	0	5,2
			puissance	0	0	0	0	0	0,034	0,9	0,0041	4	0,042	1,9	0,011	1,5	0	5,2
		TH	faible puissance	0	0	0	0	0	0,031	0,9	0,0011	4	0,027	1,9	0,011	1,5	0	5,2
			puissance	0	0	0	0	0	0,059	0,9	0,003	4	0,036	1,9	0,011	1,5	0	5,2
	Hermetique	SMD	0	0	0	0	0	0	0,9	0,0078	4	0,060	1,9	0,012	1,5	0	5,2	
		TH	0	0	0	0	0	0	0,9	0,01	4	0,072	1,9	0,012	1,5	0	5,2	
Potentiomètre				0	0	0	0	0	0,003	0,9	0	1	0,11	1,9	0,066	1,5	0	2,5
Résistance		forte dissipation		0	0	0	0	0	0,014	0,9	0	1	0,37	1,9	0,0040	1,5	0	2,3
		faible dissipation		0	0	0	0	0	0,0045	0,9	0	1	0,19	1,9	0,0020	1,5	0	2,8
Résistance à feuille métallique gravée				0	0	0	0	0	0,064	0,9	0	1	0,097	1,9	0,012	1,5	0	5,8
Réseau résistif, Chip résistif				0	0	0	0	0	0,00021	0,9	0	1	0,020	1,9	0,00021	1,5	0	4,5
Condensateur céramique		produit CV modéré		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,019	1,9	0,0014	1,5	0	6,1
		produit CV élevé		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,075	1,9	0,0074	1,5	0	6,1
Condensateur aluminium				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,043	1,9	0,0031	1,5	0	6,4
Condensateur tantale		gélifié		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0043	1,9	0,052	1,5	0	7,0
		solide		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,072	1,9	0,013	1,5	0	7,0
Inductance				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,024	1,9	0,0043	1,5	0	5,5
Transformateur		faible puissance		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,091	1,9	0,033	1,5	0	6,9
		forte puissance		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,17	1,9	0,040	1,5	0	6,8
Résonateur à quartz		traversant		0	0	0	0	0	0,094	0,9	0	1	0,37	1,9	0,22	1,5	0	4,6
		CMS		0	0	0	0	0	0,077	0,9	0	1	0,47	1,9	0,12	1,5	0	4,6
Oscillateur à quartz		traversant		0	0	0	0	0	0,19	0,9	0	1	0,68	1,9	0,22	1,5	0	8,1
		CMS		0	0	0	0	0	0,15	0,9	0	1	0,94	1,9	0,12	1,5	0	8,1
Relais jusqu'à 10 contacts	Charge résistive	< 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	0,76	1,5	0	7,55
		≥ 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	7,6	1,5	0	7,55
	Charge non résistive	< 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	0,76	1,5	0	7,55
		≥ 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,13	0,9	0	1	0,10	1,9	7,6	1,5	0	7,55
Relais > 10 contacts	Charge résistive	< 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	1,8	1,5	0	7,55
		≥ 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	18	1,5	0	7,55
		< 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	1,8	1,5	0	7,55

			Phases OFF : Paramètres moyens par défaut par type d'article														Induit	
			Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité	
			λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU		
	Charge non résistive	≥ 3 actuations/h		0	0	0	0	0	0,31	0,9	0	1	0,24	1,9	18	1,5	0	7,55
Poussoir, Inter., Inver. (< 4 pattes)		charge résistive	0	0	0	0	0	0	0,070	0,9	0	1	0,041	1,9	0,32	1,5	0	7,45
DIP, Roue codeuse (de 4 à 10 pattes)			0	0	0	0	0	0	0,14	0,9	0	1	0,081	1,9	0,63	1,5	0	7,45
Commutateur (> 10 pattes)			0	0	0	0	0	0	0,30	0,9	0	1	0,18	1,9	1,4	1,5	0	7,45
Poussoir, Inter., Inver. (< 4 pattes)		charge non résistive	0	0	0	0	0	0	0,070	0,9	0	1	0,041	1,9	0,32	1,5	0	7,45
DIP, Roue codeuse (de 4 à 10 pattes)			0	0	0	0	0	0	0,14	0,9	0	1	0,081	1,9	0,63	1,5	0	7,45
Commutateur (> 10 pattes)			0	0	0	0	0	0	0,30	0,9	0	1	0,18	1,9	1,4	1,5	0	7,45
Connecteur circuit imprimé et supports CI	soudés (PTH ou CMS)	jusqu'à 20 contacts	0	0	0	0	0	0	0,066	0,8	0	1	0,020	1,9	0,025	1,5	0,22	4,4
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,21	0,8	0	1	0,064	1,9	0,080	1,5	0,69	4,4
		de plus de 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,47	0,8	0	1	0,14	1,9	0,18	1,5	1,5	4,4
	wrapping ou insertion	jusqu'à 20 contacts	0	0	0	0	0	0	0,016	0,8	0	1	0,0051	1,9	0,0063	1,5	0,055	4,4
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,052	0,8	0	1	0,016	1,9	0,020	1,5	0,17	4,4
		de plus de 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,12	0,8	0	1	0,036	1,9	0,045	1,5	0,39	4,4
Autre connecteur	soudés (PTH ou CMS)	jusqu'à 20 contacts	0	0	0	0	0	0	0,039	0,8	0	1	0,012	1,9	0,015	1,5	0,13	4,4
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,12	0,8	0	1	0,038	1,9	0,048	1,5	0,42	4,4
		de plus de 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,28	0,8	0	1	0,086	1,9	0,11	1,5	0,93	4,4
	wrapping ou insertion	jusqu'à 20 contacts	0	0	0	0	0	0	0,010	0,8	0	1	0,0030	1,9	0,0038	1,5	0,033	4,4
		de 20 jusqu'à 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,031	0,8	0	1	0,010	1,9	0,012	1,5	0,10	4,4
		de plus de 200 contacts	0	0	0	0	0	0	0,070	0,8	0	1	0,021	1,9	0,027	1,5	0,23	4,4
Circuit imprimé, PTH		jusqu'à 2000 reports	0	0	0	0	0	0	0,090	0,8	0	1	0,30	1,9	0,10	1,5	0,022	6,5
		> 2000 reports	0	0	0	0	0	0	0,36	0,8	0	1	1,2	1,9	0,40	1,5	0,087	6,5
Circuit imprimé, CMS		jusqu'à 2000 reports	0	0	0	0	0	0	1,2	0,8	0	1	4,1	1,9	1,4	1,5	0,30	6,5
		> 2000 reports	0	0	0	0	0	0	4,9	0,8	0	1	16	1,9	5,5	1,5	1,2	6,5
Disque dur		EIDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	230	1,5	0	5,0
		SCSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	110	1,5	0	5,0
Ecran LCD (Classe III)		STN	jusqu'à 14"	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3520	1,5	0	1,8
			de 14" à 20"	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5697	1,5	0	1,8
		TFT		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1346	1,5	0	2,4
			au delà de 20"	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2156	1,5	0	2,4

		Phases OFF : Paramètres moyens par défaut par type d'article													Induit	
		Thermique					Humidité		Cyclage Thermique				Mécanique		El.Ch.Us	Csensibilité
		λTh	Ea_Th	To	ΔT	α	λRh	Ea_Rh	λTcy_B	m_B	λTcy_JB	m_JB	λM	n	λECU	
Moniteur CRT	jusqu'à 20"	0	0	0	0	0	64	0,8	0	1	526	1,9	263	1,5	0	3,2
	au delà de 20"	0	0	0	0	0	269	0,8	0	1	796	1,9	401	1,5	0	3,2
Alimentation à découpage	jusqu'à 500W	0	0	0	0	0	7,1	0,6	0	1	112	2,5	23	1,5	0	5,9
	au delà de 500W	0	0	0	0	0	8,2	0,6	0	1	207	2,5	26	1,5	0	5,9
Convertisseur DC/DC	jusqu'à 50W	0	0	0	0	0	2,0	0,6	0	1	27	2,5	6,4	1,5	0	5,9
	au delà de 50W	0	0	0	0	0	3,7	0,6	0	1	68	2,5	12	1,5	0	5,9

SMD : Surface Mounted Device - CMS : Composant monté en surface

TH : Through Hole - Trou traversant

ECU = Electrique, Chimique, Usure

Prise en compte du passage au sans plomb

Avertissement :

A la date de publication de ce guide, compte tenu de l'état de l'art de la physique des défaillances et de la faible durée d'emploi industriel des assemblages sans-plomb, des modèles de fiabilité rigoureux, appuyés sur la physique des défaillances, ne peuvent pas être établis. Cependant ce guide propose dans ce chapitre une démarche pour le cas des produits électroniques avec assemblages sans-plomb. L'utilisation de ces résultats doit donc se faire avec précaution.

Conséquences sur la fiabilité

Le passage aux technologies d'assemblage sans plomb peut avoir une influence sur la fiabilité des systèmes du fait de la modification des procédés de fabrication et des matériaux d'une part, et du fait d'une évolution des accélérations de certains mécanismes de défaillance d'autre part.

Evolution de la physique des défaillances pour les assemblages sans-plomb

Les mécanismes de fatigue des brasures entre les assemblages sans-plomb et les assemblages étain-plomb suivent des lois d'accélération a priori différentes. Les modèles actuels de ce guide sont basés sur la physique des défaillances des assemblages étain-plomb. Les lois utilisées pour le calcul des facteurs d'accélération relatifs aux environnements thermomécaniques et mécaniques des assemblages sans-plomb devraient donc être modifiés en conséquence.

Par ailleurs il est possible que la sensibilité aux différents environnements soit modifiée sur certaines familles de composants, du fait de l'évolution probable du niveau de contrainte résiduelle dans les assemblages sans-plomb, induite par l'augmentation de la température de solidification, par la diminution de la relaxation des contraintes à température ambiante et par l'augmentation de la rigidité des brasures. Les taux de défaillance de base et les répartitions entre contributeurs physiques de composants assemblés sans-plomb pourraient donc également être modifiés par rapport aux composants assemblés étain-plomb.

Toutes ces adaptations ne seront possibles que lorsque des modélisations validées par la communauté scientifique et industrielle seront disponibles. Ce n'est pas le cas à la date de publication de ce guide. L'applicabilité des modèles de ce guide au cas des assemblages sans-plomb n'a pas été démontrée de façon formelle, et en toute rigueur, les modèles seront à modifier à terme.

Malgré ces restrictions, ce guide propose d'appliquer de la même manière tous les modèles proposés que l'assemblage soit sans-plomb ou avec plomb.

Evolution du risque lié aux changements de process en fabrication composants

L'évolution éventuelle du risque de panne liée aux modifications au niveau des composants (y compris les PCB) doit être prise en compte au niveau du facteur fabrication article Π_{PM} ou des λ_0 . Dans certains cas, comme pour les composants à encapsulation plastique fournis par les grands fabricants de composants, le passage au sans-plomb n'a pas induit de modification significative du risque de panne. La raison la plus probable est que la modification des résines (enrobage et colle) faite pour améliorer l'aptitude au report (élévation des profils de refusion), va dans le sens d'une meilleure fiabilité du boîtier (sensibilité moindre à l'humidité, et probablement meilleure adhérence des résines).

Dans d'autres cas, de fabrication de composants en petite série, les modifications de procédés ou de matériaux font l'objet, au mieux, de validation technologique par des essais sur un nombre limité de pièces qui ne permettront pas de mettre en évidence une éventuelle dispersion des procédés. En conséquence, le risque d'augmentation du taux de panne, plutôt lié aux modifications des procédés, n'est pas considéré plus important que pour n'importe quel autre changement, et que les critères pris en compte dans l'évaluation du Π_{PM} sont suffisants pour le caractériser.

Evolution du risque lié aux changements de processus en fabrication carte

L'évolution éventuelle du risque de panne lié aux modifications au niveau de la conception et de la fabrication des cartes pour le passage au sans-plomb est estimée pouvoir avoir une influence significative sur la fiabilité des systèmes.

La modification des procédés de fabrication risque d'entraîner une augmentation ponctuelle des pannes liées à la non maîtrise des nouveaux process. La modification des matériaux et des procédés, liée à l'augmentation de la température de refusion des brasures (élévation d'environ 35°C de la température de fusion de l'alliage de brasure), fait l'objet d'un certain nombre de validations dont l'étendue est plus ou moins large. Mais il est fort probable que malgré ces validations, des anomalies surviennent, du fait, par exemple, d'incompatibilité non anticipées entre les procédés et les matériaux, de la méconnaissance des nouveaux matériels et procédés par les opérateurs, de la co-existence de 2 process (backward et full lead free)...

La prise en compte de l'augmentation ponctuelle du risque de panne lié aux changements de process se fait par l'introduction d'un facteur Π_{LF} (LF pour Lead Free, sans-plomb) prenant en compte l'expérience en conception et en fabrication d'ensemble électronique sans-plomb.

Ce facteur traduit l'augmentation du taux de défaillance du système liée au process sans-plomb. Il a une évolution temporelle comme suit :

- Le facteur est égal à 1 tant que la fabrication série est réalisée avec le process « maîtrisé » étain-plomb,
- Le facteur devient supérieur à 1 au moment de la transition puis diminue avec le temps et l'expérience,
- Il redevient égal à 1 lorsque le process sans-plomb est devenu mature.

Le modèle d'estimation du facteur Π_{LF} est proposé plus loin.

Facteur process sans plomb

Forme générale du modèle

Dans le cas d'un processus classique étain-plomb le taux de défaillance est calculé comme suit :

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}}$$

Dans le cas d'un processus sans plomb le taux de défaillance est calculé comme suit :

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}} \times \Pi_{\text{LF}}$$

Où Π_{LF} est le facteur de transition au process sans plomb.

$$\Pi_{\text{LF}} = 1 + \left(1 + 12 \times \text{LF_grade} + C_Q \times Y \right)^{\frac{-1}{(3,1 - 2 \times \text{LF_grade})}}$$

Où :

- Y (Year) est le nombre d'année complète de production effective avec un processus sans plomb. Le facteur Y ne doit prendre que des valeurs entières (donc la première année Y = 0).
- LF_grade est un facteur processus qui mesure l'effort fait pour prévenir les défauts liés à la transition vers des processus sans plomb. LF_grade varie de 0 (aucune précaution) à 1 (maximum de précaution),
- C_Q est un facteur dépendant de la quantité de production en process sans plomb.

Le facteur Π_{LF} varie de 1 (cas d'un process mature) à 2 (cas d'un process qui n'a fait l'objet d'aucune précaution). Lorsque le facteur Π_{LF} devient inférieur à 1,1 il n'est plus nécessaire de le prendre en compte.

Détermination du facteur LF_grade

Le facteur LF_grade est déterminé au moyen d'un questionnaire sur les processus sans plomb.

$$LF_grade = \frac{\sum \text{Poids des critères remplis}}{\sum \text{Poids des critères applicables}}$$

N°	Catégorie	Critère	Poids (si critère rempli)
1	Développement	Le statut LF est identifié dans la base de données de composants.	8
2	Développement	La compatibilité du composant avec le process d'assemblage SnPb ou avec le process sans plomb est identifiée dans la base de données de composants.	8
3	Développement	La compatibilité entre les finitions de composants et les process sans plomb ou SnPb est défini dans des documents de conception spécifiques. (ce critère est exclusif du précédent)	4
4	Développement	Le statut sans plomb est clairement identifié et pris en compte dans le processus de conception.	8
5	Approvisionnement, logistique, stockage	Traçabilité : un étiquetage adapté permet l'identification des composants sans plomb ou ROHS sur l'ensemble de la chaîne logistique.	10
6	Approvisionnement, logistique, stockage	Les composants plomb ou sans-plomb sont clairement identifiés dans la base de données production.	3
7	Approvisionnement, logistique, stockage	Le besoin de composants plomb ou sans plomb est clairement indiqué dans la commande avec demande de marquage particulier à la livraison.	5
8	Approvisionnement, logistique, stockage	Les composants plomb ou sans plomb sont clairement identifiés à la réception.	5
9	Approvisionnement, logistique, stockage	Au stockage, il y a une séparation physique entre des composants utilisés pour le process sans plomb et les composants utilisés pour le process plomb.	5
10	Approvisionnement, logistique, stockage	La compatibilité avec le process sans plomb est prise en compte dans la définition des conditions de stockage des composants (brasabilité).	4
11	Procédé d'assemblage	Le statut assemblage sans plomb est clairement identifié dans le dossier de production.	3
12	Procédé d'assemblage	Le process série sans plomb est formellement qualifié (vérification de l'intégrité des composants et PCB après report et analyse métallurgique)	20
13	Procédé d'assemblage	Le process de réparation sans plomb est formellement qualifié (vérification de l'intégrité des composants et PCB après réparation et analyse métallurgique)	20
14	Procédé d'assemblage	Une ligne est dédiée à chaque process série : plomb et sans-plomb	8
15	Procédé d'assemblage	Une ligne est dédiée à chaque process de réparation : plomb et sans-plomb	8
16	Procédé d'assemblage	La technologie sans plomb ou plomb est marqué sans ambiguïté sur la carte	8

N°	Catégorie	Critère	Poids (si critère rempli)
17	Procédé d'assemblage	Les opérateurs ont reçu une formation adaptée sur l'aspect sans plomb (nouveaux processus, compatibilité, aspect joints de soudures, câblage, inspection, réparation...).	16
18	Fiabilité	L'équipementier a réalisé des études internes ou externes concernant la modélisation de la fiabilité ou la durée de vie des assemblages sans plomb.	8
19	Fiabilité	L'équipementier a réalisé des études internes ou externes concernant les conditions d'essais de qualification des cartes ou équipement sans plomb.	8
20	Fiabilité	L'équipementier a réalisé des études internes ou externes concernant le déverminage des cartes ou équipement sans plomb.	6
21	Fiabilité	La norme JEDEC JESD201 ou des précautions équivalentes sont prises en compte pour couvrir le risque de tin whisker (croissance d'étain)	5

Note :

- Dans le cas général la somme des critères applicables est de 166,
- Le critère 3 est inclus dans le critère 2, un seul de ces deux critères doit être comptabilisé comme rempli à la fois (pour cette raison le poids du critère 3 n'est pas comptabilisé dans le total applicable),
- Le fait qu'un même composant change de référence lorsqu'il est modifié pour devenir sans plomb est une identification suffisante (critères 7 et 8),
- Lorsqu'il n'y a pas cohabitation des processus sans-plomb et étain plomb, c'est-à-dire qu'il ne reste pas de ligne de fabrication étain-plomb et que tous les composants approvisionnés sont bien sans plomb, les critères 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, et 16 peuvent être considérés comme remplis,
- Pour les produits non réparables, les critères 13 et 15 sont non applicables. La somme des critères applicables devient alors 138.

Détermination du facteur C_Q

Nombre cumulé de composants reportés par semaine en processus sans-plomb	Type de série	C_Q
Quantité hebdomadaire < 100000	Petite série	4
100000 ≤ Quantité hebdomadaire < 500000	Moyenne série	12
500000 ≤ Quantité hebdomadaire < 2000000	Grande série	36
Quantité hebdomadaire ≥ 2000000	Très grande série	108

IV

Guide de maîtrise et d'audit du processus fiabilité

1. Cycle de vie

Le tableau ci-dessous détaille le cycle de vie complet suivi par un produit et à travers lequel se fait sa fiabilité. La méthodologie FIDES couvre l'évaluation et la maîtrise de la fiabilité tout au long de ce cycle de vie.

Phases		Activités principales	
1	SPECIFICATION	1.1	Expression du besoin par le donneur d'ordres
		1.2	Formalisation des exigences système
		1.3	Définition de l'architecture
		1.4	Allocation des exigences système
		1.5	Formalisation des exigences sous-système, équipement...
2	CONCEPTION	2.1	Faisabilité / Etudes préliminaires
		2.2	Conception détaillée
		2.3	Essais et mise au point
		2.4	Qualification
		2.5	Préparation à la production / Industrialisation
		2.6	Préparation du Soutien Logistique
3	FABRICATION CARTE OU SOUS-ENSEMBLE	3.1	Réception / Contrôle d'entrée
		3.2	Stockage
		3.3	Assemblage carte ou sous-ensembles
		3.4	Tests (carte ou sous-ensembles)
		3.5	Intégration équipement
		3.6	Déverminage (carte ou sous-ensemble)
		3.7	Acceptation
		3.8	Livraison carte ou sous-ensemble
4	INTEGRATION EQUIPEMENT	4.1	Réception / Contrôle d'entrée
		4.2	Stockage
		4.3	Assemblage équipement
		4.4	Tests équipement
		4.5	Déverminage (Equipelement)
		4.6	Acceptation équipement
		4.7	Livraison équipement
5	INTEGRATION SYSTEME	5.1	Réception / Contrôle d'entrée
		5.2	Stockage
		5.3	Assemblage système
		5.4	Tests système
		5.5	Déverminage (Système)
		5.6	Acceptation système
		5.7	Livraison système
6	EXPLOITATION & MAINTENANCE	6.1	Transfert vers l'utilisateur
		6.2	Utilisation Opérationnelle
		6.3	Maintien en Conditions Opérationnelles
7	ACTIVITES SUPPORT	7.1	Management des sous-contractants
		7.2	Management de la fiabilité, des approvisionnements, des incidents
		7.3	Management du système qualité, des ressources

2. Le facteur processus

Le facteur processus est désigné par Π_{process} dans la partie évaluation du guide.

La quantification se fait par réponse à des questionnaires sur le processus de développement, de fabrication et d'exploitation du produit. La démarche de réponse à ces questionnaires est formalisée dans le guide d'audit.

3. Recommandations métier - Maîtrise de la fiabilité

Dans chaque phase ou activité du cycle de vie, un ensemble de recommandations relatives à la fiabilité est présenté.

Les recommandations sont soit globales et pouvant toucher l'ensemble des phases (elles sont alors associées à la phase "Activités support"), soit précises et reconnues comme impactant la fiabilité durant des activités spécifiques dans une ou plusieurs phases du cycle de vie.

La prise en considération de ces recommandations permet la mise en place d'actions de maîtrise de la fiabilité (Ingénierie Fiabilité) et une évaluation du niveau d'assurance fiabilité pour chaque phase du processus. La démarche de maîtrise de la fiabilité consiste, à partir d'un premier résultat d'évaluation, à agir sur les activités qui ont un impact sur le résultat.

Les recommandations du guide du Processus Fiabilité sont des recommandations qui portent principalement sur les procédures et l'organisation tout au long du cycle de vie. Le guide du Processus Fiabilité n'a pas vocation à donner des recommandations technologiques sur la mise en œuvre des composants, cartes ou sous-ensemble dans un équipement électronique.

4. Calcul du facteur processus Π_{Process}

Le Π_{process} est basé sur une note (**Process Grade**) traduisant la qualité du processus, qui est établie à la suite d'un audit sur les différentes phases du cycle de vie.

4.1. Influence relative des phases du cycle de vie

Les 7 phases du cycle de vie sont les suivantes :

- Spécification,
- Conception,
- Fabrication carte ou sous-ensemble,
- Intégration équipement,
- Intégration système,
- Exploitation et maintenance,
- Activités Support.

Chacune de ces phases a un impact spécifique sur la fiabilité. Pour la quantification, chaque phase est affectée d'un facteur d'échelle afin d'établir le poids relatif de chaque phase. Dans le cas où elle serait déjà connue, la répartition propre à l'industriel audité peut être prise en compte.

La répartition par défaut est la suivante :

PHASE	Contribution phase %
Spécification	8
Conception	16
Fabrication carte ou sous-ensemble	20
Intégration équipement	10
Intégration système	10
Exploitation et maintenance	18
Activités Support	18
Total :	100

4.2. Niveau de satisfaction aux recommandations

L'audit est réalisé par phase, et évalue par des questions (relatives à ces recommandations), la façon dont sont menées ces activités.

Les réponses et les preuves apportées par la personne audité, permettent de fixer une **Note_satisfaction** à la recommandation (niveau N1 à N4) :

- N1 = la recommandation n'est pas appliquée → risques certains vis-à-vis de la fiabilité,
- N2 = la recommandation n'est que partiellement appliquée → risques potentiels vis-à-vis de la fiabilité,
- N3 = la recommandation est pratiquement appliquée → peu de risques vis-à-vis de la fiabilité,
- N4 = la recommandation est pleinement appliquée → pas de risque notable vis-à-vis de la fiabilité.

La note relative à chaque niveau s'établit comme suit :

Niveau	Note
N1	0
N2	1
N3	2
N4	3

Chacune des recommandations est pondérée par un **Poids_Recom** spécifique. Plus la valeur sera grande plus la recommandation associée aura un fort impact sur la fiabilité ; par exemple :

- 1 → la recommandation associée à la question a peu d'impact sur la fiabilité,
- 21 → la recommandation associée à la question a un fort impact sur la fiabilité.

Les tables de mise en œuvre jointes donnent pour chacune des phases la liste des recommandations (avec la question d'audit associée) avec leur **Poids_Recom** spécifiques. Pour chaque recommandation est également fournie une fiche avec description précise de la recommandation et des critères de satisfaction pour chacun des quatre niveaux de satisfaction.

4.3. Etalonnage

L'objectif de cette étape est de neutraliser les questions relatives à des activités qui n'ont pas lieu d'être pour le produit/processus considéré (ces questions sont dites "non applicables").

La première étape du calcul consiste donc à établir la **Note_Audit_Max_j** de chaque phase j.

La **Note_Audit_Max_j** correspond à un audit "parfait" où le niveau de satisfaction est N4 à toutes les questions retenues.

Ainsi, pour chaque recommandation i :

$$Points_Pondérés_Max_i = Poids_Recom_i \times 3$$

Le calcul de la **Note_Audit_Max_j** se fait ensuite en sommant les **Points_Pondérés_Max_i** sur l'ensemble des recommandations applicables pour le produit/processus considéré (i=1 à n) de la phase j complète :

$$Note_Audit_Max_j = \sum_{i=1}^n Points_Pondérés_Max_i$$

4.4. Calcul de la note d'audit

Cette étape consiste à effectuer l'audit FIDES proprement dit auprès d'intervenants sur les différentes phases du processus, et à définir le niveau de satisfaction en fonction des preuves apportées. La démarche à appliquer est proposée au chapitre Guide d'Audit.

Il faut procéder par phase en répondant à chaque question i ; le niveau de satisfaction à la question, noté **0, 1, 2** ou **3**, multiplié par le poids de la recommandation, donne les **Points_Pondérés_i** acquis pour la question :

$$Points_Pondérés_i = Poids_Recom_i \times Note_Satisfaction (0, 1, 2, 3)_{ij}$$

La **note_d'audit** de la phase j correspond à la somme de l'ensemble des **Points_Pondérés** des recommandations i retenues sur la phase en question :

$$Note_Audit_j = \sum_{i=1}^n Points_Pondérés_i$$

4.5. Calcul du facteur processus

La formule du facteur processus est la suivante :

$$\Pi_{\text{Process}} = e^{\delta_2(1-\text{Process_Grade})}$$

Le facteur δ_2 permet de fixer la plage de variation du facteur processus. Il a été fixé à la valeur **2,079**, ce qui conduit à une dynamique de 1 à 8 du facteur processus.

Le **Process_grade** se calcule à partir des **Notes_Audit** par phase calculées précédemment pondérées par la **Contribution_Phase** de chaque phase tel que :

$$\text{Process_Grade} = \sum_{j=1}^7 \left(\text{Contribution_Phase}_j \times \frac{\text{Note_Audit}_j}{\text{Note_Audit_Max}_j} \right)$$

Le **Process_grade** prend une valeur comprise entre 0 et 1 :

- **0** représentant un processus qui répond défavorablement à toutes les questions d'audit ;

$$\rightarrow \Pi_{\text{Process}} = 8$$

- **1** signifiant un processus "parfait" répondant favorablement à toutes les questions d'audit ;

$$\rightarrow \Pi_{\text{Process}} = 1$$

Nota : il est possible d'évaluer un Process_Grade_j propre à chaque phase j afin de situer le niveau de celle-ci :

$$\text{Process_Grade}_j = \frac{\text{Note_Audit}_j}{\text{Note_Audit_Max}_j}$$

5. Guide d'audit

Le guide permet d'effectuer un audit sur une entreprise. La démarche d'audit est donc générique de façon à présenter une certaine indépendance par rapport à l'entreprise.

La méthodologie FIDES, identifie une liste de recommandations dont le suivi est de nature à favoriser la construction de la fiabilité d'un produit. Cet ensemble de recommandations a été décliné en un ensemble de questions.

Les réponses d'une entreprise à ces questions donnent :

- une mesure de son aptitude à construire des produits fiables,
- une quantification des facteurs de processus utilisés dans les modèles de calcul,
- la possibilité d'identifier des actions d'amélioration.

5.1. Procédure d'audit

Pour conduire un audit, l'auditeur doit :

- Identifier le périmètre de l'audit,
- Préparer l'audit,
- Réaliser l'audit,
- Recueillir les preuves,
- Traiter l'information recueillie,
- Tirer les conclusions,
- Rédiger un rapport d'audit,
- Présenter le résultat d'audit.

5.2. Identifier le périmètre de l'audit

5.2.1. Identifier le produit objet de l'audit

Dans un premier temps il faut identifier quel est exactement le produit pour lequel l'audit sera réalisé.

Les recommandations de l'audit relatives aux différentes phases du cycle de vie doivent être orientées et adaptées en fonction du produit considéré.

5.2.2. Sélection des phases applicables

Pour certains produits (des équipements utilisés seul, par exemple un poste de radio), les notions d'intégration équipement et d'intégration système peuvent être confondues. Dans ce cas, on ne retiendra que celle des deux phases qui est la plus représentative et on lui affectera le poids des deux phases.

Par exemple :

PHASE	Contribution phase %
Spécification	8
Conception	16
Fabrication carte ou sous-ensemble	20
Intégration équipement	20 (au lieu de 10)
Intégration système	0 (au lieu de 10)
Exploitation et maintenance	18
Activités Support	18
Total :	100

De façon générale, cette table des contributions sera adaptée pour annuler la contribution d'une phase qui ne serait pas du tout applicable pour un produit donné.

Attention : Dans cette démarche, il ne faut pas considérer qu'une phase n'est "pas applicable" parce qu'elle est sous une autre responsabilité que celle de l'industriel qui initie l'audit. Par exemple, si une entreprise n'a aucun engagement concernant l'exploitation et la maintenance des produits qu'elle vend, cette phase de vie existe quand même très probablement.

5.2.3. Prise en compte du découpage industriel

En cas de découpage industriel, le cycle de vie se répartit dans différentes organisations. Un même produit peut par exemple être spécifié par un maître d'œuvre, conçu chez un équipementier, fabriqué chez un sous-traitant avant d'être intégré et exploité par un dernier industriel.

Il convient alors d'évaluer le facteur Π_{Process} en considérant le processus de chaque industriel concerné pour les phases du cycle de vie sous sa responsabilité.

Lorsqu'il y a découpage industriel, il est fréquent qu'une même phase du cycle de vie FIDES soit partagée entre plusieurs industriels. Par exemple l'activité de spécification peut commencer au niveau du système et continuer au niveau de l'équipement puis du sous-ensemble. De façon générale c'est aussi le cas pour la partie "Activités support" du cycle de vie FIDES. Dans ce cas là, il faut évaluer le facteur **Process_grade** des phases partagées pour chaque industriel concerné et retenir la moins bonne note pour

le calcul final du Π_{Process} . Le Π_{Process} retenu sera donc le "pire cas" (moins bonne note). Cela n'est pas une démarche majorante : C'est le point faible qui est prépondérant dans la chaîne il faut donc prendre en compte les plus mauvaises pratiques observées, à l'instar d'un audit qualité.

Il est plus usuel de considérer que le Process_grade est porté par l'industriel possédant le plus de responsabilité dans la phase considérée. Il est ainsi possible, dans le cas de découpage industriel contractuel de considérer la déclinaison d'une exigence de taux de défaillance vers le sous-traitant avec un Process_grade parfait pour les phases de responsabilité du donneur d'ordre puis de pondérer la valeur obtenue par le complément du donneur d'ordre au Π_{Process} pour ces phases.

Si une phase du cycle de vie ne peut être évaluée, il est possible de calculer le facteur Π_{Process} en prenant une valeur de Process_grade par défaut pour la phase concernée. La valeur de Process_grade par défaut est de 0,33.

Pour les fabricants de produits COTS (cartes ou équipements) désireux de publier des informations de fiabilité sur leur produit, il est recommandé de préciser le facteur Π_{Process} utilisé dans leur évaluation, bien qu'une part importante du cycle de vie doivent être quantifiée par défaut dans ce cas.

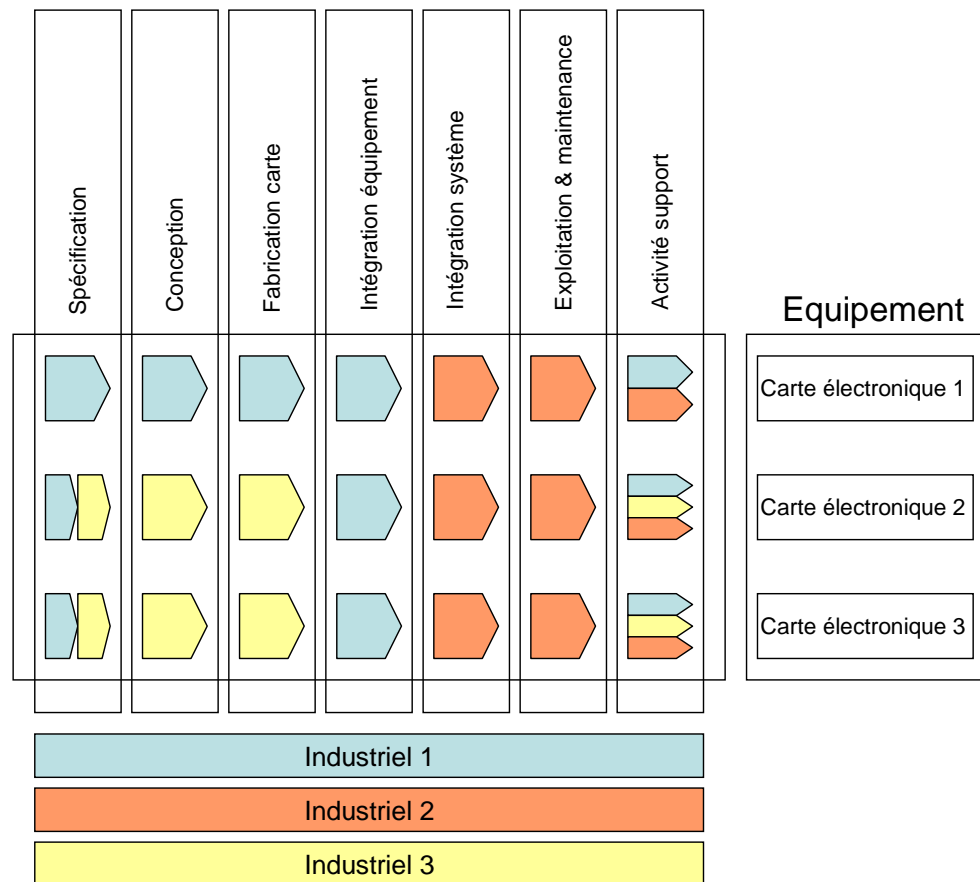
5.2.4. Multiplicité des cycles de vie pour un même produit

Si le produit est un équipement, il peut être composé de cartes ou sous-ensembles qui n'ont pas tous suivis le même cycle de vie. Le facteur Π_{Process} doit alors être évalué pour chaque carte ou sous-ensemble.

5.2.5. Exemple de découpage industriel

Dans l'exemple figuré par le schéma qui suit, trois industriels contribuent à définir et produire un équipement composé de trois cartes électroniques et intégré dans un système.

Dans ce découpage, un premier industriel est responsable du développement et de la fabrication de l'équipement, un deuxième de son intégration dans le système et de son exploitation. Le premier industriel sous-traite la conception et la fabrication de deux cartes électroniques à un troisième industriel.



Pour la carte électronique 1 :

Il faut prendre le process_grade de l'industriel 1 pour les phases du cycle de vie "spécification", "conception", "fabrication carte", "intégration équipement". Il faut prendre le process_grade de l'industriel 2 pour les phases "intégration système" et "exploitation et maintenance". Il faut prendre le plus mauvais des deux process_grade entre les industriel 1 et 2 pour la phase "activité support".

Pour les cartes électroniques 2 et 3 :

Il faut prendre le plus mauvais des deux process_grade des industriels 1 et 3 pour la phase "spécification", qui est considérée répartie entre les deux. Il faut prendre le process_grade de l'industriel 3 pour les phases du cycle de vie "conception", "fabrication carte". Il faut prendre le process_grade de l'industriel 1 pour la phase "intégration équipement". Il faut prendre le process_grade de l'industriel 2 pour les phases "intégration système" et "exploitation et maintenance". Il faut prendre le plus mauvais des trois process_grade entre les industriels 1, 2 et 3 pour la phase "activité support".

Dans cet exemple, l'évaluation de la fiabilité de l'équipement complet doit donc s'appuyer sur l'audit de trois industriels (aucun n'étant audité sur l'ensemble du cycle de vie FIDES).

Le calcul quantitatif doit faire intervenir deux $\Pi_{Process}$ distincts, le premier pour la carte électronique 1, le deuxième pour les cartes électroniques 2 et 3.

5.3. ISO 9001 et EN 9100

Les normes qualité ISO 9001 et EN 9100 sont des normes qui permettent, en les respectant, de garantir un certain niveau de qualité et de maîtrise des processus tant en termes de production que de traçabilité.

Ainsi, il est possible de trouver une similarité entre l'audit associé au Π_{Process} et pour les recommandations proches ou assimilables un niveau de correspondance.

Chaque fiche de recommandation du guide d'audit identifie, le cas échéant, la norme dont la recommandation est proche ainsi que le niveau correspondant à l'application de la norme ISO 9001 ou EN 9100.

Il est cependant fortement recommandé de réaliser l'audit car, même si une société est certifiée ISO 9001 ou EN 9100, cette certification donne bien souvent lieu à l'identification de points d'amélioration ou de non-conformités partielles. Et il est possible que ces non-conformités soient précisément sur les recommandations du présent guide d'audit. Il est donc recommandé d'être prudent quant à l'application immédiate des niveaux correspondants identifiés.

5.4. Préparer l'audit

La préparation de l'audit consiste à :

- Identifier le périmètre de l'audit (complet, partiel, pour un programme applicable à la certification, information recherchée, durée...),
- Identifier les éléments de contexte de l'audit,
- Identifier les bonnes cibles (cibles FIDES précisées dans le tableau ci-après),
- Identifier la nature et le périmètre de l'audit,
- Établir un plan d'audit (planning avec le calendrier des échéances, note de convocations, préparation des documents de recueil de données, préparation des modèles de documents de sortie, implication du commanditaire de l'audit et de l'organisation à auditer, calculer le score maximum possible dans le cadre de l'audit considéré, présenter les règles...),
- Valider son plan d'audit (par le commanditaire -externe ou interne- de l'audit et par le représentant de l'entreprise auditée),
- Initialiser la mise en œuvre du plan d'audit (envoi de la note de convocation),
- Informer dans un délai suffisant la personne auditée du contenu de l'audit, sachant que toute preuve non fournie sera considérée comme absence de preuve.

Obtenir une bonne adhésion à l'audit est un point clé de sa réussite. Pour argumenter l'intérêt d'un audit FIDES, l'auditeur pourra citer les points suivants :

- Importance du niveau de fiabilité des produits,
 - Un générateur de coûts, nouveau paramètre clé de concurrence,
 - Un objectif spécifié à atteindre.
- L'audit est un outil de maîtrise des risques et en particulier concernant :
 - la robustesse de la définition des produits,
 - l'environnement des produits en exploitation,
 - la prise en compte effective de la fiabilité dans tout le cycle de vie.
- L'audit FIDES est un complément à l'audit ISO 9001 V2000 car plus spécifique et orienté sûreté de fonctionnement,
- Les objectifs spécifiques de réalisation de l'audit FIDES :

- Evaluation d'un Indicateur Qualité quantifié représentatif de la capacité de l'entreprise à maîtriser la fiabilité de ses produits (facteur process_grade ou $\Pi_{Process}$),
- Evaluation d'un facteur dimensionnant de la fiabilité : calcul du $\Pi_{Process}$,
- Identification des forces et faiblesses de l'entreprise et formulation de recommandations ciblées pour l'amélioration du processus interne.

5.5. Réalisation de l'audit

La réalisation de l'audit consiste à :

- Présenter l'audit (rappel des objectifs, sa portée, les règles). Poser les questions, (le cas échéant poser les questions complémentaires nécessaires à la détermination du niveau du critère atteint),
- Noter les réponses des cibles auditées en regard de chaque question,
- Recueillir les preuves disponibles immédiatement en vue de les joindre au rapport,
- Classer les preuves recueillies pendant l'audit,
- Prendre en compte d'éventuelles preuves supplémentaires.

Au cours de l'audit, si cela n'a pu être fait lors de la préparation, l'auditeur notera les questions non pertinentes (c'est à dire dont les activités processus n'ont pas lieu d'être) : cette opération permettra de recalculer le score maximum attendu pour l'audit considéré.

5.6. Traiter l'information recueillie

Le traitement de l'information consiste à évaluer pour chaque recommandation le positionnement de l'entité auditée par rapport aux critères en utilisant les réponses fournies aux questions, les preuves apportées en appui de ces réponses et les pondérations associées à chacune des recommandations.

Le résultat de ce traitement permet de :

- déterminer le niveau de fiabilité à associer à l'entité auditée,
- quantifier le facteur processus (Π_{Process}) à prendre en compte,
- identifier, le cas échéant, des axes d'amélioration pour l'entité auditée.

Il est nécessaire de se poser la question du risque que l'on cherche à piéger et de la façon dont on y répond. Si l'industriel ne se retrouve dans aucun des niveaux mais qu'il a mis en place un processus spécifique qui lui semble valoir un niveau donné, alors il peut raisonnablement attribuer ce niveau à la recommandation.

5.7. Présenter le résultat d'audit

L'auditeur présentera le résultat de l'audit au commanditaire et à l'audité à l'issue de l'audit. Cette présentation abordera :

- l'objectif de l'audit,
- le plan d'audit & sa mise en œuvre,
- le résultat d'audit,
- les axes d'amélioration identifiés,
- les conclusions.

Par la suite, le rapport d'audit rédigé sera remis au commanditaire.

5.8. Principe de positionnement

A l'issu de l'audit, à partir des réponses aux questions et de l'évaluation des réponses par rapport aux critères en tenant compte de la pondération, il est possible d'évaluer le score de l'organisation auditée (process_grade pour une ou plusieurs phases et Π_{Process} pour un cycle de vie complet).

Le score minimum possible correspond à un processus ne répondant à aucun des critères. La méthodologie FIDES n'a pas établi de règle fixant le score minimum acceptable pour que la méthodologie FIDES soit considérée comme applicable. De telles règles ne peuvent provenir que de l'utilisation pratique de la méthodologie dans l'industrie.

Selon la position de ce score (**process_grade**) par rapport au maximum possible, l'entité auditée pourra être considéré de niveau "très haute fiabilité", "haute fiabilité", "standard" ou enfin "non fiabilisé".

Niveau	Processus	Π_{Process}	Process grade
Très haute fiabilité	Processus presque sans faiblesse	<1,7	> 75%
Haute Fiabilité	Processus maîtrisé, ingénierie fiabilité	1,7 à 2,8	50% à 75%
Standard	Procédures qualité usuelles type ISO 9001 version 2000	2,8 à 4,8	25% à 50%
Non fiabilisé	Pas de prise en compte des problèmes de fiabilité	>4,8	<25%

5.9. Profil des acteurs de l'audit

5.9.1. Profil des auditeurs

Les auditeurs devraient être :

- Des ingénieurs, cadres, ou techniciens ayant au moins 5 ans d'expérience,
- Avoir une connaissance de la norme ISO 9001 Version 2008 ou 2000,
- Avoir des compétences et une expérience théorique et pratique en fiabilité,
- Avoir été formés à la conduite d'audit.

Ces pré-requis seront complétés par une bonne connaissance de la méthodologie FIDES.

Ces compétences peuvent aussi être obtenues par une équipe d'audit (typiquement : un auditeur confirmé et un spécialiste en fiabilité).

5.9.2. Profil des audités

Compte tenu de la diversité des organisations susceptibles d'être auditées, les audités pourront présenter des profils différents.

Par contre, ils seront les représentants de la population des dix-huit cibles identifiées par FIDES. En cas d'audit partiel, les audités pourront ne représenter qu'un sous-ensemble de ces cibles.

N°	Population cible	Description
1	Achats	- Responsables du référentiel (création, mise en place) processus et documents d'achats. - Acheteur projet: responsable de la négociation Clauses Techniques/ Coûts et du respect des engagements.
2	Bureau d'étude / Conception	- Analyse ou réalisation des cahiers de charges, spécifications techniques et dossiers de justification, et traçabilité. - Mise en place de l'équipe de conception, évaluation, approbation, validation. - Gestion des planning, revues, indicateurs (coûts, qualité, etc.).
3	Client (donneur d'ordre)	- Responsable de la spécification des exigences FMDS (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité) et des spécifications connexes (profils de vie, référentiels des analyses etc.).
4	Direction site	- Responsable de la gestion en moyens globaux du site (conception, production, industrialisation).
5	Gestion documentaire	- Enregistrement / archivage et consultation (mise à disposition) de la documentation archivée (dossiers de définitions, spécifications, dossiers d'achats etc.). - Gestionnaire de documentation projet
6	Exploitation	- Responsable de l'utilisation: respect des recommandations, documentation d'utilisation, formation des utilisateurs. - Utilisateurs finaux.

N°	Population cible	Description
7	Industrialisation / Production / Intégration: Gestion des méthodes et de la qualité	<ul style="list-style-type: none"> - Traçabilité des produits et dossiers de production / industrialisation / intégration (Responsable Industrialisation). - Maîtrise de la qualité des services, fluides et de l'environnement du milieu de travail. - Référentiel (création, mise en place) contrôles etc.
8	Industrialisation / Production / Intégration: Gestion du site et des moyens	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtrise des moyens de contrôle (chef d'atelier). - Maîtrise des procédures et comptes-rendus d'essais et contrôles.
9	Industrialisation / Production / Intégration: Personnels opérants	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation des essais (moyens, planning etc.).
10	Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> - Responsable des moyens et procédures de maintenance, du respect des recommandations, et du traitement des anomalies (service Maintien en Condition Opérationnelle). - Réalisateur de la maintenance.
11	Manutention / Logistique	<ul style="list-style-type: none"> - Métier des procédures et clauses transport/ manutention/ conditionnement/ stockage.
12	Projet	<ul style="list-style-type: none"> - Management et spécification/ réalisation des clauses fournisseurs ou internes: - Synthèse des activités FMDS, Soutien Logistique, obsolescence, qualification, Qualité, Manutention/conditionnement/stockage etc., production, Service Après Vente... - Gestion des risques (techniques, planification, non-conformité).
13	Qualité	<p>Description et la mise en place des processus :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Traçabilité des produits en conception, production, livraison et clientèle. - Assurance de la mise en place et du respect des référentiels métiers et Qualité. - Suivi du traitement des anomalies ou non-conformité.
14	Ressources Humaines	<ul style="list-style-type: none"> - Adéquation charge / qualification / ressources humaines et fructification du savoir et de l'expérience.
15	Service Après Vente, support client	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement des réclamations clients et des anomalies ou de la non-conformité.
16	Service Composants / Qualifications fournisseurs / Veille Technologique / Approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> - Référentiel (création, mise en place) contrôles et qualification (fonctionnelle, technique) des articles achetés.
17	Soutien Logistique	<ul style="list-style-type: none"> - Acteur projet de la mise en place des analyses de Soutien. - Référentiel (création, mise en place) processus Soutien Logistique (description du processus, analyses et essais justificatives, essais de qualification).
18	Sûreté de Fonctionnement, FMDS (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité)	<ul style="list-style-type: none"> - Pilote projet de la mise en place de la FMDS / référentiel (ressources, moyens), du suivi projet (indicateurs, spécifications, gestions des risques, faisabilité FMDS etc.) et de la sensibilisation des autres entités à la FMDS. - Référentiel (création, mise en place, réalisation).

V

Recommandations du guide de maîtrise et d'audit du Processus Fiabilité

- 1. Tables des recommandations avec les pondérations.**
- 2. Fiches détaillées par recommandation.**

Tables des recommandations avec les pondérations

Spécification

Numéro	Recommandation	Question	Poids
1	Affecter les ressources, en termes de personnel et moyens, aux études de Sûreté de Fonctionnement (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité, Testabilité).	Y a-t-il un poste de financement pour les études de Sûreté de Fonctionnement ? Les moyens et personnels nécessaires sont-ils identifiés ?	10,7
2	Décliner les exigences de fiabilité aux sous-ensembles.	Les exigences globales de fiabilité sont-elles allouées et déclinées aux sous-ensembles ? Quelle méthode d'allocation a été utilisée ?	10,4
26	Décrire complètement l'environnement dans lequel le produit va être utilisé et maintenu.	Y a-t-il une description et une caractérisation de l'environnement dans lequel le produit va être stocké, transporté, utilisé et maintenu ? Le cas échéant, y-a-t-il des préconisations pour le stockage, le transport, l'utilisation et la maintenance ?	12,4
28	Définir les critères de défaillance du produit.	Qu'est-ce qui est considéré comme une défaillance du produit ?	10,3
29	Définir la méthode de démonstration de la fiabilité en exploitation.	Comment envisage-t-on la démonstration de la fiabilité du produit ?	8,1
31	Définir le profil de vie du produit, pour lequel les performances de fiabilité sont attendues.	Est-ce que le profil de vie du produit, pour lequel les performances de fiabilité sont attendues, est défini ?	9,9
53	Exploiter le retour d'expérience.	Le retour d'expérience est-il mis à profit pour maintenir un bon niveau de confiance dans la tenue des performances de fiabilité ?	8,5

Numéro	Recommandation	Question	Poids
54	Faire participer le métier Sûreté de Fonctionnement à la conception fonctionnelle et organique du produit.	Les critères de fiabilité sont-ils pris en compte dans l'architecture des produits, les choix de conception, d'industrialisation, de soutien ?	12,6
57	Formaliser les exigences de fiabilité, en particulier l'exigence quantitative.	Les exigences de fiabilité, en particulier l'exigence quantitative, sont-elles formalisées ? Décrivent-elles correctement les hypothèses à prendre en compte pour l'évaluation de la performance de fiabilité ?	13
62	Identifier formellement les risques techniques impactant la fiabilité.	Les risques techniques impactant la fiabilité sont-ils identifiés ?	12,4
65	Identifier les exigences du donneur d'ordre, relatives à la fiabilité.	A-t-on identifié, documenté et tracé les exigences du client, relatives à la fiabilité ?	7,3
103	Analyser les exigences de fiabilité du donneur d'ordre.	Les exigences de fiabilité sont-elles analysées ? Le cas échéant, cette analyse conduit-elle à la négociation des exigences ou à la formalisation d'un plan de gestion des risques ?	10,7
106	Traiter les aspects fiabilité dans les revues de conception.	Les revues de conception traitent-elles des aspects fiabilité ?	10,3
107	Traiter les aspects fiabilité dans les revues d'exigences.	Les revues d'exigences traitent-elles des exigences de fiabilité ?	10,3
117	Prendre en compte la politique de maintenance du produit, telle que définie par le donneur d'ordre.	Comment est prise en compte la politique de maintenance du produit définie par le donneur d'ordre ?	5,8
122	Rédiger un plan de fiabilité.	A-t-on rédigé un plan de fiabilité pour le produit ?	7,6
181	Connaître et maîtriser le profil de vie.	Le profil de vie du produit est-il connu et maîtrisé ?	13

Conception

Numéro	Recommandation	Question	Poids
6	Assurer la complétude des renseignements sur les sous-ensembles pour établir les manuels de test des sous-ensembles.	Est-ce que les données techniques relatives aux sous-ensembles sont disponibles pour la mise au point du test de production ?	7,8
7	Assurer la mise en œuvre des actions correctives.	Quel processus est mis en œuvre pour assurer la collecte des faits techniques, l'établissement des rapports d'anomalies, et leur traitement?	6,7
8	Assurer la mise en œuvre des actions préventives.	Les procédures relatives aux actions préventives comprennent-elles: - L'utilisation de sources d'informations diversifiées ? - La détermination des étapes à mettre en œuvre ? - Les critères de déclenchement d'actions préventives et l'application de moyens de contrôle? - Une revue de suivi des actions préventives?	6,8
16	Assurer l'intervention à chaque étape d'un responsable soutien logistique, industrialisation, achat, développeur et FMDS (ingénierie simultanée).	Le point de vue des différentes disciplines intervenant dans l'ingénierie est-il pris en compte ?	16,7
28	Définir les critères de défaillance du produit.	Qu'est-ce qui est considéré comme une défaillance du produit ?	14
34	Disposer de personnel qualifié vis-à-vis des moyens d'essai, mesures et normes afférentes.	Quelles formations le personnel en charge des essais a-t-il suivi pour être qualifié vis-à-vis des moyens d'essai, mesures et normes afférentes ?	5,8
36	Réaliser une étude technique préliminaire de fiabilité.	Une étude préliminaire de fiabilité est-elle conduite durant les phases préliminaires du développement ?	8
38	Disposer d'une capitalisation du savoir-faire par des procédures métiers.	Y a-t-il une gestion des procédures métier ? Ces procédures métier font-elles l'objet de mises à jour ?	13,8

Numéro	Recommandation	Question	Poids
39	Disposer et gérer une grille nominative des compétences requises en conception.	Y a-t-il une gestion des compétences en conception ? Existe-t-il une grille nominative de compétences maintenue dans le temps ? L'adéquation des formations est-elle vérifiée ?	24,5
44	Maîtriser les opérations de manipulation et de stockage chez l'utilisateur.	Y a-t-il un recueil des recommandations métiers sur les opérations de manipulation et de stockage chez le client ?	7,7
48	Améliorer la fiabilité des produits par la gestion d'une liste préférentielle des composants.	Est-ce que les bases de données composants sont mises à jour en tenant compte de la capitalisation ? Y a-t-il une liste préférentielle des composants qui est entretenue ?	8
50	Maintenir et exploiter une base de données des faits techniques.	Existe-t-il une base de données des faits techniques ? Comment est-elle maintenue et exploitée ?	24,2
51	Existence d'une base de données capitalisant les études d'évaluation de fiabilité.	Y a-t-il une base de données capitalisant les études d'évaluation de fiabilité ?	10,6
52	Maîtriser les définitions et les évolutions des produits en développement.	Existe-t-il un processus décrivant, traçant et justifiant les définitions et les évolutions des produits développés ? Y a-t-il une base de données sur l'historique et les justificatifs de définition ?	7,8
54	Faire participer le métier Sûreté de Fonctionnement à la conception fonctionnelle et organique du produit.	Les critères de fiabilité sont-ils pris en compte dans l'architecture des produits, les choix de conception, d'industrialisation, de soutien ?	12,6
61	Identifier et mettre en oeuvre des moyens de protection des sous-ensembles.	A-t-on identifié et mis en œuvre des moyens de protection des sous-ensembles durant certaines activités de production ?	7,3
62	Identifier formellement les risques techniques impactant la fiabilité.	Les risques techniques impactant la fiabilité sont-ils identifiés ?	21
83	Maximiser la couverture de tests sur la base de la spécification.	S'assure-t-on que la couverture de tests est maximale et qu'elle s'appuie sur la spécification ? Existe-t-il un document décrivant la méthode de calcul et justifiant le taux de couverture ?	6
86	Mettre en oeuvre des revues de conception	Y a-t-il des revues de conception ?	27,1
87	Mettre en oeuvre un concept de maintenance en soutien logistique.	Y a-t-il un concept de maintenance ?	5,4

Numéro	Recommandation	Question	Poids
106	Traiter les aspects fiabilité dans les revues de conception.	Les revues de conception traitent-elles des aspects fiabilité ?	12,1
116	Maîtriser la qualité des informations des rapports de non-conformité.	Quelles informations sont décrites dans les rapports de non-conformité?	13,0
123	Assurer la planification des activités de sûreté de fonctionnement.	Y a-t-il un plan intégrant les aspects Sûreté de Fonctionnement ? Y-a-t-il une planification des activités et une identification des intervenants ?	17,7
124	Rédiger une procédure d'acceptation finale.	Existe-t-il une procédure d'acceptation finale pour les tests en production?	7,8
130	S'assurer de la disponibilité des éléments nécessaires à l'évaluation de la fiabilité.	Les éléments nécessaires à l'évaluation de la fiabilité sont-ils disponibles ? Ces données d'entrée sont-elles issues de documents validés ?	7,5
131	S'assurer de l'existence de règles en conception pour adapter le choix d'un composant au niveau de fiabilité requis.	Y a-t-il des règles en conception pour adapter le choix d'un composant au niveau de fiabilité requis ?	12,7
132	S'assurer de l'existence d'une définition des points de test en production et de l'application des recommandations de test par la production.	Existe-t-il une définition des points de test et une application des recommandations pour les tests en production ?	6
133	S'assurer de l'existence d'une procédure de qualification du produit et du process de fabrication.	Y a-t-il une procédure de qualification des produits et du processus de fabrication?	7,2
134	S'assurer de l'existence d'une procédure de qualification produit / fournisseur de rang 1.	Y a-t-il une procédure de qualification produit / fournisseur de rang 1 ? Sur quels critères est basée cette qualification ?	7,6
135	S'assurer de l'existence d'une procédure de qualification des composants spécifiques ou des nouvelles technologies.	Les composants spécifiques et les nouvelles technologies sont-ils qualifiés avant leur utilisation ? Existe-t-il une procédure de qualification ?	7,2
137	Utiliser une méthodologie éprouvée et un outil qualifié pour réaliser les calculs prévisionnels de fiabilité.	Est-ce que la méthode utilisée pour l'évaluation de la fiabilité prévisionnelle est reconnue et validée par le retour d'expérience ? Est-ce que l'outil utilisé pour réaliser les calculs est qualifié ?	7,7
147	Tenir compte de l'équilibre fiabilité/complexité des tests intégrés.	L'impact de la complexité des tests intégrés sur la fiabilité est-il évalué ?	10,2

Numéro	Recommandation	Question	Poids
150	Utiliser des moyens de modélisation validés et reconnus.	Les moyens de modélisation (électriques, thermiques, mécaniques, etc.) sont-ils validés et reconnus ?	13,8
181	Connaître et maîtriser le profil de vie.	Le profil de vie du produit est-il connu et maîtrisé ?	15
182	Mener un processus d'amélioration du produit pour améliorer sa robustesse	Existe-t-il un processus d'amélioration du produit pour améliorer sa robustesse ?	20
183	Identifier et réduire les risques en conception	Des analyses (de type AMDEC conception) sont-elles conduites de façon à identifier et réduire les risques ? Les recommandations issues de ces analyses sont-elles formalisées ? Les recommandations issues de ces études sont-elles suivies ?	15
184	Préparer la phase d'industrialisation.	Est-ce que la stratégie industrielle est définie dans un plan ? Est-ce que les exigences nécessaires à l'industrialisation ont été déclinées dans une spécification industrielle ?	16
185	Analyser la nécessité du déverminage et définir la procédure de déverminage	A-t-on analysé la nécessité du déverminage ? Le cas échéant, a-t-on défini la procédure de déverminage ?	18,0
186	Vérifier que la couverture du test de déverminage est correctement définie et formalisée	A-t-on estimé le taux de couverture du test de déverminage ?	11,0

Fabrication carte ou sous-ensemble

Numéro	Recommandation	Question	Poids
5	Optimiser la couverture de test final vis-à-vis de la spécification produit, à l'aide du bilan des résultats de tests.	Un bilan des résultats de tests est-il réalisé afin d'optimiser la couverture du test final?	6,6
7	Assurer la mise en oeuvre des actions correctives.	Quel processus est mis en oeuvre pour assurer la collecte des faits techniques, l'établissement des rapports d'anomalies, et leur traitement?	15,4
8	Assurer la mise en oeuvre des actions préventives.	Les procédures relatives aux actions préventives comprennent-elles: - L'utilisation de sources d'informations diversifiées? - La détermination des étapes à mettre en oeuvre? - Les critères de déclenchement d'actions préventives et l'application de moyens de contrôle? - Une revue de suivi des actions préventives?	15,6
17	Assurer un contrôle continu de l'environnement (propreté, température, humidité) pour les opérations de fabrication sensibles	Y a-t-il un contrôle continu de l'environnement pour les opérations de fabrication sensibles (Propreté, Température, Humidité)?	9,9
18	Assurer une maintenance corrective suite à l'apparition d'une anomalie sur les moyens de production.	Y a-t-il une maintenance corrective suite à l'apparition d'une anomalie sur les moyens de production ou les sous-ensembles produits?	6,9
19	Maîtriser les temps de travail limites des matériaux transformables (à durée de vie limitée)	Le contrôle des temps de travail des matériaux transformables est-il efficace?	4,0
21	Vérifier périodiquement les moyens de programmation des logiciels embarqués.	Y a-t-il une vérification périodique des moyens de programmation des logiciels embarqués afin que l'opération de chargement du logiciel soit correctement effectuée?	4,1
23	Automatiser les manipulations pour limiter les dégradations possibles sur les composants, cartes et sous-ensembles.	La production et la manipulation des composants, cartes et sous-ensembles sont-elles automatisées (partiellement ou totalement) ?	6,5

Numéro	Recommandation	Question	Poids
25	Contrôler et maintenir (par une mise à jour) les données chargées dans les moyens de production programmables.	Les données chargées dans les moyens de production programmables sont-elles enregistrées?	2,8
33	Déléguer le contrôle final des principaux procédés, afin d'optimiser le filtrage avant poursuite dans le processus.	Un contrôle qualité est-il réalisé par une autre personne que l'opérateur, lors des principales étapes de fabrication?	10,0
37	S'assurer que les opérateurs et techniciens en charge des opérations sensibles sont formés et suffisamment expérimentés.	Est-ce que les procédés de fabrication sensibles sont confiés à un personnel formé et expérimenté?	12,0
42	Effectuer périodiquement un enregistrement de la température pour chaque opération de brasage afin de s'assurer que l'on n'agresse pas le composant ou sous-ensemble.	Y a-t-il des contrôles ou relevés périodiques de la température pour l'opération de brasage?	6,9
43	Maîtriser l'adéquation entre les moyens de production et le sous-ensemble produit.	Comment s'assure-t-on du fait que les moyens de production sont parfaitement adaptés aux éléments à produire?	7,2
46	Enregistrer les anomalies devant conduire à l'application d'actions correctives et / ou préventives.	Les anomalies rencontrées sont-elles enregistrées afin de donner lieu à des actions correctives et/ou préventives?	7,6
60	Gérer les priorités à respecter en fonction des dates de fin de dossier (planification).	Comment sont gérées les priorités en fonction des dates de fin de dossier?	3,1
61	Identifier et mettre en œuvre des moyens de protection des sous-ensembles.	A-t-on identifié et mis en œuvre des moyens de protection des sous-ensembles durant certaines activités de production?	7,3
75	Maîtriser l'environnement du milieu de travail.	Comment est assurée la maîtrise de l'environnement du milieu de travail? (Propreté, Température et Humidité)	13,0
77	Maîtriser les évolutions des procédés de fabrication.	Comment est assurée la maîtrise des évolutions des procédés de fabrication? Quelles évolutions sont notifiées au donneur d'ordre? Existe-t-il un plan de re-qualification selon la nature de la modification?	13,9
79	Contrôler avant utilisation les moyens de production, les outillages et les machines programmables.	Comment est assurée le contrôle, avant utilisation, des moyens de production, des outillages et des machines programmables?	12,0

Numéro	Recommandation	Question	Poids
84	Contrôler périodiquement la contamination des bains pour les opérations de brasage à la vague	La contamination des bains de brasure est-elle périodiquement effectuée? Et selon quelle procédure?	5,8
88	Mettre en place un auto-contrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production.	Existe-t-il un auto-contrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production? Est-il basé sur une instruction? Le résultat du contrôle est-il enregistré?	5,3
89	Réaliser le contrôle du dépôt de crème à braser après sérigraphie	Y a-t-il un contrôle systématique de la qualité du dépôt de la crème à braser, après sérigraphie?	6,0
90	Mettre en place des inventaires périodiques des stocks de composants et matériaux	Réalise-t-on des inventaires périodiques des stocks de composants et matériaux ?	5,5
91	Mettre en place des protections contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages.	La mise en place des protections spécifiques contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages est-elle pratiquée?	26,0
92	Vérifier périodiquement les outils de contrôle des moyens de production.	Existe-t-il des vérifications périodiques des outils de contrôle des moyens de production? La reproductibilité des mesures est-elle contrôlée?	4,9
93	Mettre en place les protections adéquates pour ne pas dégrader les sous-ensembles lors du nettoyage.	Existe-t-il des protections adéquates pour ne pas dégrader les sous-ensembles lors du nettoyage?	6,0
94	Mettre en place un autotest des outils de test permettant de détecter une anomalie éventuelle.	Existe-t-il un autotest des outils de test permettant de détecter une anomalie éventuelle avant utilisation sur le sous-ensemble?	5,1
96	Gérer la conformité des articles et matériaux en stock	Existe-t-il une identification de la conformité des matériaux et articles en stock ?	6,0
97	Mettre en place un contrôle du processus de production par SPC (Statistical Process Control) pour les caractéristiques critiques.	Existe-t-il un contrôle du processus de production par SPC (Statistical Process Control)? Les caractéristiques critiques sous SPC ont-elles fait l'objet d'études? Apparaissent-elles clairement dans le Plan de Contrôle? Les Limites de Contrôle haute et basse sont-elles mises à jour?	4,5

Numéro	Recommandation	Question	Poids
98	Mettre en place des instructions détaillées pour chaque procédé de production.	Existe-t-il une instruction détaillée pour chaque procédé de production? Ces instructions sont-elles disponibles en ligne? Existe-t-il des documents d'aide constamment visibles par l'opérateur?	12,0
99	Mettre en place une procédure évitant l'utilisation en production des consommables/articles périmés, ou devant être reformés	Existe-t-il une procédure permettant l'identification et le retrait du stock (ou le reformage) des consommables/articles périmés?	6,4
100	Mettre en place un traitement non différé des indicateurs de déroulement des tests.	Existe-t-il un traitement non différé des indicateurs de déroulement des tests de façon à ne pas dégrader le sous-ensemble à l'apparition d'une anomalie?	4,7
102	Contrôler continûment la température des étuves de séchage ou de polymérisation.	La température des étuves de séchage et de polymérisation est-elle sous contrôle continu, à l'aide de sondes externes?	12,7
112	Posséder des sécurités hautes et basses sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance.	Des sécurités hautes et basses sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance sont-elles définies? Entraînent-elles un arrêt systématique du cycle et une analyse par un technicien avant relance?	5,7
116	Maîtriser la qualité des informations des rapports de non-conformité.	Quelles informations sont décrites dans les rapports de non-conformité?	12,0
120	S'assurer du contrôle de la pose d'épargnes avant vernissage.	Y a-t-il une étape de contrôle (même visuel) du bon déroulement de l'activité de la pose d'épargnes avant vernissage?	6,5
121	Réaliser un contrôle des paramètres machine, avant chaque utilisation d'un moyen de production sur une carte ou un sous-ensemble (Set up).	Réalise-t-on un contrôle des paramètres machine avant chaque utilisation d'un moyen de production? Ce contrôle est-il décrit dans l'instruction machine associée?	4,7
126	Réviser et robustifier les contrôles des moyens de production pour éliminer toute possibilité de dégradation des connexions des composants	La spécification de contrôle machine de placement est-elle mise à jour périodiquement? Les résultats d'inspection carte sont-ils pris en compte?	6,7

Numéro	Recommandation	Question	Poids
127	S'assurer de la maîtrise de la préparation des matériaux transformables par une procédure qualifiée et des mesures de contrôle.	Comment s'assure-t-on de la maîtrise de la préparation des matériaux transformables (crème à braser, colles, vernis)?	5,9
128	Maintenir les compétences des opérateurs et techniciens par la formation continue et des contrôles fréquents	Des actions, formations et mesures sont-elles réalisées afin de maintenir la compétence des opérateurs et des techniciens? Les changements de procédés donnent-ils lieu à formations complémentaires? Comment est géré le turn-over des opérateurs ou techniciens?	4,4
129	S'assurer de l'efficacité du contrôle qualité final du vernissage selon une procédure adaptée.	S'assure-t-on de l'efficacité du contrôle final qualité du vernissage par une application stricte de la procédure de contrôle?	5,2
138	S'assurer que le logiciel embarqué chargé est le bon et conserver l'identification de sa version.	S'assure-t-on que le logiciel chargé embarqué est le bon et conserve-t-on l'identification de sa version?	6,7
139	S'assurer que l'on dispose d'une maintenance préventive des moyens de production et que cette maintenance fait l'objet d'un suivi.	Existe-t-il une maintenance préventive des moyens de production? Cette maintenance fait-elle l'objet d'un suivi?	5,9
144	Sensibiliser le personnel à une vérification visuelle des sous-ensembles après placement et avant refusion.	Sensibilise-t-on le personnel à une vérification visuelle des sous-ensembles après placement et avant refusion?	5,9
153	Vérifier la conformité des produits achetés.	Vérifie-t-on la conformité des produits achetés, selon des spécifications clairement définies?	8,6
154	Vérifier par une action de contrôle (douchage, lecture du S/N) que testeur et logiciel sont adaptés au produit testé, avant de débiter le test.	Vérifie-t-on par une action de contrôle (douchage, lecture du S/N) que testeur et logiciel sont adaptés au produit testé, avant de débiter le test?	6,1
155	Vérifier que la procédure de déverminage est correctement appliquée.	A-t-on vérifié la bonne application de la procédure de déverminage définie en conception ?	5,2
172	Maîtriser la viscosité et l'épaisseur du vernis.	La viscosité du vernis est-elle contrôlée périodiquement? L'épaisseur du vernis est-elle contrôlée à l'aide d'éprouvettes témoins?	6,0

Numéro	Recommandation	Question	Poids
173	Réaliser le contrôle systématique de la qualité des joints brasés des composants montés sur carte, après refusion des brasures.	Y a-t-il un contrôle systématique de la qualité des brasures, par inspection des joints brasés après refusion?	6,0
174	Mettre en place un contrôle de conformité à la mise en stock magasin produits finis	Existe-t-il un contrôle de conformité à la mise en stock magasin produits finis permettant l'exclusion des articles non conformes?	8,0
175	Maitriser les conditions d'environnement du stock de composants et matériaux	Les conditions température/Humidité des zones de stockage de composants et matériaux sont-elles maitrisées?	9,0
176	Maitriser la sensibilité des composants à l'humidité et au procédé de refusion (niveaux MSL)	Le niveau MSL des composants est-il bien pris en compte lors de leur mise en œuvre industrielle?	12,0
177	Tracer toutes les opérations de production et test dans la fiche suiveuse de lot	Existe-t-il une fiche suiveuse de lot décrivant, pour toutes les opérations, les informations de traçabilité nécessaires?	8,0
178	Optimiser l'organisation de la ligne de production	Des actions sont-elles menées pour constamment améliorer l'organisation de la ligne de production?	9,0
179	Se prémunir contre l'achat de composant frauduleux.	Le risque d'achat de composants frauduleux/contrefaits est-il couvert par une procédure?	10,0
180	Maitriser le fléchissement de la carte lors d'un test électrique sous pointes	Le fléchissement de la carte est-il contrôlé lors d'un test électrique sous pointes? Existe-t-il un document spécifiant ce qui est acceptable?	7,0

Intégration équipement

Numéro	Recommandation	Question	Poids
5	Optimiser la couverture de test final vis-à-vis de la spécification produit, à l'aide du bilan des résultats de tests.	Un bilan des résultats de tests est-il réalisé afin d'optimiser la couverture du test final?	6,6
7	Assurer la mise en oeuvre des actions correctives.	Quel processus est mis en oeuvre pour assurer la collecte des faits techniques, l'établissement des rapports d'anomalies, et leur traitement?	15,4
8	Assurer la mise en oeuvre des actions préventives.	Les procédures relatives aux actions préventives comprennent-elles : - L'utilisation des sources d'informations appropriées? - La détermination des étapes appropriées? - Le déclenchement d'actions préventives et l'application de moyens de maîtrise? - Une revue de direction des actions préventives?	15,6
9	Assurer la traçabilité du produit.	Comment est assurée la traçabilité du produit?	16,5
10	Assurer le conditionnement des équipements et systèmes	Est-ce que le fournisseur maîtrise les processus d'emballage, de conditionnement, et de marquage pour assurer la conformité aux exigences spécifiées? Y a-t-il une liste des matériels nécessitant un conditionnement?	12,3
11	Assurer les conditions de stockage des sous-ensembles	Y a-t-il des aires ou des locaux de stockage désignés? Sont-ils adaptés afin d'empêcher l'endommagement ou la détérioration des sous-ensembles? Des mesures appropriées sont-elles prises pour autoriser la réception et l'expédition dans ces aires?	10,8
12	Assurer les conditions de livraison des équipements et systèmes	Est-ce que le fournisseur prend des dispositions pour le maintien de la qualité du produit après les contrôles et essais finaux? Lorsque cela est spécifié contractuellement, ce maintien est-il étendu pour inclure la livraison à destination?	17,5

Numéro	Recommandation	Question	Poids
13	Valider les contrôles et essais requis avant passage à la phase suivante.	Comment sont validés les contrôles et essais prévus au cours d'une phase, avant passage à la phase suivante ?	7,2
14	Assurer la réalisation des contrôles et essais finaux.	Comment s'assure-t-on que tous les contrôles et essais finaux sont réalisés conformément au plan de contrôle et aux procédures écrites?	7,9
15	Assurer les contrôles et essais propres à la réception des matériaux et pièces.	Est-ce que tout matériau ou pièce entrant est soumis aux contrôles et essais adaptés avant utilisation selon une spécification ?	6,7
18	Assurer une maintenance corrective suite à l'apparition d'une anomalie sur les moyens de production.	Y a-t-il une maintenance corrective suite à l'apparition d'une anomalie sur les moyens de production ou les sous-ensembles produits?	6,9
19	Maîtriser les temps de travail limites des matériaux transformables (à durée de vie limitée)	Le contrôle des temps de travail des matériaux transformables est-il efficace?	4,0
21	Vérifier périodiquement les moyens de programmation des logiciels embarqués.	Y a-t-il une vérification périodique des moyens de programmation des logiciels embarqués afin que l'opération de chargement du logiciel soit correctement effectuée?	4,1
23	Automatiser les manipulations pour limiter les dégradations possibles sur les composants, cartes et sous-ensembles.	La production et la manipulation des composants, cartes et sous-ensembles sont-elles automatisées (partiellement ou totalement) ?	6,5
25	Contrôler et maintenir (par une mise à jour) les données chargées dans les moyens de production programmables.	Les données chargées dans les moyens de production programmables sont-elles gérées?	2,8
30	Définir le degré de non-conformité.	La description de la non-conformité acceptée ou des réparations effectuées est-elle enregistrée pour indiquer l'état réel du produit?	10,3
32	Définir les moyens nécessaires au contrôle et essai du produit.	Quelle procédure définit les moyens nécessaires aux contrôles et essais du produit?	11,6
35	Disposer des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures sous-ensembles	Y a-t-il des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures?	8,8

Numéro	Recommandation	Question	Poids
37	S'assurer que les opérateurs et techniciens en charge des opérations sensibles sont formés et suffisamment expérimentés	Est-ce que les procédés de fabrication sensibles sont confiés à un personnel formé et expérimenté?	12,0
43	Maîtriser l'adéquation entre les moyens de production et le sous-ensemble produit.	Comment s'assure-t-on du fait que les moyens de production sont parfaitement adaptés aux éléments à produire?	7,2
46	Enregistrer les anomalies devant conduire à l'application d'actions correctives et / ou préventives.	Les anomalies rencontrées sont-elles enregistrées afin de donner lieu à des actions correctives et/ou préventives?	7,6
47	Etablir des procédures de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées.	Y a-t-il des procédures écrites de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées?	10,6
49	Maîtriser le traitement des non-conformités.	Comment sont analysées les non-conformités? Existe-t-il des procédures pour le traitement du produit non conforme?	13,6
60	Gérer les priorités à respecter en fonction des dates de fin de dossier (Planification).	Comment sont gérées les priorités en fonction des dates de fin de dossier?	3,1
61	Identifier et mettre en œuvre des moyens de protection des sous-ensembles.	A-t-on identifié et mis en œuvre des moyens de protection des sous-ensembles durant certaines activités de production?	7,3
66	Identifier les moyens concernant les procédés spéciaux.	Les moyens concernant les procédés spéciaux sont-ils identifiés?	13,1
67	Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.	Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.	11,7
71	Maîtriser la documentation associée à l'équipement ou au système	La maîtrise de la documentation associée à l'équipement ou au système est-elle bien assurée ? Prend-elle en compte toutes les évolutions du matériel ?	15
73	Maîtriser l'adéquation des équipements de contrôle-essais et des logiciels, avec les besoins.	Comment est assurée l'adéquation des équipements de contrôles-essais et des logiciels, avec les besoins?	9,6
74	Maîtriser l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais.	Comment est assurée la maîtrise de l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais?	7,9

Numéro	Recommandation	Question	Poids
75	Maîtriser l'environnement du milieu de travail.	Comment est assurée la maîtrise de l'environnement du milieu de travail? (Propreté, Température et Humidité)	9,6
77	Maîtriser les évolutions des procédés de fabrication.	Comment est assurée la maîtrise des évolutions des procédés de fabrication? Quelles évolutions sont notifiées au donneur d'ordre? Existe-t-il un plan de requalification selon la nature de la modification?	13,9
78	Maîtriser les méthodes de manutention.	Les modes de manutention et de transport entre sites sont-ils définis?	8,8
79	Contrôler avant utilisation les moyens de production, les outillages et les machines programmables.	Comment est assurée le contrôle, avant utilisation, des moyens de production, des outillages et des machines programmables?	10,5
80	Maîtriser les opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation.	Comment est assurée la maîtrise des opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation ?	6,5
81	Maîtriser les procédés spéciaux.	Comment est assurée la maîtrise des procédés spéciaux? Quels documents décrivent ces procédés, et comment sont-ils mis à jour? Comment sont qualifiés ces procédés spéciaux?	14,4
82	Maîtriser les services et fluides du milieu de travail.	Comment est assurée la maîtrise des services et fluides du milieu de travail?	10,1
88	Mettre en place un auto-contrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production.	Existe-t-il un auto-contrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production? Est-il basé sur une instruction? Le résultat du contrôle est-il enregistré?	5,3
91	Mettre en place des protections contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages.	La mise en place des protections spécifiques contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages est-elle pratiquée?	26,0
92	Vérifier périodiquement les outils de contrôle des moyens de production.	Existe-t-il des vérifications périodiques des outils de contrôle des moyens de production? La reproductibilité des mesures est-elle contrôlée?	4,9

Numéro	Recommandation	Question	Poids
94	Mettre en place un autotest des outils de test permettant de détecter une anomalie éventuelle.	Existe-t-il un autotest des outils de test permettant de détecter une anomalie éventuelle avant utilisation sur le sous-ensemble?	5,1
98	Mettre en place des instructions détaillées pour chaque procédé de production.	Existe-t-il une instruction détaillée pour chaque procédé de production? Ces instructions sont-elles disponibles en ligne? Existe-t-il des documents d'aide constamment visibles/accessibles par l'opérateur?	12,0
99	Mettre en place une procédure évitant l'utilisation en production des consommables/articles périmés, ou devant être retraités	Existe-t-il une procédure permettant l'identification et le retrait du stock des consommables/articles périmés?	6,4
100	Mettre en place un traitement non différé des indicateurs de déroulement des tests.	Existe-t-il un traitement non différé des indicateurs de déroulement des tests de façon à ne pas dégrader le sous-ensemble à l'apparition d'une anomalie?	4,7
113	Posséder les enregistrements des contrôles et essais.	Établit-on et conserve-t-on des enregistrements apportant la preuve que le produit a subi les contrôles et/ou les essais conformément aux critères définis? Les enregistrements permettent-ils d'identifier la personne ayant effectué les contrôles?	5,3
114	Posséder un dossier de contrôle.	Y a-t-il un dossier de contrôle regroupant les critères d'acceptation, la liste séquentielle des opérations de contrôle et d'essais, les documents d'enregistrement des résultats de contrôles, la liste des instruments de contrôle spécifiques et non spécifiques?	5,7
116	Maîtriser la qualité des informations des rapports de non-conformité.	Quelles informations sont décrites dans les rapports de non-conformité?	11,1
121	Réaliser un contrôle des paramètres machine, avant chaque utilisation d'un moyen de production sur une carte ou un sous-ensemble (Set up).	Réalise-t-on un contrôle des paramètres machine avant chaque utilisation d'un moyen de production? Ce contrôle est-il décrit dans l'instruction machine associée?	4,7

Numéro	Recommandation	Question	Poids
128	Maintenir les compétences des opérateurs et techniciens par la formation continue et des contrôles fréquents.	Des actions, formations et mesures sont-elles réalisées afin de maintenir la compétence des opérateurs? Les changements de procédés donnent-ils lieu à formations complémentaires?	10,0
138	S'assurer que le logiciel embarqué chargé est le bon et conserver l'identification de sa version.	S'assure-t-on que le logiciel chargé embarqué est le bon et conserve-t-on l'identification de sa version?	6,7
139	S'assurer que l'on dispose d'une maintenance préventive des moyens de production et que cette maintenance fait l'objet d'un suivi.	Existe-t-il une maintenance préventive des moyens de production? Cette maintenance fait-elle l'objet d'un suivi?	5,9
153	Vérifier la conformité des produits achetés.	Vérifie-t-on la conformité des produits achetés, selon des spécifications clairement définies?	8,6
155	Vérifier que la procédure de déverminage est correctement appliquée.	A-t-on vérifié la bonne application de la procédure de déverminage définie en conception ?	9,0

Intégration système

Numéro	Recommandation	Question	Poids
7	Assurer la mise en oeuvre des actions correctives.	Quel processus est mis en oeuvre pour assurer la collecte des faits techniques, l'établissement des rapports d'anomalies, et leur traitement?	15,4
8	Assurer la mise en oeuvre des actions préventives.	Les procédures relatives aux actions préventives comprennent-elles : - L'utilisation des sources d'informations appropriées? - La détermination des étapes appropriées? - Le déclenchement d'actions préventives et l'application de moyens de maîtrise? - Une revue de direction des actions préventives?	15,6
9	Assurer la traçabilité du produit.	Comment est assurée la traçabilité du produit?	16,5
10	Assurer le conditionnement des équipements et systèmes.	Est-ce que le fournisseur maîtrise les processus d'emballage, de conditionnement, et de marquage pour assurer la conformité aux exigences spécifiées? Y a-t-il une liste des matériels nécessitant un conditionnement?	12,3
11	Assurer les conditions de stockage des sous-ensembles	Y a-t-il des aires ou des locaux de stockage désignés? Sont-ils adaptés afin d'empêcher l'endommagement ou la détérioration des sous-ensembles? Des mesures appropriées sont-elles prises pour autoriser la réception et l'expédition dans ces aires?	10,8
12	Assurer les conditions de livraison des équipements et systèmes.	Est-ce que le fournisseur prend des dispositions pour le maintien de la qualité du produit après les contrôles et essais finaux? Lorsque cela est spécifié contractuellement, ce maintien est-il étendu pour inclure la livraison à destination?	17,5
13	Valider les contrôles et essais requis avant passage à la phase suivante.	Comment sont validés les contrôles et essais prévus au cours d'une phase, avant passage à la phase suivante ?	7,2

Numéro	Recommandation	Question	Poids
14	Assurer la réalisation des contrôles et essais finaux.	Comment s'assure-t-on que tous les contrôles et essais finaux sont réalisés conformément au plan de contrôle et aux procédures écrites?	7,9
15	Assurer les contrôles et essais propres à la réception des matériaux et pièces.	Est-ce que tout matériau ou pièce entrant est soumis aux contrôles et essais adaptés avant utilisation selon une spécification ?	6,7
30	Définir le degré de non-conformité.	La description de la non-conformité acceptée ou des réparations effectuées est-elle enregistrée pour indiquer l'état réel du produit?	10,3
32	Définir les moyens nécessaires au contrôle et essai du produit.	Quelle procédure définit les moyens nécessaires aux contrôles et essais du produit?	11,6
35	Disposer des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures sous-ensembles	Y a-t-il des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures?	8,8
37	S'assurer que les opérateurs et techniciens en charge des opérations sensibles sont formés et suffisamment expérimentés.	Est-ce que les procédés de fabrication sensibles sont confiés à un personnel formé et expérimenté?	11,0
47	Etablir des procédures de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées.	Y a-t-il des procédures écrites de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées?	10,6
49	Maîtriser le traitement des non-conformités.	Comment sont analysées les non-conformités? Existe-t-il des procédures pour le traitement du produit non conforme?	13,6
66	Identifier les moyens concernant les procédés spéciaux.	Les moyens concernant les procédés spéciaux sont-ils identifiés?	13,1
67	Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.	Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.	11,7
71	Maîtriser la documentation associée à l'équipement ou au système.	La maîtrise de la documentation associée à l'équipement ou au système est-elle bien assurée ? Prend-elle en compte toutes les évolutions du matériel ?	15
73	Maîtriser l'adéquation des équipements de contrôle-essais et des logiciels, avec les besoins.	Comment est assurée l'adéquation des équipements de contrôles-essais et des logiciels, avec les besoins?	9,6
74	Maîtriser l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais.	Comment est assurée la maîtrise de l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais?	7,9

Numéro	Recommandation	Question	Poids
75	Maîtriser l'environnement du milieu de travail.	Comment est assurée la maîtrise de l'environnement du milieu de travail? (Propreté, Température et Humidité)	9,6
77	Maîtriser les évolutions des procédés de fabrication.	Comment est assurée la maîtrise des évolutions des procédés de fabrication? Quelles évolutions sont notifiées au donneur d'ordre? Existe-t-il un plan de requalification selon la nature de la modification?	13,9
78	Maîtriser les méthodes de manutention.	Les modes de manutention et de transport entre sites sont-ils définis?	8,8
79	Contrôler avant utilisation les moyens de production, les outillages et les machines programmables.	Comment est assurée le contrôle, avant utilisation, des moyens de production, des outillages et des machines programmables?	10,5
80	Maîtriser les opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation.	Comment est assurée la maîtrise des opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation ?	6,5
81	Maîtriser les procédés spéciaux.	Comment est assurée la maîtrise des procédés spéciaux? Quels documents décrivent ces procédés, et comment sont-ils mis à jour? Comment sont qualifiés ces procédés spéciaux?	14,4
82	Maîtriser les services et fluides du milieu de travail.	Comment est assurée la maîtrise des services et fluides du milieu de travail?	10,1
88	Mettre en place un auto-contrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production.	Existe-t-il un auto-contrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production? Est-il basé sur une instruction? Le résultat du contrôle est-il enregistré?	5,3
91	Mettre en place des protections contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages.	La mise en place des protections spécifiques contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages est-elle pratiquée?	18,4
99	Mettre en place une procédure évitant l'utilisation en production des consommables/articles périmés, ou devant être retraités	Existe-t-il une procédure permettant l'identification et le retrait du stock des consommables/articles périmés?	6,4

Numéro	Recommandation	Question	Poids
113	Posséder les enregistrements des contrôles et essais.	Établit-on et conserve-t-on des enregistrements apportant la preuve que le produit a subi les contrôles et/ou les essais conformément aux critères définis? Les enregistrements permettent-ils d'identifier la personne ayant effectué les contrôles?	5,3
114	Posséder un dossier de contrôle.	Y a-t-il un dossier de contrôle regroupant les critères d'acceptation, la liste séquentielle des opérations de contrôle et d'essais, les documents d'enregistrement des résultats de contrôles, la liste des instruments de contrôle spécifiques et non spécifiques?	5,7
116	Maitriser la qualité des informations des rapports de non-conformité.	Quelles informations sont décrites dans les rapports de non-conformité?	11,1
138	S'assurer que le logiciel embarqué chargé est le bon et conserver l'identification de sa version.	S'assure-t-on que le logiciel chargé embarqué est le bon et conserve-t-on l'identification de sa version?	6,7
153	Vérifier la conformité des produits achetés.	Vérifie-t-on la conformité des produits achetés, selon des spécifications clairement définies?	8,6
155	Vérifier que la procédure de déverminage est correctement appliquée.	A-t-on vérifié la bonne application de la procédure de déverminage définie en conception ?	9,0

Exploitation et maintenance

Numéro	Recommandation	Question	Poids
7	Assurer la mise en oeuvre des actions correctives.	Quel processus est mis en oeuvre pour assurer la collecte des faits techniques, l'établissement des rapports d'anomalies, et leur traitement?	17,5
8	Assurer la mise en oeuvre des actions préventives.	Les procédures relatives aux actions préventives comprennent-elles: - L'utilisation de sources d'informations diversifiées? - La détermination des étapes à mettre en oeuvre? - Les critères de déclenchement d'actions préventives et l'application de moyens de contrôle? - Une revue de suivi des actions préventives?	17,7
9	Assurer la traçabilité du produit.	Comment est assurée la traçabilité du produit?	9,2
10	Assurer le conditionnement des équipements et systèmes	Est-ce que le fournisseur maîtrise les processus d'emballage, de conditionnement, et de marquage pour assurer la conformité aux exigences spécifiées? Y a-t-il une liste des matériels nécessitant un conditionnement?	13,8
11	Assurer les conditions de stockage des sous-ensembles	Y a-t-il des aires ou des locaux de stockage désignés? Sont-ils adaptés afin d'empêcher l'endommagement ou la détérioration des sous-ensembles? Des mesures appropriées sont-elles prises pour autoriser la réception et l'expédition dans ces aires?	15,6
13	Valider les contrôles et essais requis avant passage à la phase suivante.	Comment sont validés les contrôles et essais prévus au cours d'une phase, avant passage à la phase suivante ?	11,2
14	Assurer la réalisation des contrôles et essais finaux.	Comment s'assure-t-on que tous les contrôles et essais finaux sont réalisés conformément au plan de contrôle et aux procédures écrites?	10,4

Numéro	Recommandation	Question	Poids
20	Assurer une politique de maîtrise des risques associés aux non-conformités.	Applique-t-on une politique visant à identifier, évaluer et gérer les risques potentiels associés aux non-conformités, sur les produits mais aussi sur l'ensemble des procédés de conception, de planification, de fabrication, de montage, de contrôle, etc. ?	16,3
30	Définir le degré de non-conformité.	La description de la non-conformité acceptée ou des réparations effectuées est-elle enregistrée pour indiquer l'état réel du produit?	12,8
32	Définir les moyens nécessaires au contrôle et essai du produit.	Quelle procédure définit les moyens nécessaires aux contrôles et essais du produit?	14,3
35	Disposer des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures sous-ensembles	Y a-t-il des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures?	9,9
47	Etablir des procédures de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées.	Y a-t-il des procédures écrites de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées?	6,8
63	Identifier la documentation pour les procédés spéciaux.	Existe-t-il une documentation pour les procédés spéciaux ? Cette documentation est-elle mise à jour ?	12,2
66	Identifier les moyens concernant les procédés spéciaux.	Les moyens concernant les procédés spéciaux sont-ils identifiés?	13,1
67	Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.	Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.	13,7
71	Maîtriser la documentation associée à l'équipement ou au système.	La maîtrise de la documentation associée à l'équipement ou au système est-elle bien assurée ? Prend-elle en compte toutes les évolutions du matériel ?	14
72	Maîtriser la testabilité et la maintenabilité des produits.	Comment est assurée la maîtrise de la testabilité et la maintenabilité des produits ?	17,6
73	Maîtriser l'adéquation des équipements de contrôle-essais et des logiciels, avec les besoins.	Comment est assurée l'adéquation des équipements de contrôles-essais et des logiciels, avec les besoins?	11,3
74	Maîtriser l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais.	Comment est assurée la maîtrise de l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais?	11,7
75	Maîtriser l'environnement du milieu de travail.	Comment est assurée la maîtrise de l'environnement du milieu de travail? (Propreté, Température et Humidité)	10,8

Numéro	Recommandation	Question	Poids
77	Maîtriser les évolutions des procédés de fabrication.	Comment est assurée la maîtrise des évolutions des procédés de fabrication? Quelles évolutions sont notifiées au donneur d'ordre? Existe-t-il un plan de requalification selon la nature de la modification?	13,9
78	Maîtriser les méthodes de manutention.	Les modes de manutention et de transport entre sites sont-ils définis?	9,9
79	Contrôler avant utilisation les moyens de production, les outillages et les machines programmables.	Comment est assurée le contrôle, avant utilisation, des moyens de production, des outillages et des machines programmables?	11,3
80	Maîtriser les opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation.	Comment est assurée la maîtrise des opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation ?	11,3
81	Maîtriser les procédés spéciaux.	Comment est assurée la maîtrise des procédés spéciaux? Quels documents décrivent ces procédés, et comment sont-ils mis à jour? Comment sont qualifiés ces procédés spéciaux?	15,2
82	Maîtriser les services et fluides du milieu de travail.	Comment est assurée la maîtrise des services et fluides du milieu de travail?	12,2
91	Mettre en place des protections contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages.	La mise en place des protections spécifiques contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages est-elle pratiquée?	17,4
114	Posséder un dossier de contrôle.	Y a-t-il un dossier de contrôle regroupant les critères d'acceptation, la liste séquentielle des opérations de contrôle et d'essais, les documents d'enregistrement des résultats de contrôle, la liste des instruments de contrôle spécifiques et non spécifiques?	5,7
116	Maîtriser la qualité des informations des rapports de non-conformité.	Quelles informations sont décrites dans les rapports de non-conformité?	11,1
181	Connaître et maîtriser le profil de vie.	Le profil de vie du produit est-il connu et maîtrisé ?	9

Activités support

Numéro	Recommandation	Question	Poids
3	Allouer les infrastructures nécessaires à la non-dégradation des produits durant les opérations de production et d'intégration.	Des analyses (de type AMDEC processus) sont-elles conduites de façon à émettre des recommandations sur les infrastructures nécessaires en production et intégration ? Les recommandations issues de ces études sont-elles formalisées ? Les recommandations issues de ces études sont-elles suivies ?	7,4
4	Améliorer en permanence l'ingénierie fiabilité de l'entreprise.	A-t-on défini des objectifs d'amélioration de l'ingénierie fiabilité ? A-t-on défini des indicateurs de performance relatifs sur ces objectifs ?	6,6
24	Collecter les observations du donneur d'ordre relatives à la fiabilité du produit en fonctionnement opérationnel.	Est-ce qu'une collecte des observations du client relatives à la fiabilité du produit en fonctionnement opérationnel est prévue?	7,9
45	Engager une certification qualité de l'entreprise.	L'entreprise possède-t-elle une ou plusieurs certifications qualité, par exemple ISO 9001 V2016 ou EN9100 ?	6,5
53	Exploiter le retour d'expérience.	Le retour d'expérience est-il mis à profit pour maintenir un bon niveau de confiance dans la tenue des performances de fiabilité ?	11
55	Faire participer le métier Sûreté de Fonctionnement à l'ensemble des phases du projet.	Le métier Sûreté de Fonctionnement participe-t-il à l'ensemble des phases du projet ?	8,8
56	Former le personnel intervenant dans les études de fiabilité ou impactant la fiabilité, ou employer du personnel qualifié.	La formation des acteurs de la fiabilité est-elle adaptée à la criticité des performances de fiabilité attendues pour le produit?	7,5
58	Fournir les ressources nécessaires pour les études de fiabilité.	Les données techniques nécessaires aux études de fiabilité sont-elles accessibles ? Les outils nécessaires à la réalisation des études sont-ils disponibles ? Le temps et le financement nécessaires à la réalisation des études sont-ils prévus ?	8,3

Numéro	Recommandation	Question	Poids
59	Maîtriser la documentation liée aux études de fiabilité.	Les documents d'étude de fiabilité sont-ils maîtrisés ?	5,4
68	Identifier les risques liés à la fiabilité des produits chez les sous-contractants.	A-t-on identifié les risques liés à la fiabilité des produits chez les sous-contractants ?	7,2
69	Intégrer la fiabilité dans la politique qualité de l'entreprise.	Le thème de la fiabilité est-il présent dans la politique qualité de l'entreprise ?	7,4
76	Maîtriser les dispositifs de surveillance et de mesure, la métrologie des appareils de mesure et moyens industriels.	Comment est assurée la maîtrise des dispositifs de surveillance et de mesure, la métrologie des appareils de mesure et moyens industriels ?	7,8
104	Nommer un responsable des études de fiabilité.	A-t-on formellement nommé un responsable des études de fiabilité ?	8,5
105	Maîtriser la sous-traitance des études de fiabilité.	Comment assure-t-on la maîtrise de la sous-traitance des études de fiabilité ?	10
110	Mener des activités de croissance de fiabilité.	Des activités de croissance de fiabilité sont-elles menées ?	9,1
111	Planifier les études de fiabilité.	Les études de fiabilité sont-elles planifiées ?	8
119	Prévoir des consultations périodiques des donneurs d'ordre liées aux aspects fiabilité.	Y a-t-il des consultations périodiques de prévues avec les clients pour les aspects fiabilité ?	7,3
142	Sélectionner les composants utilisés.	Sélectionne-t-on les composants utilisés par rapport à des critères de fiabilité ?	12,9
143	Sélectionner les fournisseurs de composants.	Sélectionne-t-on les fournisseurs de composants par rapport à des critères de fiabilité ?	10,8
146	Suivre et maîtriser les actions correctives du sous-contractant liées à la fiabilité des produits.	Suit-on les actions correctives du sous-contractant liées à la fiabilité ?	7,2
148	Traiter l'aspect fiabilité en revue de direction.	Traite-t-on l'aspect fiabilité en revue de direction ?	5,6
149	Traiter les anomalies avec une logique de traitement des incidents et d'action corrective.	Quel processus est mis en œuvre pour assurer la collecte des faits techniques, l'établissement des rapports d'anomalies ainsi que la mesure de la croissance de fiabilité ? Comment sont gérées les évolutions du matériel ?	8,3

Numéro	Recommandation	Question	Poids
151	Utiliser des méthodes statistiques adaptées à l'exploitation du retour d'expérience.	Utilise-t-on des méthodes statistiques adaptées à l'exploitation du retour d'exploitation?	6
152	Valider le référentiel de management de la Fiabilité du sous-traitant.	Valide-t-on le référentiel de management de la fiabilité du sous-traitant ?	7,7

Durcissement

Numéro	Recommandation	Question	Poids
156	Assurer la complétude des spécifications d'environnements.	Comment est assurée la complétude des spécifications d'environnement?	4
157	Assurer la formation et gérer le maintien des compétences pour la mise en œuvre et la maintenance du produit	Les utilisateurs (emploi et maintenance) ont-ils reçu une formation sur le produit? Cette formation est-elle renouvelée et actualisée selon besoin?	7
158	Assurer le respect des procédures propres au produit et des règles propres aux métiers par un système de suivi adéquat	Des moyens de contrôles (processus, moyens d'enregistrement) permettent-ils au fournisseur de s'assurer que les règles d'utilisation du produit sont bien respectées par les utilisateurs?	7
159	Concevoir des dispositifs de protection électrique sûrs de fonctionnement	Comment sont conçu les dispositifs de protection électrique?	4
160	Etudier et traiter les risques de détérioration du produit en test par les pannes de ses moyens de test ou de maintenance.	Les risques de détérioration du produit en test par les pannes de son moyen de test sont-ils traités pris en compte?	4
161	Identifier et traiter par les moyens de prévention adéquats les agressions (liées aux intempéries) raisonnablement prévisibles	Les agressions (liées aux intempéries) raisonnablement prévisibles ont-elles été prises en compte?	4
162	Identifier et traiter, par les moyens de prévention adéquats, les utilisations anormales raisonnablement prévisibles	Les utilisations anormales raisonnablement prévisibles ont-elles été prises en compte?	4
163	Intégrer les environnements de production, de stockage et de maintenance dans les spécifications d'environnement du produit	Comment sont pris en compte les environnements de production, de stockage et de maintenance dans la spécification d'environnement du produit?	4
164	Justifier du respect des spécifications d'environnements	Comment est justifié le respect des spécifications d'environnements?	4
165	Mener un processus d'amélioration du produit (par exemple: essais aggravés) afin de limiter la sensibilité du produit aux contraintes environnementales (perturbations, environnements, overstress)	Existe-t-il un processus d'amélioration du produit pour construire sa robustesse et accélérer sa maturité?	7
166	Réaliser une analyse des cas de panne pouvant donner lieu à une propagation de panne	Les possibilités de propagation de panne font-elles l'objet d'une analyse?	4

Numéro	Recommandation	Question	Poids
167	Réaliser une analyse process des opérations de mise en œuvre et de maintenance	Comment sont analysés les risques d'erreur dans la réalisation des opérations de mise en oeuvre et de maintenance?	4
168	Réaliser une revue des opérations de maintenance par l'utilisateur final et traiter ses recommandations	Une revue des opérations de maintenance par l'utilisateur est-elle organisée?	4
169	Rédiger des procédures complètes pour l'ensemble des opérations de mises en œuvre et de maintenance du produit	Existe-t-il une documentation qui décrit l'ensemble des opérations de mise en oeuvre et de maintenances du produit?	7
170	Respect d'une norme concernant les alimentations (norme qui définisse les perturbations possibles et les variations possibles type EN2282). Le respect doit être assuré aussi bien au niveau génération électrique qu'au niveau consommation électrique	Une norme concernant les alimentations électriques est-elle applicable au produit et au système qui l'entoure? Comment est-elle appliquée?	4
171	Respect d'une norme concernant les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées: Par respecté, il faut entendre à la fois par le produit et par le système dans lequel il est intégré	Une norme concernant les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées est-elle applicable au produit et au système qui l'entoure? Comment est-elle appliquée?	3

Fiches détaillées des recommandations

Recommandation Affecter les ressources, en termes de personnel et moyens, aux études de Sûreté de Fonctionnement (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité, Testabilité).	Correspondance ISO9001 : N2 EN9100 : N3	N° 1
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable SPECIFICATION		Poids 10,7
Description complémentaire Un financement est affecté au(x) responsable(s) Sûreté de Fonctionnement de l'affaire. Celui-ci fait l'objet d'un poste séparé (niveau comptable) de la conduite d'affaire. Le personnel et les moyens nécessaires à la bonne tenue des études de Sûreté de Fonctionnement sont mis à disposition du responsable Sûreté de Fonctionnement du produit.		
Question de l'audit Y a-t-il un poste de financement pour les études de Sûreté de Fonctionnement ? Les moyens et personnels nécessaires sont-ils identifiés ?		
Niveau 1 Aucune ressource spécifique n'est allouée aux études de Sûreté de Fonctionnement : intégrées avec d'autres études ou allocation spécifique non formalisée.		
Niveau 2 Les ressources allouées aux études de Sûreté de Fonctionnement sont identifiées au niveau de la gestion de l'affaire et formalisées dans un document.		
Niveau 3 Les ressources allouées aux études de Sûreté de Fonctionnement sont identifiées au niveau de la gestion de l'affaire et formalisées dans un plan validé.		
Niveau 4 Les ressources allouées aux études de Sûreté de Fonctionnement sont identifiées au niveau de la gestion de l'affaire et formalisées dans un plan validé. Une preuve de la disponibilité réelle des ressources est établie.		

Recommandation		Correspondance	N°
Décliner les exigences de fiabilité aux sous-ensembles.			2
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SPECIFICATION			10,4
Description complémentaire			
Les exigences de fiabilité doivent être déclinées à tous les niveaux (système, équipement, carte, ...) par les spécialistes du métier ou sous contrôle des spécialistes du métier. Elles peuvent être regroupées dans un document dédié ou intégrées dans les documents de conception.			
Question de l'audit			
Les exigences globales de fiabilité sont-elles allouées et déclinées aux sous-ensembles ? Quelle méthode d'allocation a été utilisée ?			
Niveau 1	Il n'existe pas ou n'existera pas d'allocation des exigences de fiabilité aux sous-ensembles de différents niveaux.		
Niveau 2	Des personnes chargées de l'ingénierie fiabilité ont décliné (ou participé à la déclinaison) des exigences de fiabilité aux sous-ensembles de différents niveaux. Aucun document validé n'atteste de cette déclinaison.		
Niveau 3	Des personnes chargées de l'ingénierie fiabilité ont décliné (ou participé à la déclinaison) des exigences de fiabilité aux sous-ensembles de différents niveaux. Des documents validés attestent de cette déclinaison.		
Niveau 4	Des personnes chargées de l'ingénierie fiabilité ont décliné (ou participé à la déclinaison) des exigences de fiabilité aux sous-ensembles de différents niveaux. Des documents validés attestent de cette déclinaison. Cette allocation est basée sur des données antérieures portant sur des matériels similaires (technologie, environnement d'utilisation).		

Recommandation		Correspondance	N°
Allouer les infrastructures nécessaires à la non-dégradation des produits durant les opérations de production et d'intégration.		ISO9001 : N4 EN9100 : N4	3
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			7,4
Description complémentaire Une analyse de type AMDEC processus est conduite afin d'assurer que les opérations de production et d'intégration ne dégradent pas la fiabilité ; cette analyse permet de définir les infrastructures nécessaires ou d'émettre des recommandations sur les infrastructures existantes. Types de recommandations : application des méthodes 5S, mise à disposition de réseaux d'énergie adaptés, de salles blanches, de bâtiments ergonomiques, augmentation des surfaces pour des manipulations plus aisées, amélioration de l'éclairage, application de normes de rangements et de propreté, amélioration de la qualité des outils, sensibilisation du personnel à la fiabilité.			
Question de l'audit Des analyses (de type AMDEC processus) sont-elles conduites de façon à émettre des recommandations sur les infrastructures nécessaires en production et intégration ? Les recommandations issues de ces études sont-elles formalisées ? Les recommandations issues de ces études sont-elles suivies ?			
Niveau 1	Aucune analyse d'impact des infrastructures n'est conduite ; aucun dispositif n'est prévu.		
Niveau 2	Les analyses d'impact sont conduites de façon informelle ; les infrastructures tiennent compte de ces analyses.		
Niveau 3	Les analyses d'impact sont formalisées. Les recommandations issues de ces analyses sont formalisées et prises en compte pour la définition et/ou l'amélioration des infrastructures.		
Niveau 4	Les analyses d'impact sont formalisées. Les recommandations issues de ces analyses sont formalisées et prises en compte pour la définition et/ou l'amélioration des infrastructures. Les infrastructures font l'objet de contrôles périodiques.		

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Améliorer en permanence l'ingénierie fiabilité de l'entreprise.		4
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SUPPORT		6,6
Description complémentaire		
Fixer des objectifs d'amélioration de l'ingénierie fiabilité et mettre en place des indicateurs de performance sur ces objectifs.		
Exemples d'objectifs :		
- Mandatory : maintien du référentiel métier, atteinte des performances de fiabilité, etc.		
- Nice to have : formations, participation aux groupes de travail, participation aux congrès, etc.		
Auditer l'ingénierie fiabilité de l'entreprise.		
Question de l'audit		
A-t-on défini des objectifs d'amélioration de l'ingénierie fiabilité ?		
A-t-on défini des indicateurs de performance relatifs sur ces objectifs ?		
Niveau 1	Aucun objectif d'amélioration de l'ingénierie fiabilité n'est défini.	
Niveau 2	Des objectifs d'amélioration de l'ingénierie fiabilité sont définis de façon informelle et aucun indicateur de performance n'est défini sur ces objectifs.	
Niveau 3	Des objectifs d'amélioration de l'ingénierie fiabilité sont formalisés et des indicateurs de performance sont définis sur ces objectifs.	
Niveau 4	Des objectifs d'amélioration de l'ingénierie fiabilité sont formalisés, en particulier ceux relatifs à l'atteinte des performances de fiabilité et au maintien du référentiel métier. Des indicateurs de performance sont mis en place sur ces objectifs.	
Des audits réguliers permettent d'évaluer l'ingénierie fiabilité.		

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Optimiser la couverture de test final vis-à-vis de la spécification produit, à l'aide du bilan des résultats de tests.	ISO9001 : N3 EN9100 : N3	5
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
FABRICATION	6,6	
INTEGRATION_EQUIPEMENT	6,6	
Description complémentaire		
Le test final du produit et plus particulièrement le niveau de couverture atteint par ce test doit être étudié, et modifié si nécessaire, même après la Spécification et à la Conception du produit. Un bilan des résultats de tests permet d'optimiser l'efficacité de ce test final.		
Question de l'audit		
Un bilan des résultats de tests est-il réalisé afin d'optimiser la couverture du test final?		
Niveau 1	Aucune révision du taux de la couverture de test prédéfinie n'est effectuée.	
Niveau 2	Un bilan des tests du produit peut être effectué dans un objectif de révision et d'amélioration du taux de couverture prédéfini. Cependant, aucun document ne décrit formellement d'actions s'y rapportant.	
Niveau 3	Les tests finaux du produit sont régulièrement revus même après la spécification et la conception. L'objectif est d'augmenter la couverture de test prédéfinie. Des documents décrivent la procédure à adopter.	
Niveau 4	Les tests finaux du produit sont régulièrement revus même après la spécification et la conception. L'objectif est d'augmenter la couverture de test prédéfinie. Des documents décrivent la procédure à adopter. Ceux-ci ont été validés par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation	Correspondance	N°
Assurer la complétude des renseignements sur les sous-ensembles pour établir les manuels de test des sous-ensembles.	EN9100 : N4	6
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		7,8
Description complémentaire		
Disposer des données techniques relatives aux sous-ensembles pour la mise au point du test de production.		
Question de l'audit		
Est-ce que les données techniques relatives aux sous-ensembles sont disponibles pour la mise au point du test de production ?		
Niveau 1	Les données techniques relatives aux sous-ensembles ne sont pas disponibles.	
Niveau 2	Des données techniques relatives aux sous-ensembles existent mais elles ne sont pas validées et ne sont que partiellement utilisables.	
Niveau 3	Des données techniques relatives aux sous-ensembles existent ; elles sont validées mais incomplètes ou partiellement utilisables.	
Niveau 4	Des données techniques relatives aux sous-ensembles existent ; elles sont validées, complètes et utilisables pour tous les sous-ensembles.	

Recommandation		Correspondance	N°
Assurer la mise en œuvre des actions correctives.		ISO9001 : N4 EN9100 : N4	7
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			6,7
FABRICATION			15,4
INTEGRATION_EQUIPEMENT			15,4
INTEGRATION_SYSTEME			15,4
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			17,5
Description complémentaire			
<p>Cette recommandation traite de la mise en œuvre des actions correctives (l'aspect documentaire est traité dans la recommandation 116).</p> <p>Une procédure d'assurance qualité doit exister couvrant les fonctions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le traitement des réclamations du donneur d'ordre et des rapports de non-conformité du produit, - La recherche des causes de non-conformité relatives au produit, au processus et au système qualité, ainsi que l'enregistrement des résultats de cette recherche, - La détermination des actions correctives et préventives nécessaires pour éliminer les causes de non-conformité, - L'application de moyens pour mesurer l'efficacité des actions correctives et préventives. 			
Question de l'audit			
Quel processus est mis en œuvre pour assurer la collecte des faits techniques, l'établissement des rapports d'anomalies, et leur traitement?			
Niveau 1	Il n'y a pas de procédure relative aux actions correctives.		
Niveau 2	Des actions correctives sont mises en œuvre sur réclamation du donneur d'ordre ou rapport de non-conformité, mais celles-ci ne sont pas formalisées.		
Niveau 3	<p>Les procédures relatives aux actions correctives comprennent au moins:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le traitement effectif des réclamations du donneur d'ordre et des rapports de non-conformité du produit, - La recherche des causes de non-conformité relatives au produit, au processus et au système qualité ainsi que l'enregistrement des résultats de cette recherche, - La détermination des actions correctives nécessaires pour éliminer les causes de non-conformité, <p>Ces procédures ne définissent pas l'application des moyens de maîtrise pour assurer que l'action corrective est mise en œuvre et qu'elle produit l'effet escompté.</p>		
Niveau 4	<p>Les procédures relatives aux actions correctives comprennent:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le traitement effectif des réclamations du donneur d'ordre et des rapports de non-conformité du produit, - La recherche des causes de non-conformité relatives au produit, au processus et au système qualité ainsi que l'enregistrement des résultats de cette recherche, - La détermination des actions correctives nécessaires pour éliminer les causes de non-conformité, - L'application des moyens de maîtrise pour assurer que l'action corrective est mise en œuvre et qu'elle produit l'effet escompté. 		

<u>Recommandation</u>	<u>Correspondance</u>	<u>N°</u>
Assurer la mise en œuvre des actions préventives.	ISO9001 : N2 EN9100 : N3	8
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		6,8
FABRICATION		15,6
INTEGRATION_EQUIPEMENT		15,6
INTEGRATION_SYSTEME		15,6
EXPLOITATION_&_MAINTENANCE		17,7
Description complémentaire		
Les procédures relatives aux actions préventives comprennent:		
- L'utilisation des sources d'informations appropriées telles que processus et opérations affectant la qualité du produit, dérogations, résultats d'audits, enregistrements relatifs à la qualité, rapports de maintenance et réclamations des donneurs d'ordre, de manière à détecter, analyser et éliminer les causes potentielles de non-conformités,		
- La détermination des étapes appropriées pour traiter tout problème nécessitant une action préventive,		
- Le déclenchement d'actions préventives et l'application de moyens de contrôle pour assurer qu'elles produisent l'effet escompté,		
- L'assurance qu'une information pertinente relative aux actions mises en œuvre est soumise à la revue de direction.		
Question de l'audit		
Les procédures relatives aux actions préventives comprennent-elles:		
- L'utilisation de sources d'informations diversifiées?		
- La détermination des étapes à mettre en œuvre?		
- Les critères de déclenchement d'actions préventives et l'application de moyens de contrôle?		
- Une revue de suivi des actions préventives?		
Niveau 1	Aucune procédure relative aux actions préventives n'est mise en œuvre.	
Niveau 2	Les procédures relatives aux actions préventives existent mais sont incomplètes.	
Niveau 3	Les procédures relatives aux actions préventives existent et sont presque complètes au regard des critères cités (possible non-conformités mineures dans l'application ou la satisfaction des critères).	
Niveau 4	Les procédures relatives aux actions préventives existent, sont formalisées et sont complètes au regard des critères cités.	

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Assurer la traçabilité du produit.	ISO9001 : N3 EN9100 : N4	9
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		16,5
INTEGRATION_SYSTEME		16,5
EXPLOITATION_&_MAINTENANCE		9,2
Description complémentaire		
Le système mis en œuvre doit permettre de:		
- maintenir l'identification du produit pendant la durée du cycle de vie,		
- connaître l'historique (dossier de définition et évolutions) ainsi que la destination (livraisons, rebut) de tous les produits fabriqués à partir d'un même lot de matière première ou issus d'un même lot de fabrication,		
- retrouver l'identité des éléments constitutifs d'un ensemble et celle de l'ensemble supérieur,		
- retrouver la documentation séquentielle sur la production (fabrication, montage, contrôle) d'un produit donné (ex.: fiche suiveuse de configuration avec enregistrement des opérations effectuées et anomalies observées).		
Le système de traçabilité doit permettre de connaître la configuration du produit prêt à être livré, y compris les écarts entre l'état réel et l'état convenu/spécifié.		
Question de l'audit		
Comment est assurée la traçabilité du produit?		
Niveau 1	Pas de traçabilité du produit au cours de son cycle de vie, le produit est distingué uniquement par son marquage.	
Niveau 2	Une traçabilité permet d'identifier le produit mais ne permet pas de connaître sa provenance et son historique.	
Niveau 3	Une traçabilité permet d'identifier et de connaître l'historique du produit (Dossier de définition et évolutions). Elle ne permet cependant pas de connaître la documentation associée (ex: pas de fiche suiveuse de configuration avec enregistrement des opérations effectuées et anomalies observées) à son cycle de vie.	
Niveau 4	Une traçabilité permet d'identifier et de connaître l'historique du produit (Dossier de définition et évolutions), y compris les composants ex: Date Code... Elle permet de connaître la documentation associée à son cycle de vie (ex: fiche suiveuse de configuration avec enregistrement des opérations effectuées et anomalies observées). Application exhaustive de la recommandation.	

Recommandation		Correspondance	N°
Assurer le conditionnement des équipements et systèmes		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	10
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			12,3
INTEGRATION_SYSTEME			12,3
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			13,8
Description complémentaire			
Les processus d'emballage, de conditionnement, et de marquage doivent être maîtrisés pour assurer la conformité aux exigences spécifiées.			
Définir une liste des matériels nécessitant un conditionnement.			
Proposer un mode de gestion des conditionnements spécifiques par produit (dates, modes, durée).			
Contrôler périodiquement la qualité des conditionnements.			
Utiliser des conditionnements appropriés et spécifiques aux produits.			
Question de l'audit			
Est-ce que le fournisseur maîtrise les processus d'emballage, de conditionnement, et de marquage pour assurer la conformité aux exigences spécifiées? Y a-t-il une liste des matériels nécessitant un conditionnement?			
Niveau 1	Le conditionnement des produits n'est pas défini, les matériaux utilisés pour ce conditionnement le sont en fonction de leur disponibilité. Les renseignements sur les dates de conditionnement, les modes de gestion, les contrôles à effectuer ne sont pas renseignés.		
Niveau 2	Un conditionnement standard pour les produits est utilisé. Des informations sur le conditionnement sont renseignées. Il n'y a pas de contrôle spécifique des conditionnements.		
Niveau 3	Un conditionnement spécifique au produit est utilisé, et une documentation y est associée. Il n'y a pas de contrôle spécifique des conditionnements.		
Niveau 4	Un conditionnement spécifique au produit est utilisé, et une documentation y est associée. Un contrôle spécifique et périodique des conditionnements est réalisé, selon une procédure formelle.		

Recommandation		Correspondance	N°
Assurer les conditions de stockage des sous-ensembles		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	11
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			10,8
INTEGRATION_SYSTEME			10,8
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			15,6
Description complémentaire			
Des aires ou des locaux de stockage désignés doivent être adaptés afin d'empêcher l'endommagement ou la détérioration du sous-ensembles.			
<ul style="list-style-type: none"> - Des mesures appropriées sont prises pour autoriser la réception dans ces aires et l'expédition à partir de celles-ci. - L'état du produit en stock doit être évalué à intervalles appropriés afin de détecter toute détérioration. - L'atmosphère de stockage doit être contrôlée. - Individualiser les positionnements en stockage. - Gérer les interventions périodiques permettant de conserver les caractéristiques du produit en stockage (mise sous tension). 			
Question de l'audit			
Y a-t-il des aires ou des locaux de stockage désignés? Sont-ils adaptés afin d'empêcher l'endommagement ou la détérioration des sous-ensembles? Des mesures appropriées sont-elles prises pour autoriser la réception et l'expédition dans ces aires?			
Niveau 1	Les aires de stockages des produits ne sont pas spécifiques, l'environnement du stockage n'est pas pris en compte.		
Niveau 2	Les aires de stockages des produits ne sont pas spécifiques, l'environnement du stockage est maîtrisé et adapté aux produits stockés.		
Niveau 3	Les aires de stockages des produits sont spécifiques. L'environnement du stockage est maîtrisé et adapté aux produits stockés. Les positions de stockages sont individualisées. Les interventions périodiques permettant de conserver les caractéristiques du produit sont effectuées.		
Niveau 4	Les aires de stockages des produits sont spécifiques. L'environnement du stockage est maîtrisé et adapté aux produits stockés. Les positions de stockages sont individualisées. Les interventions périodiques permettant de conserver les caractéristiques du produit sont effectuées. L'état des produits en stock est régulièrement contrôlé, le stock est vérifié et les conditions de stockage sont régulièrement optimisées.		

Recommandation	Correspondance	N°
Assurer les conditions de livraison des équipements et systèmes	EN9100 : N4	12
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		17,5
INTEGRATION_SYSTEME		17,5
Description complémentaire		
<p>Le fournisseur doit prendre des dispositions pour la protection de la qualité du produit après les contrôles et essais finaux. Lorsque cela est spécifié contractuellement, cette protection est-elle étendue pour inclure la livraison à destination.</p> <p>Le fournisseur s'assure au moment de la livraison de la présence de la documentation d'accompagnement relative au produit telle que spécifiée à la commande et qu'elle soit protégée contre la perte et la détérioration.</p>		
Question de l'audit		
<p>Est-ce que le fournisseur prend des dispositions pour le maintien de la qualité du produit après les contrôles et essais finaux? Lorsque cela est spécifié contractuellement, ce maintien est- il étendu pour inclure la livraison à destination?</p>		
Niveau 1	Les protections d'usage des produits lors de la livraison ne sont pas mises en œuvre.	
Niveau 2	Des protections de la qualité du produit lors de la livraison au donneur d'ordre sont mises en œuvre. Le fournisseur ne s'assure pas de la présence des documents d'accompagnement.	
Niveau 3	Des protections de la qualité du produit lors de la livraison au donneur d'ordre sont mises en œuvre. Le fournisseur s'assure de la présence des documents d'accompagnement, mais ne les protège pas contre perte et la détérioration.	
Niveau 4	Des protections de la qualité du produit lors de la livraison au donneur d'ordre sont mises en œuvre. Le fournisseur s'assure de la présence des documents d'accompagnement du produit telle que spécifiée dans la commande, et qu'ils soient protégés contre la perte et la détérioration.	

Recommandation		Correspondance	N°
Valider les contrôles et essais requis avant passage à la phase suivante.		EN9100 : N4	13
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			7,2
INTEGRATION_SYSTEME			7,2
EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE			11,2
Description complémentaire			
<p>Au cours de la phase, le produit doit être contrôlé et doit faire l'objet d'essais conformément au plan qualité et/ou aux procédures écrites.</p> <p>Le produit doit rester bloqué jusqu'à ce que les contrôles et les essais requis soient terminés ou que les rapports nécessaires soient reçus et vérifiés.</p> <p>Des actions correctives doivent être menées le cas échéant.</p>			
Question de l'audit			
Comment sont validés les contrôles et essais prévus au cours d'une phase, avant passage à la phase suivante ?			
Niveau 1	Il n'existe pas de validation des résultats des contrôles et essais avant passage à la phase suivante.		
Niveau 2	Une validation des résultats de contrôle et essais est réalisée avant passage à la phase suivante, mais celle-ci n'est pas formalisée sous forme de procédure écrite ou de plan qualité.		
Niveau 3	<p>Une validation des résultats de contrôle et essais est réalisée avant passage à la phase suivante.</p> <p>Cette validation est décrite dans une procédure écrite.</p>		
Niveau 4	<p>Une validation des résultats de contrôle et essais est réalisée avant passage à la phase suivante.</p> <p>Cette validation est décrite dans une procédure écrite, validée par la qualité.</p> <p>La procédure est effectivement appliquée, et des actions correctives sont issues de ces contrôles, le cas échéant.</p>		

Recommandation		Correspondance	N°
Assurer la réalisation des contrôles et essais finaux.		EN9100 : N4	14
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			7,9
INTEGRATION_SYSTEME			7,9
EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE			10,4
Description complémentaire			
<p>Le plan de contrôle doit comporter un chapitre contrôle et tests finaux, dans lequel le matériel, les conditions générales et les références des procédures associées sont décrites. Les critères d'acceptation et les exigences spécifiques produits doivent y être détaillés.</p> <p>Ces contrôles doivent être basés sur une analyse de l'historique des défauts rencontrés et des retours clients (exemple: AMDEC)</p> <p>Par ailleurs, il est important qu'un inspecteur indépendant s'assure avant l'expédition que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - toutes les activités spécifiées dans le plan de contrôle ont été accomplies de façon satisfaisante, - les données et la documentation associées sont disponibles et acceptées. 			
Question de l'audit			
Comment s'assure-t-on que tous les contrôles et essais finaux sont réalisés conformément au plan de contrôle et aux procédures écrites?			
Niveau 1	Pas de contrôle ou d'essais finaux.		
Niveau 2	Des contrôles et essais finaux sont réalisés, mais ceux-ci ne sont pas décrits dans des procédures adaptées au produit testé.		
Niveau 3	Des contrôles et essais finaux sont réalisés conformément au plan de contrôle et aux procédures écrites, et adaptés aux produits testés. L'application de ces contrôles et essais n'est pas vérifiée ni validée.		
Niveau 4	<p>Des contrôles et essais finaux sont réalisés conformément au plan de contrôle et aux procédures écrites.</p> <p>Le plan de contrôle est complet et basé sur l'expérience et l'étude des défauts rencontrés (AMDEC).</p> <p>Avant l'expédition, les points suivants sont contrôlés par un inspecteur indépendant:</p> <ul style="list-style-type: none"> - toutes les activités spécifiées dans le plan de contrôle ont été accomplies de façon satisfaisante, - les données et la documentation associées sont disponibles et acceptées (document du type fiche suiveuse qui enregistre la configuration, les opérations effectuées et les anomalies observées). 		

Recommandation Assurer les contrôles et essais propres à la réception des matériaux et pièces.	Correspondance EN9100 : N4	N° 15
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		6,7
INTEGRATION_SYSTEME		6,7
Description complémentaire <p>S'assurer que les matériaux et pièces achetées ne sont ni utilisés, ni mis en œuvre tant qu'ils n'ont pas été contrôlés ou tant que leur conformité aux exigences spécifiées n'a pas été vérifiée d'une autre manière.</p> <p>La vérification de la conformité aux exigences spécifiées doit être effectuée conformément au plan qualité et/ou aux procédures écrites.</p> <p>Les contrôles effectués dans les locaux des sous-contractants et les preuves de conformité fournies doivent être pris en compte pour la détermination de l'importance et de la nature des contrôles à effectuer à la réception.</p> <p>Lorsque pour des raisons d'urgence, le produit entrant est libéré avant d'être vérifié, celui-ci doit être identifié et cette libération enregistrée.</p>		
Question de l'audit <p>Est-ce que tout matériau ou pièce entrant est soumis aux contrôles et essais adaptés avant utilisation selon une spécification ?</p>		
Niveau 1	Pas de contrôle ou d'essais à la réception.	
Niveau 2	Des contrôles ou essais sont effectués à la réception, mais aucune procédure spécifique à ces actions n'est décrite.	
Niveau 3	La vérification de la conformité aux exigences spécifiées est effectuée conformément à un plan qualité (ou plan de contrôle) et/ou à des procédures écrites. Il n'y a pas de suivi des produits entrés sans contrôles en cas d'urgence.	
Niveau 4	<p>La vérification de la conformité aux exigences spécifiées est effectuée conformément à un plan qualité et/ou à des procédures écrites.</p> <p>Les contrôles effectués dans les locaux des sous-contractants et les preuves de conformité fournies sont pris en compte pour la détermination de l'importance et de la nature des contrôles à effectuer à la réception.</p> <p>Lorsque, pour des raisons d'urgence, le produit entrant est libéré avant d'être vérifié, il est identifié et cette libération enregistrée.</p>	

Recommandation Assurer l'intervention à chaque étape d'un responsable soutien logistique, industrialisation, achat, développeur et FMDS (ingénierie simultanée).		Correspondance	N° 16
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION			Poids 16,7
Description complémentaire Assurer l'intervention à chaque étape d'un responsable soutien logistique, industrialisation, achat, développeur et FMDS. S'assurer que le référentiel utilisé impose l'ingénierie simultanée : organisation de l'entreprise s'appuie sur des spécialistes permanents de la fonction.			
Question de l'audit Le point de vue des différentes disciplines intervenant dans l'ingénierie est-il pris en compte ?			
Niveau 1	Le référentiel n'impose pas l'ingénierie simultanée.		
Niveau 2	Existence d'une instruction globale ne précisant pas les modalités. Pas d'organisation formelle.		
Niveau 3	Existence d'une procédure imposant l'ingénierie simultanée mais non adaptée à l'organisation de l'entreprise: les postes responsables soutien logistique, industrialisation, achat, développeur et FMDS sont alloués indépendamment de leurs métiers.		
Niveau 4	Existence d'une procédure imposant l'ingénierie simultanée. L'organisation de l'entreprise s'appuie sur des spécialistes permanents de la fonction.		

Recommandation		Correspondance	N°
Assurer un contrôle continu de l'environnement (propreté, température, humidité) pour les opérations de fabrication sensibles		ISO9001 : N2 EN9100 : N3	17
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			9,9
Description complémentaire			
Plusieurs étapes du procédé de fabrication des cartes et sous-ensemble sont sensibles aux facteurs taux de particules, température, taux d'humidité de l'environnement de fabrication. Ce sont particulièrement les procédés suivants (liste non exhaustive): <ul style="list-style-type: none"> - brasage - collage - underfill - vernissage Ces facteurs d'influence doivent être contrôlés et enregistrés en continu, ou périodiquement, afin d'assurer la reproductibilité des performances du produit.			
Question de l'audit			
Y a-t-il un contrôle continu de l'environnement pour les opérations de fabrication sensibles (Propreté, Température, Humidité)?			
Niveau 1	Certains paramètres d'environnement des étapes de process sensibles ne pas sont contrôlées, ou de façon insuffisamment régulière.		
Niveau 2	Les paramètres d'environnement des étapes de process sensibles sont contrôlées en continu, mais ce contrôle ne fait pas l'objet d'une spécification formelle ou n'a pas fait l'objet d'une étude de criticité vis à vis la fiabilité de la carte ou sous-ensemble.		
Niveau 3	Les paramètres d'environnement des étapes de process sensibles sont contrôlés en continu, et ce contrôle fait l'objet d'une spécification formelle basée sur une étude de criticité vis à vis la fiabilité de la carte ou sous-ensemble. Cependant, la spécification n'a pas été validée par une autorité indépendante.		
Niveau 4	Les paramètres d'environnement des étapes de process sensibles sont contrôlés en continu, et ce contrôle fait l'objet d'une spécification formelle basée sur une étude de criticité vis à vis la fiabilité de la carte ou sous-ensemble. La spécification et l'étude de criticité ont été validées par une autorité indépendante.		

Recommandation	Correspondance	N°
Assurer une maintenance corrective suite à l'apparition d'une anomalie sur les moyens de production.	ISO9001 : N2 EN9100 : N3	18
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		6,9
INTEGRATION_EQUIPEMENT		6,9
Description complémentaire		
<p>Appliquées aux anomalies des moyens de production et des sous-ensembles, les procédures de maintenance corrective se déclinent en :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La détermination des causes de l'anomalie, par constitution d'une équipe pluridisciplinaire - La décision d'actions correctives précisant les responsables d'actions et les délais de réalisation, - Le contrôle de la réalisation des actions correctives et de leur efficacité - La mise à jour du chapitre AMDEC Process (PFMEA) associé et du Plan de Contrôle, le cas échéant - La mise à jour du plan de maintenance machines si nécessaire. <p>Ces actions sont souvent standardisées dans un procédé appelé "8D" dont le service Qualité a la charge du bon déroulement.</p>		
Question de l'audit		
Y a-t-il une maintenance corrective suite à l'apparition d'une anomalie sur les moyens de production ou les sous-ensembles produits?		
Niveau 1	Il n'existe pas de maintenance corrective suite à l'apparition d'une anomalie sur un moyen de production ou sur un sous-ensemble (non systématique)	
Niveau 2	Des actions correctives sont appliquées directement là où l'anomalie a été constatée sans qu'un plan de maintenance corrective ne soit mis en place.	
Niveau 3	De réelles actions de maintenance relative aux actions correctives, suite à des anomalies de production, sont mises en œuvre. Elles font l'objet d'une procédure de maintenance corrective formalisée, mais non validée par une autorité indépendante de l'exécutant.	
Niveau 4	<p>De réelles procédures de maintenance relatives aux actions correctives, suite à des anomalies de production, sont mises en œuvre. Elles font l'objet d'une procédure de maintenance corrective formalisée qui a été validée par une autorité indépendante de l'exécutant.</p> <p>Cette procédure décrit les étapes identification anomalie, détermination cause, actions corrections et préventives associées, vérification efficacité correction, audit interne éventuel.</p>	

Recommandation	Correspondance	N°
Maitriser les temps de travail limites des matériaux transformables (à durée de vie limitée)		19
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		4,0
INTEGRATION_EQUIPEMENT		4,0
Description complémentaire Plusieurs matériaux possèdent un temps de travail après retrait du magasin, ou après préparation (colle, crème à braser, vernis, ...). Il est impératif que ces matériaux soient retirés de la production avant dépassement de ce temps limite, et remplacés par des lots conformes. Ces durées de temps de travail sont basées sur des recommandations fabricant, et peuvent être réduites compte tenu de l'expérience en production. Ce contrôle s'effectue par lecture de cette data limite sur une étiquette dédiée, et/ou par le système qui alerte l'opérateur, voire stoppe la machine.		
Question de l'audit		
Le contrôle des temps de travail des matériaux transformables est-il efficace?		
Niveau 1	Les temps de travail des matériaux transformables ne sont pas clairement sous-contrôle.	
Niveau 2	Les temps de travail des matériaux transformables font l'objet d'un contrôle, mais il n'existe pas de document ou chapitre clair le décrivant.	
Niveau 3	Les temps de travail des matériaux transformables font l'objet d'un contrôle. Des documents, et/ou chapitres des instructions, définissent clairement la procédure à suivre pour chaque matériau concerné. Des étiquettes dédiées indiquent les dates limites pour chaque lot. Mais il n'existe pas d'alerte automatique de l'opérateur lui indiquant de changer de lot.	
Niveau 4	Les temps de travail des matériaux transformables font l'objet d'un contrôle. Des documents, et/ou chapitres des instructions, définissent clairement la procédure à suivre pour chaque matériau concerné. Des étiquettes dédiées indiquent les dates limites pour chaque lot. De plus, ces dates sont introduites dans le système afin d'alerter l'opérateur avant changement de lot.	

Recommandation		Correspondance	N°
Assurer une politique de maîtrise des risques associés aux non-conformités.		ISO9001 : N3 EN9100 : N4	20
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
EXPLOITATION_ &_ MAINTENANCE			16,3
Description complémentaire			
Il est appliqué une politique visant à identifier, évaluer et gérer les risques potentiels associés aux non-conformités, non seulement sur les produits mais aussi sur l'ensemble des procédés de conception, de planification, de fabrication, de montage, de contrôle, etc. Cette politique doit prendre en compte les risques potentiels associés aux facteurs humains.			
Question de l'audit			
Applique-t-on une politique visant à identifier, évaluer et gérer les risques potentiels associés aux non-conformités, sur les produits mais aussi sur l'ensemble des procédés de conception, de planification, de fabrication, de montage, de contrôle, etc. ?			
Niveau 1	Il n'est pas appliqué de politique visant à évaluer les risques de non-conformité.		
Niveau 2	Une politique visant à identifier, évaluer et gérer les risques potentiels associés aux non-conformités est appliquée uniquement sur les produits. Cette politique n'est pas appliquée sur l'ensemble des procédés de conception, de planification, de fabrication, de montage, de contrôle, etc.		
Niveau 3	Une politique visant à identifier, évaluer et gérer les risques potentiels associés aux non-conformités, est appliquée non seulement sur les produits mais aussi sur l'ensemble des procédés de conception, de planification, de fabrication, de montage, de contrôle, etc. Cette politique ne prend pas en compte les risques potentiels associés aux facteurs humains.		
Niveau 4	Une politique visant à identifier, évaluer et gérer les risques potentiels associés aux non-conformités, est appliquée non seulement sur les produits mais aussi sur l'ensemble des procédés de conception, de planification, de fabrication, de montage, de contrôle, etc. Cette politique prend en compte les risques potentiels associés aux facteurs humains.		

Recommandation		Correspondance	N°
Vérifier périodiquement les moyens de programmation des logiciels embarqués.			21
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			4,1
INTEGRATION_EQUIPEMENT			4,1
Description complémentaire			
Cette vérification, réalisée par l'utilisateur du moyen de programmation (exemples : sonde JTAG, cartes de programmation, ...), doit assurer que le bon logiciel est chargé ou que la configuration est correcte.			
La fréquence des vérifications doit être spécifiée, sur la base d'une analyse de risque.			
Question de l'audit			
Y a-t-il une vérification périodique des moyens de programmation des logiciels embarqués afin que l'opération de chargement du logiciel soit correctement effectuée?			
Niveau 1	Il n'existe pas de vérification périodique des moyens de programmation qui servent au chargement logiciel.		
Niveau 2	Un certain nombre de vérifications des moyens de programmation sont effectuées. Ces vérifications sont succinctes et ne tiennent pas forcément compte de toutes les règles de chargement logiciel. Il n'y a pas de formalisation claire du déroulement ou des limites de ces vérifications.		
Niveau 3	Une planification des vérifications des moyens de programmation a fait l'objet d'une étude, cette planification est respectée et l'ensemble des points vérifiés (ainsi que la manière de procéder) fait l'objet d'un document écrit.		
Niveau 4	Une planification stricte des vérifications des moyens de programmation a fait l'objet d'une étude, cette planification est respectée et l'ensemble des points vérifiés (ainsi que la manière de procéder) fait l'objet d'un document écrit. Ce document a été réalisé en tenant compte de l'ensemble du processus de chargement logiciel et a été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation Automatiser les manipulations pour limiter les dégradations possibles sur les composants, cartes et sous-ensembles.	Correspondance EN9100 : N2	N° 23
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION INTEGRATION_EQUIPEMENT		Poids 6,5 6,5
Description complémentaire Il faut s'appliquer à avoir le minimum de manipulations des composant, cartes et sous-ensembles durant la phase de production afin de limiter les risques de chocs mécaniques, de contamination, et autres overstress. De plus, l'automatisation des manipulations entre les activités durant l'ensemble de la production permet de s'affranchir d'un grand nombre de défaillances causées par l'intervention humaine. Cette recommandation est aussi applicable aux très petites séries. Au-delà de l'utilisation de robots, ce risque est traité au travers de l'emploi de magasins, de chariots, d'outils manipulateurs à dépression...		
Question de l'audit La production et la manipulation des composants, cartes et sous-ensembles sont-elles automatisées (partiellement ou totalement) ?		
Niveau 1 Aucune manipulation des composants, cartes et sous-ensembles n'est automatisée.		
Niveau 2 Un certain nombre de manipulations des composants, cartes et sous-ensembles a été automatisé.		
Niveau 3 Les manipulations des composants, cartes et sous-ensembles sont automatisées au maximum. Le niveau d'automatisation a fait l'objet d'une étude de faisabilité et de résultat. L'ensemble est formalisé bien que l'étude n'est pas été validée par une autorité indépendante de l'exécutant.		
Niveau 4 Les manipulations des composants, cartes et sous-ensembles sont automatisées au maximum. Le niveau d'automatisation a fait l'objet d'une étude de faisabilité et de résultat. L'ensemble est formalisé suivant une étude validée par une autorité indépendante de la production.		

Recommandation		Correspondance	N°
Collecter les observations du donneur d'ordre relatives à la fiabilité du produit en fonctionnement opérationnel.		ISO9001 : N4 EN9100 : N4	24
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			7,9
Description complémentaire			
Collecter auprès des donneurs d'ordre et utilisateurs du produit les informations relatives à sa fiabilité dans l'environnement opérationnel et mener les plans d'actions associés.			
Question de l'audit			
Est-ce qu'une collecte des observations du client relatives à la fiabilité du produit en fonctionnement opérationnel est prévue?			
Niveau 1	Aucune information relative à la perception de la fiabilité du produit par le donneur d'ordre n'est disponible.		
Niveau 2	Quelques informations relatives à la perception de la fiabilité du produit par le donneur d'ordre sont disponibles.		
Niveau 3	Des enquêtes de satisfaction du donneur d'ordre, où l'aspect fiabilité est traité, ont été menées.		
Niveau 4	Des enquêtes de satisfaction du donneur d'ordre, où l'aspect fiabilité est traité, ont été menées ; des plans d'actions visant à améliorer la fiabilité ont été mis en œuvre et les résultats ont été constatés par le donneur d'ordre.		

Recommandation		Correspondance	N°
Contrôler et maintenir (par une mise à jour) les données chargées dans les moyens de production programmables.			25
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			2,8
INTEGRATION_EQUIPEMENT			2,8
Description complémentaire			
Dans le cadre de l'automatisation des tâches, pour un déroulement fiable des activités il est indispensable de suivre spécifiquement et de maintenir (mise à jour) les références (coordonnées, numéros de lots, etc) chargées dans les outils de production programmables.			
Question de l'audit			
Les données chargées dans les moyens de production programmables sont-elles gérées?			
Niveau 1	Il n'existe aucun contrôle du maintien des données de programmation au sein des moyens de production programmables.		
Niveau 2	Un contrôle et/ou un maintien des paramètres chargés dans les moyens de production programmables est réalisé mais il n'existe pas de formalisation des actions à effectuer pour garantir ce maintien.		
Niveau 3	Un contrôle et un maintien des données programmées dans les moyens de production est effectué, suivant un formalisme identifié (document, procédures de contrôle, procédure de mise à jour).		
Niveau 4	Un contrôle et un maintien des données programmées dans les moyens de production est effectué, suivant un formalisme identifié (document, procédures de contrôle, procédure de mise à jour). L'ensemble des documents a été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation	Correspondance	N°
Décrire complètement l'environnement dans lequel le produit va être utilisé et maintenu.	ISO9001 : N4 EN9100 : N4	26
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SPECIFICATION		12,4
Description complémentaire L'environnement dans lequel le produit va être stocké, transporté, utilisé et maintenu est décrit. Les paramètres ci-dessous sont caractérisés par leur valeur moyenne et maximale : <ul style="list-style-type: none"> - Température - Humidité - Chocs - Vibrations - Pression - Pénétration/abrasion - Lumière ambiante - Position de montage - Climat (vent, pluie, neige) - Niveau de qualification des opérateurs. Le cas échéant, des préconisations sont faites pour le stockage, le transport, l'utilisation et la maintenance du produit.		
Question de l'audit Y a-t-il une description et une caractérisation de l'environnement dans lequel le produit va être stocké, transporté, utilisé et maintenu ? Le cas échéant, y-a-t-il des préconisations pour le stockage, le transport, l'utilisation et la maintenance ?		
Niveau 1	L'environnement du produit n'est pas (ou pratiquement pas) connu. Aucune analyse formelle n'a été menée par l'industriel.	
Niveau 2	L'environnement du produit est partiellement connu (les paramètres listés dans la description complémentaire sont partiellement connus). L'analyse de cet environnement et les préconisations en découlant n'ont pas été formalisées.	
Niveau 3	L'environnement du produit est partiellement connu (les paramètres listés dans la description complémentaire sont partiellement connus). L'analyse de cet environnement et les préconisations en découlant n'ont pas été formalisées.	
Niveau 4	L'environnement du produit est parfaitement connu (les paramètres listés dans la description complémentaire sont connus). Un document formalise l'analyse et les préconisations en découlant.	

Recommandation		Correspondance	N°
Définir les critères de défaillance du produit.			28
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SPECIFICATION			10,3
CONCEPTION			14
Description complémentaire			
Les critères de défaillance du produit sont précisément décrits. Lorsqu'il y en a : - Les modes dégradés tolérés sont décrits et validés ; - Les redondances sont valorisées. Ce travail peut conduire, par exemple, au calcul d'un MTBCF (Mean Time Between Critical Failures).			
Question de l'audit			
Qu'est-ce qui est considéré comme une défaillance du produit ?			
Niveau 1	La défaillance du produit (modes dégradés acceptables et redondances valorisables) n'est pas définie.		
Niveau 2	La défaillance du produit (modes dégradés acceptables et redondances valorisables) est définie par l'industriel, sans validation du donneur d'ordre.		
Niveau 3	La défaillance du produit (modes dégradés acceptables et redondances valorisables) est définie par l'industriel puis validée par le donneur d'ordre.		
Niveau 4	La défaillance du produit (modes dégradés acceptables et redondances valorisables) est définie par l'industriel puis validée par le donneur d'ordre. La défaillance du produit est spécifiée dans les documents adéquats : documents de conception et plan de fiabilité.		

Recommandation		Correspondance	N°
Définir la méthode de démonstration de la fiabilité en exploitation.			29
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SPECIFICATION			8,1
Description complémentaire			
Définir, et valider avec le donneur d'ordre, la méthode qui sera utilisée pour démontrer la conformité à l'exigence quantitative de fiabilité. En général, cette méthode passe s'appuie sur l'analyse du retour d'expérience ou sur un essai de démonstration de fiabilité.			
Question de l'audit			
Comment envisage-t-on la démonstration de la fiabilité du produit ?			
Niveau 1	La méthode de démonstration de la fiabilité n'est pas décrite dans l'appel d'offre ou le contrat.		
Niveau 2	L'appel d'offre ou le contrat exige une démonstration de fiabilité sans préciser la méthode.		
Niveau 3	L'appel d'offre ou le contrat exige une démonstration de fiabilité mais la méthode à employer n'est que partiellement décrite.		
Niveau 4	La méthode de démonstration de fiabilité est parfaitement définie dans l'appel d'offre ou le contrat.		

Recommandation Définir le degré de non-conformité.	Correspondance ISO9001 : N2 EN9100 : N3	N° 30
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable INTEGRATION_EQUIPEMENT INTEGRATION_SYSTEME EXPLOITATION_&_MAINTENANCE		Poids 10,3 10,3 12,8
Description complémentaire La description de la non-conformité acceptée ou des réparations effectuées est enregistrée pour indiquer l'état réel du produit. Des procédures écrites sont tenues à jour définissant au minimum: - Le processus de classification des non-conformités et la maîtrise de l'utilisation des composants non conformes dans les produits finis, - Le processus formel d'autorisation et le domaine d'application pour le personnel autorisant l'emploi de matériaux de remplacement et/ou de produits non conformes (procédures de dérogation), - Le processus pour la maîtrise des pièces rebutées.		
Question de l'audit La description de la non-conformité acceptée ou des réparations effectuées est-elle enregistrée pour indiquer l'état réel du produit?		
Niveau 1	Il n'est pas prévu d'indication du degré de non-conformité du produit.	
Niveau 2	L'indication du degré de non-conformité des produits n'est mise en œuvre qu'à titre indicatif, elle n'a pas pour objet la décision quant à l'emploi de matériel non conforme.	
Niveau 3	La description de la non-conformité acceptée ou des réparations effectuées est enregistrée pour indiquer l'état réel du produit. Des procédures écrites définissent le processus de classification des non-conformités et la maîtrise de l'utilisation des composants non conformes dans les produits finis. Le processus d'autorisation pour le personnel à utiliser des matériaux de remplacement et/ou des produits non conformes n'est pas formalisé.	
Niveau 4	La description de la non-conformité acceptée ou des réparations effectuées est enregistrée pour indiquer l'état réel du produit. Des procédures écrites définissent: - Le processus de classification des non-conformités et la maîtrise de l'utilisation des composants non conformes dans les produits finis. - Le processus d'autorisation pour le personnel à utiliser des matériaux de remplacement et/ou des produits non conformes n'est pas formalisé. - Le processus pour la maîtrise des pièces rebutées.	

Recommandation Définir le profil de vie du produit, pour lequel les performances de fiabilité sont attendues.	Correspondance	N° 31
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable SPECIFICATION		Poids 9,9
Description complémentaire Le profil de vie du produit (découpage en scénarios opérationnels pour lequel les performances de fiabilité sont attendues) est complètement défini. Il existe une description des phases successives d'utilisation du produit (durée de la phase et caractéristiques environnementales). Cette description devra au minimum inclure : <ul style="list-style-type: none"> - Les phases de stockage (non-fonctionnement, environnement protégé, peu de variation de température, hygrométrie contrôlée, etc.), - Les phases de non-fonctionnement (le produit pouvant être dans son environnement opérationnel), - Les phases de fonctionnement opérationnel (ex. : vol, roulage, navigation, etc.). Le profil de vie peut-être raffiné au cours du développement.		
Question de l'audit Est-ce que le profil de vie du produit, pour lequel les performances de fiabilité sont attendues, est défini ?		
Niveau 1	Le profil de vie n'est pas défini.	
Niveau 2	Le profil de vie n'est pas fourni dans le cahier des charges (contrat), mais a été défini complètement ou partiellement par l'industriel sans validation du donneur d'ordre.	
Niveau 3	Le profil de vie est fourni dans le cahier des charges (contrat), satisfait partiellement à la recommandation ou a été défini partiellement par l'industriel et validé formellement par le donneur d'ordre.	
Niveau 4	Le profil de vie est fourni dans le cahier des charges (contrat), satisfait à la recommandation ou a été défini complètement par l'industriel et validé formellement par le donneur d'ordre.	

<u>Recommandation</u> Définir les moyens nécessaires au contrôle et essai du produit.	<u>Correspondance</u> ISO9001 : N4 EN9100 : N4	<u>N°</u> 32
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable INTEGRATION_EQUIPEMENT INTEGRATION_SYSTEME EXPLOITATION_&_MAINTENANCE	Poids 11,6 11,6 14,3	
Description complémentaire Les procédures de contrôle et d'essai du produit doivent spécifier les ressources (hommes, moyens), les méthodes à mettre en oeuvre, les critères d'acceptation, et les méthodes d'enregistrement des résultats. Ces procédures doivent également définir la formation et si nécessaire, exiger la qualification des opérateurs.		
Question de l'audit Quelle procédure définit les moyens nécessaires aux contrôles et essais du produit?		
Niveau 1	Aucune procédure de contrôle ou d'essai des produits n'est spécifiée, pas de description des méthodes et critères d'acceptation.	
Niveau 2	Les procédures de contrôle ou d'essai des produits sont spécifiées. Les méthodes et critères d'acceptation sont décrits. Les résultats ne sont pas conservés.	
Niveau 3	Les procédures de contrôle ou d'essai des produits sont spécifiées. Les méthodes et critères d'acceptation sont décrits. Les résultats ne sont pas enregistrés et utilisés comme retour d'expérience. Les procédures décrivent également la formation et la qualification des opérateurs.	
Niveau 4	Les procédures de contrôle ou d'essai des produits sont spécifiées. Les méthodes et critères d'acceptation sont décrits. Les résultats sont enregistrés et utilisés comme retour d'expérience. Les procédures décrivent également la formation et la qualification des opérateurs.	

Recommandation Déléguer le contrôle final des principaux procédés, afin d'optimiser le filtrage avant poursuite dans le processus.	Correspondance	N° 33
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION		Poids 10,0
Description complémentaire Un contrôle croisé assure un filtrage des non-conformités avant poursuite du sous-ensemble dans le processus de production. Il peut être réalisé par un inspecteur qualité ou par un technicien formé à cette fonction. Ce contrôle concerne particulièrement les procédés de brasage composants, de vernissage carte, de collage, de marquage et de test électrique. Ces contrôles s'accompagnent généralement du renseignement de la fiche suiveuse afin de tracer l'ensemble des opérations conformément au plan de contrôle.		
Question de l'audit Un contrôle qualité est-il réalisé par une autre personne que l'opérateur, lors des principales étapes de fabrication?		
Niveau 1	Il n'existe pas de contrôle qualité de certains procédés majeurs, effectué par une personne autre que l'opérateur.	
Niveau 2	Une personne autre que l'opérateur réalise le contrôle qualité des procédés majeurs, mais ce contrôle ne repose sur aucun document formel en décrivant la procédure.	
Niveau 3	Une personne autre que l'opérateur réalise le contrôle qualité des procédés majeurs. Ce contrôle s'effectue suivant une procédure formalisée mais ce document n'a pas été validé par une autorité indépendante.	
Niveau 4	Une personne autre que l'opérateur réalise le contrôle qualité des procédés majeurs. Ce contrôle s'effectue suivant une procédure formalisée par un document qui a été validé par une autorité indépendante. Ces contrôles croisés sont enregistrés dans la fiche suiveuse du lot.	

Recommandation	Correspondance	N°
Disposer de personnel qualifié vis-à-vis des moyens d'essai, mesures et normes afférentes.	ISO9001 : N4 EN9100 : N4	34
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		5,8
Description complémentaire		
Mettre en place des formations pour que le personnel ait la maîtrise des moyens d'essai, des normes et interprétation des mesures : formation prévue et suivi des compétences assuré.		
Question de l'audit		
Quelles formations le personnel en charge des essais a-t-il suivi pour être qualifié vis-à-vis des moyens d'essai, mesures et normes afférentes ?		
Niveau 1	Pas de formation ou de suivi des compétence sur ces points.	
Niveau 2	Existence de formation mais non suivies, pas d'individualisation des formations.	
Niveau 3	Formation suivies de façon individuelle.	
Niveau 4	Formation suivie de façon individuelle avec mise à jour.	

Recommandation	Correspondance	N°
Disposer des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures sous-ensembles		35
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		8,8
INTEGRATION_SYSTEME		8,8
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE		9,9
Description complémentaire		
<p>Les documents d'achat doivent comprendre lorsque cela est applicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le type, la catégorie et toute autre identification précise - le titre ou toute autre identification formelle et l'édition applicable des spécifications, plans, exigences, en matière de processus, instructions de contrôle et autres données techniques pertinentes, - le titre, l'identifiant et l'édition de la norme de système qualité à appliquer, - les documents d'achat revus et approuvés avant diffusion en ce qui concerne leur adéquation par rapport aux exigences. <p>Les exigences d'approvisionnement documentées doivent comprendre lorsque cela est applicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les essais, examens, contrôles et conditions d'acceptation du donneur d'ordre et toute instruction ou exigences afférentes, - les exigences relatives aux spécimens (méthode de production, nombre, conditions de stockage) pour les contrôles enquêtes ou audits, - les exigences relatives à la notification des anomalies, aux évolutions de définition et à l'approbation de leur traitement. <p>Les exigences du donneur d'ordre doivent être déclinées vers les fournisseurs.</p>		
Question de l'audit		
Y a-t-il des documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures?		
Niveau 1	Pas de documentations spécifiques au contrôle d'entrée des fournitures.	
Niveau 2	Les seuls documents permettant le contrôle d'entrée des fournitures sont des documents d'identification du produit.	
Niveau 3	Les documents d'achat comprennent une identification précise, l'édition applicable des spécifications, plans, exigences, en matière de processus, instructions de contrôle et autres données techniques pertinentes, le titre, l'identifiant et l'édition de la norme de système qualité à appliquer, les documents d'achat revus et approuvés avant diffusion en ce qui concerne leur adéquation par rapport aux exigences.	
Niveau 4	<p>Les documents d'achat comprennent une identification précise, l'édition applicable des spécifications, plans, exigences, en matière de processus, instructions de contrôle et autres données techniques pertinentes, le titre, l'identifiant et l'édition de la norme de système qualité à appliquer, les documents d'achat revus et approuvés avant diffusion en ce qui concerne leur adéquation par rapport aux exigences.</p> <p>Les exigences d'approvisionnement documentées comprennent également:</p> <p>Les essais, examens, contrôles et condition d'acceptation du donneur d'ordre et toute instruction ou exigences afférentes, les exigences relatives aux spécimens (méthode de production, nombre, conditions de stockage) pour les contrôles enquêtes ou audits, les exigences relatives à la notification des anomalies, aux évolutions de définition et à l'approbation de leur traitement.</p> <p>Déclinaison vers les fournisseurs des exigences du donneur d'ordre.</p>	

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Réaliser une étude technique préliminaire de fiabilité.		36
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		8
Description complémentaire		
Réaliser une étude préliminaire de fiabilité durant les phases préliminaires du développement. Cette étude préliminaire permet de décliner les exigences de fiabilité aux sous-ensembles. Les exigences sont formalisées dans les spécifications des sous-ensembles. Une directive impose la formalisation de l'étude préliminaire et des exigences.		
Question de l'audit		
Une étude préliminaire de fiabilité est-elle conduite durant les phases préliminaires du développement ?		
Niveau 1	Il n'y a pas d'étude préliminaire de fiabilité.	
Niveau 2	Une étude préliminaire est réalisée mais non formalisée.	
Niveau 3	Une étude préliminaire est formalisée. Les exigences de fiabilité ne sont pas déclinées aux sous-ensembles.	
Niveau 4	Une étude préliminaire est formalisée. Les exigences de fiabilité sont déclinées aux sous-ensembles et formalisées dans les spécifications de sous-ensembles.	

Recommandation	Correspondance	N°
S'assurer que les opérateurs et techniciens en charge des opérations sensibles sont formés et suffisamment expérimentés.	ISO9001 : N3 EN9100 : N3	37
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		12,0
INTEGRATION_EQUIPEMENT		12,0
INTEGRATION_SYSTEME		11,0
Description complémentaire		
<p>Certaines étapes du process de fabrication réclament un niveau de formation-expérience particulier.</p> <p>En effet certains stress peuvent défiabiliser les équipements sans que les contrôles qualité ou le test final puissent le révéler.</p> <p>Il s'agit par exemple des étapes de polymérisation ou de séchage, pour lesquelles la température max et durée doivent être maîtrisées.</p> <p>Ou de brasage des composants sur carte (notamment sérigraphie)</p> <p>ou de contrôle RX des cartes</p> <p>Ou d'inspection qualité (critères d'acceptation)</p> <p>Ou du test électrique pour lequel la prévention aux ESD doit être particulièrement bien appliquée, etc...</p> <p>Un plan de formation et de certification doit couvrir ce besoin.</p> <p>Des enregistrements attestent de ces formations.</p>		
Question de l'audit		
Est-ce que les procédés de fabrication sensibles sont confiés à un personnel formé et expérimenté?		
Niveau 1	Il n'existe pas de preuve de la formation des employés en charge des opérations sensibles pouvant défiabiliser l'équipement.	
Niveau 2	Les opérateurs effectuant les opérations sensibles sont expérimentés. Mais ils n'ont pas suivi de formation spécifique pour celles-ci.	
Niveau 3	Les opérateurs effectuant les opérations sensibles sont expérimentés et ont suivi une formation spécifique à ces procédés. Cette formation ne fait pas l'objet de validation indépendante et tracée.	
Niveau 4	Les opérateurs effectuant les opérations sensibles sont expérimentés et ont suivi une formation spécifique à ces procédés. Cette formation a fait l'objet d'une validation indépendante et est tracée.	

Recommandation Disposer d'une capitalisation du savoir-faire par des procédures métiers.	Correspondance	N° 38
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 13,8
Description complémentaire Disposer d'une capitalisation du savoir-faire et de l'application des normes techniques par des procédures métiers (informations capitalisant le savoir-faire du concepteur : guidelines, checklists, processus, modes opératoires, etc.). S'assurer que ces procédures couvrent bien les risques liés à la fiabilité. Faire évoluer ces procédures en fonction de l'évolution des techniques et gérer les modifications induites.		
Question de l'audit Y a-t-il une gestion des procédures métier ? Ces procédures métier font-elle l'objet de mises à jour ?		
Niveau 1	Il n'y a pas de procédures métier.	
Niveau 2	Il y a des procédures métier mais elles sont incomplètes et/ou ne sont pas suivies en évolution.	
Niveau 3	Il y a des procédures métier qui sont suivies en évolution.	
Niveau 4	Il y a des procédures métier qui sont suivies en évolution. De plus : <ul style="list-style-type: none"> - Elles couvrent les risques liés à la fiabilité ; - Il existe un plan de capitalisation et d'amélioration des procédures ; - Il y a des revues régulières et formalisées avec planification des actions d'amélioration des pratiques. 	

Recommandation		Correspondance	N°
Disposer et gérer une grille nominative des compétences requises en conception.		ISO9001 : N4 EN9100 : N4	39
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			24,5
Description complémentaire			
S'assurer que les compétences requises en conception sont nominalement affectées dans une grille de compétences régulièrement mise à jour. Vérifier périodiquement l'adéquation des formations.			
Question de l'audit			
Y a-t-il une gestion des compétences en conception ? Existe-t-il une grille nominative de compétences maintenue dans le temps ? L'adéquation des formations est-elle vérifiée ?			
Niveau 1	Il n'y a pas de suivi des compétences en conception.		
Niveau 2	Il y a un suivi des compétences en conception et les compétences sont nominativement affectées dans une grille de compétences.		
Niveau 3	Il y a un suivi des compétences en conception et les compétences sont nominativement affectées dans une grille de compétences mise à jour régulièrement.		
Niveau 4	Il y a un suivi des compétences en conception et les compétences sont nominativement affectées dans une grille de compétences mise à jour régulièrement. La grille de compétences intègre un suivi des formations, dans un objectif de vérification de l'adéquation de ces formations aux objectifs.		

Recommandation Effectuer périodiquement un enregistrement de la température pour chaque opération de brasage afin de s'assurer que l'on n'agresse pas le composant ou sous-ensemble.	Correspondance	N° 42
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION		Poids 6,9
Description complémentaire Le contrôle de la température (pour un fer par exemple) ou du profil en température (pour un four à refusion par exemple) doit être réalisé régulièrement, et les résultats doivent s'inscrire à l'intérieur de valeurs limites en température et en durée (spécifications). La périodicité des contrôles est déterminée par expérience et spécifiée dans l'instruction de contrôle du procédé.		
Question de l'audit Y a-t-il des contrôles ou relevés périodiques de la température pour l'opération de brasage?		
Niveau 1	Le contrôle de la température n'est pas réalisé régulièrement pour les opérations de brasage.	
Niveau 2	Le contrôle de la température est réalisé régulièrement pour les opérations de brasage. Ces relevés ne respectent pas de formalisme précis.	
Niveau 3	Le contrôle de la température est réalisé régulièrement pour les opérations de brasage. Il est effectué suivant un formalisme prédéfini dans des documents indiquant le protocole, la fréquence, ... mais n'ayant pas fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	
Niveau 4	Le contrôle de la température est réalisé régulièrement pour les opérations de brasage. Il est effectué suivant un formalisme prédéfini dans des documents indiquant le protocole, la fréquence, ... et ces documents ont été validés par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation		Correspondance	N°
Maîtriser l'adéquation entre les moyens de production et le sous-ensemble produit.		EN9100 : N2	43
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			7,2
INTEGRATION_EQUIPEMENT			7,2
Description complémentaire			
La description des actions à effectuer lors de l'application d'un outil de production sur un sous-ensemble doit être suffisamment explicite pour ne pas autoriser une interprétation de la part de l'opérateur dont résulterait l'utilisation accidentelle d'un moyen inadéquat. Une identification par barre codes, présents sur machine et fiche suiveuse, est un moyen efficace de détrompage.			
Question de l'audit			
Comment s'assure-t-on du fait que les moyens de production sont parfaitement adaptés aux éléments à produire?			
Niveau 1	Il n'existe pas de description explicite assurant que l'on n'aura pas une inadéquation du moyen de production par rapport au sous-ensemble.		
Niveau 2	Un certain nombre de critères à vérifier afin d'avoir adéquation entre le moyens et le sous-ensemble existent, mais ceux-ci ne sont pas formellement identifiés dans un document.		
Niveau 3	L'adéquation entre moyen de production et produit est vérifiée avant utilisation sur un sous-ensemble. Cette opération est formellement identifiée dans un document. Cependant, ce document n'a pas fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant ou il n'y a pas de double contrôle de cette adéquation.		
Niveau 4	L'adéquation entre moyen de production et produit est vérifiée avant utilisation sur un sous-ensemble. L'ensemble des paramètres à vérifier est formalisé en un document qui a été validé par une autorité indépendante de l'exécutant. De plus, il existe un double contrôle de cette adéquation, généralement à l'aide de système bare code.		

Recommandation		Correspondance	N°
Maîtriser les opérations de manipulation et de stockage chez l'utilisateur.		EN9100 : N2	44
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			7,7
Description complémentaire			
S'assurer qu'un recueil de recommandations métiers sur les opérations de manipulation et de stockage chez l'utilisateur existe et est appliqué. Ce recueil doit être enrichi par le retour d'expérience.			
Les recommandations permettront au Soutien Logistique Intégré de rédiger le manuel utilisateur.			
Question de l'audit			
Y a-t-il un recueil des recommandations métiers sur les opérations de manipulation et de stockage chez le client ?			
Niveau 1	Pas de recueil de recommandations ni de procédures de traitement du retour d'expérience.		
Niveau 2	Existence de recueil de recommandations non formalisé et non géré. Retour d'expérience traité de façon non systématique.		
Niveau 3	Existence de recueil de recommandations formalisé, non nécessairement applicable au projet (non référencé au projet) et non validé. Retour d'expérience formalisé dans une base non gérée et peu exploitée en conception.		
Niveau 4	Recueil de recommandations formalisé, validé, référencé au projet. Retour d'expérience formalisé, validé, référencé au projet, exploitable et servant de donnée d'entrée en conception pour améliorer la fiabilité.		

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Engager une certification qualité de l'entreprise.		45
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
SUPPORT	6,5	
Description complémentaire		
Certifier le système qualité de l'entreprise, par exemple selon l'ISO 9001 V2016 ou l'EN9100.		
Question de l'audit		
L'entreprise possède-t-elle une ou plusieurs certifications qualité, par exemple ISO 9001 V2016 ou EN9100 ?		
Niveau 1	L'industriel n'a pas mis en place de système qualité.	
Niveau 2	L'industriel a mis en place un système qualité mais ne fait pas l'objet d'une certification qualité normative, ou la certification a plus d'un an.	
Niveau 3	L'industriel a mis en place un système qualité et a obtenu une certification. Exemple : ISO 9001 V2016, EN9100.	
Niveau 4	L'industriel a mis en place un système qualité et a obtenu une certification. Exemple : ISO 9001 V2016, EN9100. Il audite régulièrement (au moins tous les deux ans) l'activité fiabilité en interne pour définir des actions de progrès.	

Recommandation		Correspondance	N°
Enregistrer les anomalies devant conduire à l'application d'actions correctives et ou préventives.		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	46
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			7,6
INTEGRATION_EQUIPEMENT			7,6
Description complémentaire			
<p>Tout problème ou dysfonctionnement relatif à la production, quel que soit sa nature, doit être identifié et enregistré sur un document de type "fiche d'anomalie".</p> <p>La fiche d'anomalie suit un formalisme prédéfini : l'ensemble des informations à consigner et la façon de les consigner sont figés.</p> <p>La fiche d'anomalie est l'élément déclencheur de la mise en œuvre des actions de maintenance préventive et/ou corrective.</p> <p>Le suivi des fiches d'anomalie permet une traçabilité des différentes étapes de gestion des non-conformités.</p> <p>Les sources d'anomalie concernent le process, les moyens de production (bancs, moyens d'essais, etc.) mais également les produits eux-mêmes, dont les défaillances doivent également faire l'objet de fiches d'anomalie.</p>			
Question de l'audit			
Les anomalies rencontrées sont-elles enregistrées afin de donner lieu à des actions correctives et/ou préventives?			
Niveau 1	Il n'existe aucun enregistrement ou traçabilité des problèmes rencontrés au cours de la production.		
Niveau 2	Les anomalies identifiées sont enregistrées afin d'engager les actions correctives, mais aucune formalisation n'est réalisée.		
Niveau 3	Chaque problème relatif à la production, quel que soit sa nature, est identifié, enregistré au sein d'un document prévu à cet effet et permet la gestion de la maintenance préventive et corrective. Néanmoins, aucune validation de cette forme de capitalisation d'information n'a été réalisée.		
Niveau 4	Chaque problème relatif à la production, quel que soit sa nature, est identifié, enregistré au sein d'un document prévu à cet effet suivant un formalisme prédéfini. L'ensemble et plus particulièrement la façon de consigner les informations pour réutilisation lors de la maintenance préventive et corrective, a fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation		Correspondance	N°
Établir des procédures de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées.		ISO9001 : N3 EN9100 : N4	47
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			10,6
INTEGRATION_SYSTEME			10,6
EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE			6,8
Description complémentaire			
Établir des procédures écrites pour assurer que les ensembles et sous-ensembles achetés sont conformes aux exigences spécifiées. Définir les termes et les conditions d'approvisionnement ainsi que les responsabilités de tous les intervenants. Vérifier l'application des procédures.			
Question de l'audit			
Y a-t-il des procédures écrites de conformité des ensembles et sous-ensembles achetés par rapport aux exigences spécifiées?			
Niveau 1	Pas de procédures de conformité des produits par rapport aux exigences spécifiées. Rien de formel.		
Niveau 2	Des procédures génériques (tous produits) sont définies pour assurer la conformité du produit acheté. Une preuve formelle existe: ex note.		
Niveau 3	Des procédures spécifiques au produit sont définies dans un plan validé pour assurer la conformité du produit acheté. Les conditions d'approvisionnement ainsi que les responsabilités des intervenants ne sont pas décrites.		
Niveau 4	Des procédures spécifiques au produit sont définies dans un plan validé pour assurer la conformité du produit acheté. Les conditions d'approvisionnement ainsi que les responsabilités des intervenants sont décrites. Des preuves de l'évaluation de ces procédures existent.		

Recommandation Améliorer la fiabilité des produits par la gestion d'une liste préférentielle des composants.	Correspondance	N° 48
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 8
Description complémentaire Une liste préférentielle de composants permet de prendre en compte : - La qualification des fabricants/fournisseurs - Les caractéristiques de fiabilité - Les dates estimées de fin de vie (prévention de l'obsolescence) Cette liste doit être mise à jour régulièrement, voire en temps réel, en tenant compte des nouvelles solutions, des alertes qualité à caractère permanent, des informations recueillies auprès des fabricants (statut fabricant, estimation de durée de vie).		
Question de l'audit Est-ce que les bases de données composants sont mises à jour en tenant compte de la capitalisation? Y a-t-il une liste préférentielle des composants qui est entretenue ?		
Niveau 1 Il n'existe pas de liste préférentielle de composants.		
Niveau 2 Il existe une liste préférentielle de composants mais elle est non formalisée, non validée et contient uniquement des caractéristiques techniques.		
Niveau 3 Il existe une liste préférentielle de composants gérée et formalisée avec des objectifs de standardisation. Elle est validée par les achats, méthodes et services techniques et contient uniquement des caractéristiques techniques.		
Niveau 4 Il existe une liste préférentielle de composants gérée et formalisée avec des objectifs de standardisation. Elle est validée par les achats, méthodes et services techniques et contient non seulement des caractéristiques techniques mais aussi des informations sur la fiabilité des composants.		

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Maitriser le traitement des non-conformités.	ISO9001 : N4 EN9100 : N4	49
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
INTEGRATION_EQUIPEMENT	13,6	
INTEGRATION_SYSTEME	13,6	
Description complémentaire		
Des procédures écrites doivent décrire le traitement des non-conformités. Ces procédures doivent prévoir que le produit non conforme peut être : - retouché pour satisfaire aux exigences spécifiées, - accepté par dérogation avec ou sans réparation. - déclassé pour d'autres applications. - rejeté ou rebuté. Si le contrat l'exige, la proposition d'utilisation ou de réparation du produit non conforme pourra être soumise au donneur d'ordre. Le produit réparé et/ou repris est contrôlé de nouveau conformément aux exigences du plan qualité et/ou des procédures écrites. La responsabilité relative à l'examen et à la décision pour le traitement du produit non conforme doit être définie.		
Question de l'audit		
Comment sont analysées les non-conformités? Existe-t-il des procédures pour le traitement du produit non conforme?		
Niveau 1	Le traitement des non-conformités n'est pas clairement défini.	
Niveau 2	Le produit non conforme est examiné et traité, mais ces actions sont effectuées sans procédures écrites.	
Niveau 3	Le produit non conforme est examiné et traité selon des procédures écrites, mais celles-ci ne prévoient pas des modifications du produit ou acceptation sans modification.	
Niveau 4	Le produit non conforme est examiné et traité selon des procédures écrites. Celles-ci prévoient que le produit peut être: - Retouché pour satisfaire aux exigences spécifiées. - Accepté par dérogation avec ou sans réparation. - Déclassé pour d'autres applications. - Rejeté ou rebuté. Si le contrat l'exige, la proposition d'utilisation ou de réparation du produit non conforme est soumis au donneur d'ordre. Le produit réparé et/ou repris est contrôlé de nouveau conformément aux exigences du plan qualité et/ou des procédures écrites.	

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Maintenir et exploiter une base de données des faits techniques.		50
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		24,2
Description complémentaire		
S'assurer qu'il existe une base de données des faits techniques, qu'elle est maintenue et exploitée, dans un objectif de capitalisation des retours d'expérience et d'amélioration de la fiabilité des conceptions futures.		
Question de l'audit		
Existe-t-il une base de données des faits techniques ? Comment est-elle maintenue et exploitée ?		
Niveau 1	Il n'existe pas de base de données des faits techniques.	
Niveau 2	Il existe une base de données des faits techniques mais elle n'est pas à jour.	
Niveau 3	Il existe une base de données des faits techniques ; elle est à jour mais elle n'est pas exploitée.	
Niveau 4	Il existe une base de données des faits techniques ; elle est à jour et elle est exploitée.	

Recommandation Existence d'une base de données capitalisant les études d'évaluation de fiabilité.	Correspondance	N° 51
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 10,6
Description complémentaire S'assurer qu'il existe une gestion centralisée des études d'évaluation de la fiabilité permettant de réutiliser les calculs passés avec les contraintes : - Hypothèses de base clairement identifiées, - Données extractibles et réutilisables par les métiers de la conception.		
Question de l'audit Y a-t-il une base de données capitalisant les études d'évaluation de fiabilité ?		
Niveau 1 Il n'existe pas de base de données.		
Niveau 2 Il existe une base de données mais elle n'est pas centralisée.		
Niveau 3 Il existe une base de données centralisée sans processus formel		
Niveau 4 Il existe une base de données centralisée avec processus formel d'enrichissement.		

Recommandation Maîtriser les définitions et les évolutions des produits en développement.	Correspondance ISO9001 : N3 EN9100 : N4	N° 52
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 7,8
Description complémentaire S'assurer de l'existence de dossiers de définition et de dossiers justificatifs de définition ; s'assurer que les évolutions sont tracées et gérées en configuration.		
Question de l'audit Existe-t-il un processus décrivant, traçant et justifiant les définitions et les évolutions des produits développés ? Y a-t-il une base de données sur l'historique et les justificatifs de définition?		
Niveau 1 Il n'y a ni dossier de définition ni dossier justificatif de définition.		
Niveau 2 Il existe un dossier de définition mais il n'existe pas de dossier justificatif de définition.		
Niveau 3 Il existe un dossier de définition et un dossier justificatif de définition. Cependant, la traçabilité des évolutions n'est pas maîtrisée.		
Niveau 4 Il existe un dossier de définition et un dossier justificatif de définition. Il existe un plan de gestion de la configuration assurant la traçabilité des évolutions.		

Recommandation	Correspondance	N°
Exploiter le retour d'expérience.		53
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
SPECIFICATION		8,5
SUPPORT		11
Description complémentaire Exploiter le retour d'expérience sur les produits en exploitation. Le retour d'expérience est exploité à une triple fin : - Obtenir un bon de niveau de confiance dans la tenue des performances de fiabilité : les analyses de retour d'expérience sont réalisées sur des produits similaires et utilisés dans des environnements similaires, de façon à consolider les chiffres prévisionnels. - Améliorer la fiabilité des produits : les analyses de retour d'expérience sont partagées avec les équipes de développement, de manière à identifier les axes d'amélioration en termes de design. - Recaler/étalonner/contrôler les méthodes prévisionnelles de fiabilité. La méthodologie d'exploitation du retour d'expérience doit être correctement définie. Ces études nécessitent un temps important de collecte des données opérationnelles et un enregistrement minutieux des anomalies rencontrées. Les données d'entrée sont : - les enregistrements d'anomalies observées, - les conditions d'utilisation du produit (profil de vie, environnement opérationnel, durée d'utilisation), - l'analyse de la cause de la défaillance (imputable ou non à l'industriel). Les données de sortie sont : - La fiabilité opérationnelle, qui peut être extrapolée pour des environnements et profils de vie différents par des modèles issus de l'ingénierie système.		
Question de l'audit Le retour d'expérience est-il mis à profit pour maintenir un bon niveau de confiance dans la tenue des performances de fiabilité ?		
Niveau 1	Aucun retour d'expérience (mesure de fiabilité opérationnelle sur affaires précédentes) n'est disponible.	
Niveau 2	Un retour d'expérience existe, mais il n'est ni exploité ni formalisé.	
Niveau 3	Le retour d'expérience de l'industriel est exploité et formalisé dans un document. Ce retour d'expérience ne correspond pas exactement aux technologies employées. Une validation ou un recalage des méthodes de fiabilité prévisionnelle existe.	
Niveau 4	Le retour d'expérience de l'industriel est exploité et formalisé dans un document. Ce retour d'expérience correspond aux technologies actuelles employées ou des études formelles de similarité sont effectuées et formalisées pour évaluer les écarts (document). Une validation ou un recalage des méthodes de fiabilité prévisionnelle existe et est régulièrement mis à jour.	

Recommandation	Correspondance	N°
Faire participer le métier Sûreté de Fonctionnement à la conception fonctionnelle et organique du produit.		54
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
SPECIFICATION	12,6	
CONCEPTION	12,6	
Description complémentaire		
Utiliser l'ingénierie fiabilité pour optimiser l'architecture des produits, les choix de conception. Donner autorité à l'ingénierie fiabilité en cas de non tenue d'une performance de fiabilité.		
Question de l'audit		
Les critères de fiabilité sont-ils pris en compte dans l'architecture des produits, les choix de conception, d'industrialisation, de soutien?		
Niveau 1	Il n'y a pas de participation de l'ingénierie fiabilité à la conception du produit.	
Niveau 2	La participation de l'ingénierie de fiabilité au cours de la conception du produit est aléatoire et/ou partielle. L'ingénierie fiabilité n'intervient que pour l'évaluation de la fiabilité.	
Niveau 3	L'ingénierie fiabilité contribue à la conception et à la prise de décision en cas de non tenue d'un objectif de fiabilité, des documents l'atteste mais le système de référence de l'entreprise ne décrit pas cette participation.	
Niveau 4	L'ingénierie fiabilité contribue à la conception et à la prise de décision en cas de non tenue d'un objectif de fiabilité, des documents l'attestent et le système de référence de l'entreprise décrit cette participation.	

Recommandation	Correspondance	N°
Faire participer le métier Sûreté de Fonctionnement à l'ensemble des phases du projet.		55
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SUPPORT		8,8
Description complémentaire		
Le métier Sûreté de Fonctionnement participe à l'ensemble des phases du projet, dès les phases amonts du développement et jusqu'à la mise en série.		
Le métier Sûreté de Fonctionnement est également impliqué en production et en suivi opérationnel.		
Question de l'audit		
Le métier Sûreté de Fonctionnement participe-t-il à l'ensemble des phases du projet ?		
Niveau 1	Aucune personne chargée de l'ingénierie fiabilité ne participe au projet.	
Niveau 2	Des personnes chargées de l'ingénierie fiabilité participent partiellement (prestation incomplète au sens de la recommandation) au projet, aucun document n'atteste de cette participation.	
Niveau 3	Des personnes chargées de l'ingénierie fiabilité participent complètement (prestation complète au sens de la recommandation) au projet, cette participation n'est pas formalisée par un plan ou une procédure.	
Niveau 4	Des personnes chargées de l'ingénierie fiabilité participent complètement (prestation complète au sens de la recommandation) au projet, des documents formalisent et attestent de cette participation.	

Recommandation	Correspondance	N°
Former le personnel intervenant dans les études de fiabilité ou impactant la fiabilité, ou employer du personnel qualifié.		56
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SUPPORT		7,5
Description complémentaire		
Former le personnel intervenant dans les études de fiabilité : de la sensibilisation au perfectionnement d'expert pour les responsables fiabilité, selon la criticité des performances de fiabilité attendues pour le produit.		
Sensibiliser le personnel de production à la non-dégradation des produits.		
Question de l'audit		
La formation des acteurs de la fiabilité est-elle adaptée à la criticité des performances de fiabilité attendues pour le produit?		
Niveau 1	Aucune formation spécifique n'est dispensée au personnel en charge des études de fiabilité (formation initiale ou continue). Aucune sensibilisation n'est dispensée au personnel de production.	
Niveau 2	Le personnel chargé des études de fiabilité est formé mais aucune sensibilisation n'est dispensée au personnel de production.	
Niveau 3	Le personnel chargé des études de fiabilité est formé et une sensibilisation est dispensée au personnel de production.	
Niveau 4	Le personnel chargé des études de fiabilité est formé ; il est expérimenté, il s'implique dans les activités métier. Une sensibilisation est dispensée au personnel de production.	

Recommandation	Correspondance	N°
Formaliser les exigences de fiabilité, en particulier l'exigence quantitative.	ISO9001 : N3 EN9100 : N3	57
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable SPECIFICATION		Poids 13
<p>Description complémentaire</p> <p>Cette recommandation concerne la déclinaison de l'exigence (ou des exigences) de haut niveau, généralement formulée par le donneur d'ordre.</p> <p>Les exigences relatives à la fiabilité (qu'elles soient dérivées ou déclinées des exigences du donneur d'ordre) doivent être formalisées.</p> <p>La performance de fiabilité doit être spécifiée de manière quantitative en faisant appel, par exemple, à l'une des grandeurs ci-dessous :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le MTTF. - Le MTBF ou taux de défaillance : c'est une notion adaptée aux systèmes réparables qui ont une longue durée de vie ; la validité de l'hypothèse de constance du taux de défaillance dans le temps nécessite parfois d'être prouvée. - La fiabilité ou probabilité de survie pour une période de temps définie ; cette notion peut être utilisée quand un haut niveau de fiabilité est exigé durant la durée de la mission. - La probabilité de succès (indépendante du temps) pour des dispositifs monocoup, ou pour des dispositifs à utilisation cyclique. <p>Les hypothèses à prendre en compte pour l'évaluation de la performance de fiabilité doivent être décrites : profil de vie (cf. recommandation 31), type de mesure de temps (heures de fonctionnement, heures de vol, cycles, etc.), etc.</p> <p>Les valeurs quantitatives seront spécifiées soit en valeurs moyennes (objectifs de conception) soit en valeurs minimales acceptables. Les valeurs minimales acceptables sont les valeurs en-dessous desquelles le donneur d'ordre trouve que le système est totalement insatisfaisant vis à vis de ses exigences opérationnelles. Le type d'objectif (objectif de conception ou minimum acceptable) sera précisé explicitement.</p>		
<p>Question de l'audit</p> <p>Les exigences de fiabilité, en particulier l'exigence quantitative, sont-elles formalisées ? Décrivent-elles correctement les hypothèses à prendre en compte pour l'évaluation de la performance de fiabilité ?</p>		
Niveau 1 Aucune exigence quantitative de fiabilité n'est spécifiée.		
Niveau 2 Aucune exigence quantitative de fiabilité n'est spécifiée, mais l'évaluation quantitative de la fiabilité est demandée.		
Niveau 3 L'exigence quantitative est spécifiée. Certains éléments relatifs à la quantification font l'objet d'hypothèses non formalisées.		
Niveau 4 L'exigence quantitative est spécifiée. Toutes les hypothèses de quantification sont précisées formellement.		

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Fournir les ressources nécessaires pour les études de fiabilité.	ISO9001 : N3 EN9100 : N4	58
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
SUPPORT	8,3	
Description complémentaire		
Allouer les ressources nécessaires pour réaliser les études de fiabilité : - Accès aux données techniques, - Moyens matériels, - Temps et financement.		
Question de l'audit		
Les données techniques nécessaires aux études de fiabilité sont-elles accessibles ? Les outils nécessaires à la réalisation des études sont-ils disponibles ? Le temps et le financement nécessaires à la réalisation des études sont-ils prévus ?		
Niveau 1	Aucune allocation de moyens ou ressources n'est clairement attribuée aux activités de fiabilité.	
Niveau 2	Des moyens ou ressources sont alloués aux activités de fiabilité, mais ils sont insuffisants : une des trois ressources - données techniques ou moyens matériels ou temps et financement - n'est pas disponible.	
Niveau 3	Les moyens et ressources sont alloués de façon satisfaisante aux activités de fiabilité.	
Niveau 4	Les moyens et ressources sont alloués de façon satisfaisante aux activités de fiabilité. Ces moyens et ressources sont décrits dans un plan de management affaire ou dans un plan de management de la fiabilité.	

Recommandation		Correspondance	N°
Maîtriser la documentation liée aux études de fiabilité.		EN9100 : N4	59
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			5,4
Description complémentaire			
Maîtriser la documentation liée aux études de fiabilité : validation, sauvegarde, archivage, gestion en configuration des documents.			
La maîtrise documentaire s'étend à tout document impactant les études de fiabilité, y compris les éventuels documents formalisant les hypothèses et données d'entrée.			
Question de l'audit			
Les documents d'étude de fiabilité sont-ils maîtrisés ?			
Niveau 1	Les documents de fiabilité ne sont pas maîtrisés.		
Niveau 2	Seuls certains documents (par exemple, les livrables clients) sont maîtrisés.		
Niveau 3	La documentation liée aux études de fiabilité n'est pas complètement maîtrisée, au sens des préconisations de la recommandation : par exemple, la gestion en configuration n'est pas systématique, les hypothèses liées aux calculs prévisionnels ne sont pas formalisées, etc.		
Niveau 4	La documentation liée aux études de fiabilité est complètement maîtrisée : gestion en configuration systématique de tous les documents, y compris ceux relatifs aux hypothèses et données d'entrée. Les documents d'études de fiabilité prévisionnels sont accessibles sur la durée de vie des programmes (pour études comparatives prévisionnel/opérationnel).		

Recommandation	Correspondance	N°
Gérer les priorités à respecter en fonction des dates de fin de dossier (planification).		60
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
FABRICATION		3,1
INTEGRATION_EQUIPEMENT		3,1
Description complémentaire		
La réalisation des différents sous-ensembles ainsi que leur intégration s'effectuent à partir de tâches planifiées pouvant correspondre à des activités simultanées. Afin de n'avoir à stocker qu'un minimum de sous-ensembles (toute temporisation dans le cheminement de production est synonyme de stockages, manipulations supplémentaires de sous-ensembles) et donc à limiter les possibilités de dégradation de la fiabilité des éléments, on devra gérer les priorités.		
Question de l'audit		
Comment sont gérées les priorités en fonction des dates de fin de dossier?		
Niveau 1	Aucune hiérarchisation des priorités en production n'est réalisée.	
Niveau 2	Selon la planification de la production, une certaine priorité est donnée aux sous-ensembles afin de minimiser les manipulations et stockages. Ces priorités ne font pas l'objet de documents formels.	
Niveau 3	Une réelle gestion des priorités est mise en place en fonction des dates de fin de dossier. Cette planification s'appuie sur des documents formels, mais qui n'ont pas fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	
Niveau 4	Une réelle gestion des priorités est mise en place en fonction des dates de fin de dossier. Cette planification s'appuie sur des documents formels ayant fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation		Correspondance	N°
Identifier et mettre en œuvre des moyens de protection des sous-ensembles.			61
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			7,3
FABRICATION			7,3
INTEGRATION_EQUIPEMENT			7,3
Description complémentaire			
Le recensement des risques d'agression et la mise en œuvre des moyens de protection doivent être réalisés pour ne pas défiabiliser les sous-ensembles.			
<ul style="list-style-type: none"> - protection mécanique - protection thermique - protection aux contaminants 			
Question de l'audit			
A-t-on identifié et mis en œuvre des moyens de protection des sous-ensembles durant certaines activités de production?			
Niveau 1	Aucun moyen de protection particulier des sous-ensembles n'est identifié.		
Niveau 2	Des moyens de protection des sous-ensembles sont identifiés, mais partiellement appliqués dans les différentes activités.		
Niveau 3	Des moyens de protection des sous-ensembles sont spécifiés et leur application est vérifiée. Cependant, il n'y a pas de mise à jour de cette spécification basée sur analyse historique.		
Niveau 4	Des moyens de protection des sous-ensembles sont spécifiés et leur application est vérifiée. Cette spécification est basée sur l'historique des précédents produits, et sur une analyse périodique des anomalies observées.		

Recommandation		Correspondance	N°
Identifier formellement les risques techniques impactant la fiabilité.			62
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SPECIFICATION			12,4
CONCEPTION			21
Description complémentaire			
Identifier formellement risques techniques pouvant remettre en cause la tenue des performances de fiabilité. Ces informations seront utilisées par la procédure de gestion des risques. Tracer et gérer ces risques (plan d'action). Exemples de risques : composants sujets aux SEE (Single Event Effect), composants à durée de vie limitée, technologies nouvelles pour l'industriel, etc.			
Question de l'audit			
Les risques techniques impactant la fiabilité sont-ils identifiés?			
Niveau 1	Il n'y a aucune politique de gestion des risques ou la politique de gestion des risques n'adresse pas les aspects fiabilité.		
Niveau 2	La politique de gestion des risques est informelle ou adresse les aspects fiabilité de façon incomplète.		
Niveau 3	Une analyse initiale des risques liés à l'obtention des performances de fiabilité a été faite. Celle-ci est formalisée, mais la gestion des risques n'est pas maintenue dans le temps : une collaboration entre l'équipementier et le systémier est mise en place pour évaluer les risques liés à l'environnement du produit.		
Niveau 4	Les risques liés à l'obtention des performances de fiabilité sont parfaitement identifiés. Une procédure de gestion de ces risques existe chez l'industriel et est suivie. Une collaboration entre l'équipementier et le systémier est mise en place pour évaluer les risques liés à l'environnement du produit. Une fiche de risque est rédigée, tenue à jour pour chacun des risques, cette fiche présente notamment des approches quantitatives quant à la probabilité du risque, la gravité (coût, planning, performance), les solutions proposées pour réduire le risque, et le coût des solutions.		

Recommandation		Correspondance	N°
Identifier la documentation pour les procédés spéciaux.		EN9100 : N4	63
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
EXPLOITATION_&_MAINTENANCE			12,2
Description complémentaire			
Des enregistrements concernant les procédés, les produits et le personnel sont tenus à jour.			
Question de l'audit			
Existe-t-il une documentation pour les procédés spéciaux ? Cette documentation est-elle mise à jour ?			
Niveau 1	Il n'y a pas d'enregistrement concernant les procédés spéciaux.		
Niveau 2	Il y a des enregistrements concernant les procédés uniquement ; les produits ou les ressources humaines associées ne sont pas pris en compte.		
Niveau 3	Des enregistrements concernent les procédés, les produits et le personnel associés aux procédés spéciaux, mais les mises à jour de ces procédures ne sont pas effectuées.		
Niveau 4	Des enregistrements concernant les procédés, les produits et le personnel sont mis à jour.		

Recommandation	Correspondance	N°
Identifier les exigences du donneur d'ordre, relatives à la fiabilité.	EN9100 : N4	65
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SPECIFICATION		7,3
Description complémentaire		
Les exigences du donneur d'ordre, relatives à la fiabilité, doivent être identifiées, documentées et tracées.		
Question de l'audit		
A-t-on identifié, documenté et tracé les exigences du client, relatives à la fiabilité ?		
Niveau 1	Les exigences du donneur d'ordre ne sont pas identifiées.	
Niveau 2	Les exigences du donneur d'ordre sont identifiées de manière informelle.	
Niveau 3	Les exigences du donneur d'ordre sont identifiées, documentées et listées dans un document (ex. : plan de fiabilité) non suivi en révision.	
Niveau 4	Les exigences du donneur d'ordre sont identifiées, documentées et listées dans un document (ex. : plan de fiabilité) suivi en révisions. Le suivi de révisions assure la traçabilité de l'évolution des exigences.	

Recommandation		Correspondance	N°
Identifier les moyens concernant les procédés spéciaux.		EN9100 : N4	66
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			13,1
INTEGRATION_SYSTEME			13,1
EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE			13,1
Description complémentaire			
Les exigences de qualification des opérations du procédé, y compris l'équipement et le personnel associés doivent être spécifiées.			
Question de l'audit			
Les moyens concernant les procédés spéciaux sont-ils identifiés?			
Niveau 1	Les moyens concernant les procédés spéciaux ne sont pas identifiés de façon formelle.		
Niveau 2	Des documents identifient les moyens techniques dédiés aux procédés spéciaux. Les équipements et personnels associés à ces procédés ne sont pas définis.		
Niveau 3	Les exigences de qualification des opérations des procédés spéciaux, y compris l'équipement et le personnel associés sont spécifiées. Il n'y a pas de mise à jour régulière de ces spécifications.		
Niveau 4	Les exigences de qualification des opérations du procédé, y compris l'équipement et le personnel associés sont spécifiées. Les documents identifiant ces exigences sont régulièrement mis à jour.		

Recommandation		Correspondance	N°
Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.		EN9100 : N4	67
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			11,7
INTEGRATION_SYSTEME			11,7
EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE			13,7
Description complémentaire			
Les procédés spéciaux doivent être effectués par des opérateurs qualifiés, et faire l'objet d'une surveillance continue et d'une maîtrise des paramètres du procédé, pour garantir la conformité aux exigences requises.			
Question de l'audit			
Identifier les ressources humaines concernant les procédés spéciaux.			
Niveau 1	Les procédés spéciaux ne sont pas associés à des ressources humaines qualifiées.		
Niveau 2	Les procédés spéciaux sont effectués par des opérateurs formés, mais leur compétence ne fait pas l'objet d'un contrôle régulier.		
Niveau 3	Les procédés spéciaux sont effectués par des opérateurs qualifiés ou font l'objet d'une surveillance continue.		
Niveau 4	Les procédés spéciaux sont effectués par des opérateurs qualifiés et font l'objet d'une surveillance continue.		

Recommandation	Correspondance	N°
Identifier les risques liés à la fiabilité des produits chez les sous-contractants.		68
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SUPPORT		7,2
Description complémentaire		
Identifier les risques liés à la fiabilité du produit sous-traité : risque de non-tenue des performances de fiabilité, utilisation de nouvelles technologies, composants utilisés en dehors de sa spécification, etc.		
Question de l'audit		
A-t-on identifié les risques liés à la fiabilité des produits chez les sous-contractants ?		
Niveau 1	Aucune identification des risques liés à la fiabilité n'est faite avec le sous-traitant avant la signature du contrat (pas de disposition spécifique).	
Niveau 2	Aucune identification des risques liés à la fiabilité n'est faite avec le sous-traitant avant la signature du contrat, mais une identification des risques est faite au cours de l'affaire. Il n'y a pas de gestion de ces risques.	
Niveau 3	L'analyse des risques liés à la fiabilité est faite avant la signature du contrat et fait l'objet d'un document formel. Il n'y a pas de gestion de ces risques.	
Niveau 4	L'analyse des risques liés à la fiabilité est faite avant la signature du contrat et fait l'objet d'un document formel qui est mis à jour et suivi en configuration.	

Recommandation		Correspondance	N°
Intégrer la fiabilité dans la politique qualité de l'entreprise.			69
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			7,4
Description complémentaire			
Intégrer l'activité fiabilité dans la politique qualité de l'entreprise et décliner cette politique aux niveaux concernés par l'ingénierie fiabilité.			
Le manuel qualité de l'entreprise traite spécifiquement des activités fiabilité.			
Un audit du processus fiabilité (par exemple, celui proposé par le guide FIDES), est intégré aux audits qualité de l'entreprise.			
Question de l'audit			
Le thème de la fiabilité est-il présent dans la politique qualité de l'entreprise ?			
Niveau 1	La politique qualité ne prend pas en compte la fiabilité.		
Niveau 2	La fiabilité est citée de façon indirecte dans les objectifs de la politique qualité. Le manuel qualité de l'entreprise n'adresse pas spécifiquement les activités fiabilité.		
Niveau 3	La fiabilité est traitée dans la politique qualité de l'entreprise. Les activités fiabilité sont spécifiquement adressées dans le manuel qualité de l'entreprise.		
Niveau 4	La fiabilité est un des enjeux majeurs de la politique qualité. Les activités fiabilité sont spécifiquement adressées dans le manuel qualité de l'entreprise. Un audit du processus fiabilité est intégré aux audits qualité de l'entreprise.		

Recommandation	Correspondance	N°
Maîtriser la documentation associée à l'équipement ou au système	ISO9001 : N3 EN9100 : N4	71
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		15
INTEGRATION_SYSTEME		15
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE		14
Description complémentaire		
<p>Cette maîtrise de la documentation consiste en :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enregistrer et sauvegarder la documentation produit et procédés - Former une entité de personnel d'atelier à la gestion des documentations techniques. - Inventorier régulièrement ces documentations. - Spécifier des documentations techniques pour chaque processus. - Mettre à jour les documentions en tenant compte des évolutions matériels. - Faire valider ces documents, et leurs évolutions - Mettre à disposition et rendre utilisable en atelier ces documentations processus. 		
Question de l'audit		
La maîtrise de la documentation associée à l'équipement ou au système est-elle bien assurée ? Prend-elle en compte toutes les évolutions du matériel ?		
Niveau 1	Pas de documentation spécifique aux produits ou aux processus, il n'est pas prévu de moyen de mise à disposition de documentation spécifique.	
Niveau 2	Les documentations spécifiques aux produits et aux processus existent, cependant leur mise à jour n'est pas toujours effective, la validité des documents n'est pas analysée.	
Niveau 3	Les documentations spécifiques aux produits et aux processus existent. Leur mise à jour est périodiquement contrôlée. Mais la validité des documents utilisés n'est pas analysée.	
Niveau 4	Les documentations spécifiques aux produits et aux processus existent. Leur mise à jour est périodiquement contrôlée, la validité des documents utilisés est analysée. Des procédures précises d'indigage, de disponibilité et de préservation de la documentation sont mises en œuvre.	

Recommandation Maîtriser la testabilité et la maintenabilité des produits.		Correspondance	N° 72
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE			Poids 17,6
Description complémentaire Maîtriser la capacité des produits à détecter les pannes, maîtriser les moyens de détection de pannes, faciliter la maintenance.			
Question de l'audit Comment est assurée la maîtrise de la testabilité et la maintenabilité des produits ?			
Niveau 1	Il n'y a pas de tests intégrés ; la maintenance est mise en œuvre sur apparition d'une défaillance.		
Niveau 2	Il n'y a pas de tests intégrés ; la maintenance est mise en œuvre sur apparition d'une défaillance.		
Niveau 3	Il n'y a pas de tests intégrés ; la maintenance est mise en œuvre sur apparition d'une défaillance.		
Niveau 4	Il n'y a pas de tests intégrés ; la maintenance est mise en œuvre sur apparition d'une défaillance.		

Recommandation		Correspondance	N°
Maîtriser l'adéquation des équipements de contrôle-essais et des logiciels, avec les besoins.		ISO9001 : N4 EN9100 : N4	73
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			9,6
INTEGRATION_SYSTEME			9,6
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			11,3
Description complémentaire			
<p>Les équipements de contrôle, de mesure et d'essai sont utilisés de façon à assurer que l'incertitude de mesure soit connue et compatible de l'aptitude requise en matière de mesure.</p> <p>Les logiciels de test ou les références de comparaison utilisés comme moyens de contrôle sont vérifiés avant mise en service pour démontrer qu'ils sont capables de contrôler que le produit est acceptable.</p> <p>Les équipements visés par cette recommandation couvrent l'outillage (exemple : visseuse), les bancs (exemple : banc d'harmonisation), les moyens d'essais (exemple : étuve), etc.</p>			
Question de l'audit			
Comment est assurée l'adéquation des équipements de contrôles-essais et des logiciels, avec les besoins?			
Niveau 1	Aucune procédure ne définit l'adéquation des équipements de contrôle de mesure et d'essais avec les besoins.		
Niveau 2	Des procédures définissent l'adéquation des équipements de contrôle de mesure et d'essais avec les besoins. Leur prise en compte n'est pas vérifiée.		
Niveau 3	Les équipements de contrôle, de mesure et d'essai sont utilisés de façon à assurer que l'incertitude de mesure est connue et compatible avec l'aptitude requise en matière de mesure. Il n'y a pas de vérification des équipements de contrôle avant leur mise en service.		
Niveau 4	<p>Les équipements de contrôle, de mesure et d'essai sont utilisés de façon à assurer que l'incertitude de mesure est connue et compatible avec l'aptitude requise en matière de mesure.</p> <p>Les logiciels de test ou les références de comparaison utilisés comme moyens de contrôle sont vérifiés avant mise en service pour démontrer qu'ils sont capables de contrôler que le produit est acceptable.</p> <p>Si la vérification systématique avant utilisation est industriellement impossible, une procédure métrologique (avec période de validation et définition de la classe des appareils) est utilisée.</p>		

Recommandation		Correspondance	N°
Maîtriser l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais.		ISO9001 : N4 EN9100 : N4	74
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			7,9
INTEGRATION_SYSTEME			7,9
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			11,7
Description complémentaire			
La manutention, la préservation et le stockage des équipements de contrôle, de mesure permettent d'assurer que l'exactitude et l'aptitude à l'emploi sont maintenues. Les équipements de contrôle, de mesure et d'essais, y compris les bancs d'essai et les logiciels de test, doivent être protégés contre les manipulations qui invalideraient les réglages d'étalonnage.			
Question de l'audit			
Comment est assurée la maîtrise de l'environnement des équipements de contrôle, de mesure et d'essais?			
Niveau 1	L'environnement des équipements de contrôle de mesure et d'essais n'est pas pris en compte.		
Niveau 2	Les équipements de contrôle de mesure et d'essais sont protégés contre les agressions pouvant les détériorer.		
Niveau 3	Les équipements de contrôle de mesure et d'essais sont protégés contre les agressions pouvant les détériorer, ils sont également protégés contre les manipulations qui invalideraient les réglages d'étalonnage. La manutention, la préservation et le stockage des équipements de contrôle ne sont cependant pas définis par des procédures strictes.		
Niveau 4	Les équipements de contrôle de mesure et d'essais sont protégés contre les agressions pouvant les détériorer, ils sont également protégés contre les manipulations qui invalideraient les réglages d'étalonnage. La manutention, la préservation et le stockage des équipements de contrôle sont définis par des procédures strictes appliquées par les opérateurs.		

Recommandation		Correspondance	N°
Maîtriser l'environnement du milieu de travail.		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	75
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			13,0
INTEGRATION_EQUIPEMENT			9,6
INTEGRATION_SYSTEME			9,6
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			10,8
Description complémentaire			
L'environnement du milieu du travail est important pour la qualité du produit: des limites appropriées doivent être spécifiées pour la température et l'humidité ambiante. Le niveau de propreté doit être maîtrisé. L'agencement de l'atelier et l'ergonomie du poste de travail doivent être optimisés.			
Question de l'audit			
Comment est assurée la maîtrise de l'environnement du milieu de travail? (Propreté, Température et Humidité)			
Niveau 1	L'agencement des ateliers et l'environnement de travail ne sont pas adaptés au produit traité.		
Niveau 2	Les postes de travail sont spécifiques aux équipements. L'environnement de travail est maîtrisé (propreté/température/humidité).		
Niveau 3	Les postes de travail sont spécifiques aux équipements. L'environnement de travail est maîtrisé et vérifié périodiquement (propreté/température/humidité).		
Niveau 4	Les postes de travail sont adaptés aux besoins spécifiques du produit. L'environnement de travail est maîtrisé et vérifié périodiquement (propreté/température/humidité). L'agencement des ateliers est optimisé dans un but d'amélioration de la qualité du produit.		

Recommandation		Correspondance	N°
Maîtriser les dispositifs de surveillance et de mesure, la métrologie des appareils de mesure et moyens industriels.		ISO9001 : N4 EN9100 : N4	76
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			7,8
Description complémentaire			
Maîtriser les dispositifs de surveillance et de mesure, la métrologie des appareils de mesure et moyens industriels. Maîtriser la vérification, le calibrage et l'étalonnage des appareils de mesure et bancs de tests et d'essais utilisés par l'entreprise. Les APM (APpareils de Mesure) sont reliés aux étalons nationaux.			
Question de l'audit			
Comment est assurée la maîtrise des dispositifs de surveillance et de mesure, la métrologie des appareils de mesure et moyens industriels ?			
Niveau 1	Aucune procédure de vérification, de calibrage et d'étalonnage des appareils de mesure et bancs de tests et d'essais n'existe dans l'entreprise.		
Niveau 2	Une procédure de vérification, de calibrage et d'étalonnage des appareils de mesure et bancs de tests et d'essais existe dans l'entreprise, mais n'est pas respectée.		
Niveau 3	Une procédure de vérification, de calibrage et d'étalonnage des appareils de mesure et bancs de tests et d'essais existe dans l'entreprise, et est appliquée.		
Niveau 4	La vérification, le calibrage et l'étalonnage des appareils de mesure et bancs de tests et d'essais utilisés par l'entreprise est maîtrisée (accréditation, certification, etc.). Les APM (APpareils de Mesure) sont reliés aux étalons nationaux.		

Recommandation	Correspondance	N°
Maîtriser les évolutions des procédés de fabrication.	ISO9001 : N3 EN9100 : N4	77
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		13,9
INTEGRATION_EQUIPEMENT		13,9
INTEGRATION_SYSTEME		13,9
EXPLOITATION_&_MAINTENANCE		13,9
Description complémentaire		
Une désignation claire des personnes autorisées à approuver les évolutions des procédés doit exister.		
Les évolutions nécessitant l'acceptation du donneur d'ordre avant application doivent être identifiées dans un document.		
Toute évolution portant sur les procédés, les équipements de production, les outillages et les programmes, doit être documentée et doit engendrer une procédure pour maîtriser sa mise en œuvre.		
S'assurer que les résultats des évolutions des procédés produisent l'effet escompté et que ces évolutions n'ont pas altéré la qualité du produit.		
Un document doit spécifier les actions et tests à réaliser pour qualifier le nouveau procédé, matériau ou outil.		
Question de l'audit		
Comment est assurée la maîtrise des évolutions des procédés de fabrication?		
Quelles évolutions sont notifiées au donneur d'ordre?		
Existe-t-il un plan de requalification selon la nature de la modification?		
Niveau 1	Les évolutions de procédés sont effectuées sans être consignées, ces modifications ne sont pas soumises à autorisation.	
Niveau 2	Les évolutions de procédés sont consignées et soumises à autorisation. Ces évolutions ne sont pas documentées, elles n'engendrent pas de procédure pour maîtriser leur mise en œuvre.	
Niveau 3	Les évolutions de procédé sont consignées, les personnes autorisées à approuver les évolutions des procédés de production, y compris les responsables qualité/fiabilité, sont clairement désignées. Les évolutions nécessitant l'acceptation du donneur d'ordre avant application, sont identifiées. Toute évolution portant sur les procédés, les équipements de production, les outillages et les programmes, est documentée et suit une procédure pour maîtriser sa mise en œuvre. Cependant, on ne s'assure pas systématiquement que les résultats des évolutions des procédés produisent l'effet escompté et que ces évolutions n'ont pas altéré la qualité du produit (qualification).	
Niveau 4	Les évolutions de procédé sont consignées, les personnes autorisées à approuver les évolutions des procédés de production, y compris les responsables qualité/fiabilité, sont clairement désignées. Les évolutions nécessitant l'acceptation du donneur d'ordre avant application, sont identifiées. Toute évolution portant sur les procédés, les équipements de production, les outillages et les programmes, est documentée et suit une procédure pour maîtriser sa mise en œuvre. Les changements de procédés, matériau ou machine de production donnent lieu à qualification selon une procédure écrite et approuvée par la qualité.	

Recommandation Maîtriser les méthodes de manutention.		Correspondance ISO9001 : N2 EN9100 : N3	N° 78
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			8,8
INTEGRATION_SYSTEME			8,8
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			9,9
Description complémentaire			
Des méthodes et des moyens de manutention du produit afin d'empêcher son endommagement ou sa détérioration sont prévus et comprennent:			
- les procédures de transport entre sites,			
- les modes de manutention spécifiques à chaque produit.			
Question de l'audit			
Les modes de manutention et de transport entre sites sont-ils définis?			
Niveau 1	Les méthodes de manutention ne sont pas définies, il n'y a pas de moyens spécifiques pour éviter la détérioration lors de sa manipulation.		
Niveau 2	Des méthodes de manutention sont définies, elles ne sont pas spécifiques à un produit.		
Niveau 3	Des méthodes de manutention spécifiques au produit sont consignées, des moyens spécifiques sont mis à disposition pour éviter toute détérioration lors des manipulations. Il n'y a pas de vérification quant à leur application.		
Niveau 4	Les procédures de manipulation du produit sont définies de façon spécifique, des moyens associés permettent d'éviter toute détérioration du produit lors de ses manipulations. Des vérifications de l'application de ces méthodes sont effectuées.		

Recommandation		Correspondance	N°
Contrôler avant utilisation les moyens de production, les outillages et les machines programmables.		EN9100 : N2	79
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			12,0
INTEGRATION_EQUIPEMENT			10,5
INTEGRATION_SYSTEME			10,5
EXPLOITATION_&_MAINTENANCE			11,3
Description complémentaire			
<p>Pour éviter de dégrader les équipements, il est important de vérifier avant utilisation que les moyens de production (exemples : bancs, étuves, pots vibrants, ...), les outillages (exemple : tournevis dynamométrique) et les machines programmables (exemples : machines à commande numérique, moyens de programmation des logiciels utilisés sur les bancs) sont bien adaptés au produit et que les paramètres sont conformes aux spécifications.</p> <p>Des procédures écrites doivent décrire cette activité de contrôle préalable.</p>			
Question de l'audit			
Comment est assurée le contrôle, avant utilisation, des moyens de production, des outillages et des machines programmables?			
Niveau 1	Les moyens de production, les outillages ou les machines programmables ne sont pas soumis à contrôle et à validation avant utilisation.		
Niveau 2	Les moyens de production, les outillages et les machines programmables sont soumis à contrôle avant utilisation, mais ces contrôles ne sont pas tous formalisés.		
Niveau 3	Les moyens de production, les outillages et les machines programmables sont soumis à contrôle avant utilisation. Ces contrôles font l'objet de procédures écrites.		
Niveau 4	Les moyens de production, les outillages et les machines programmables sont soumis à contrôle avant utilisation. Ces contrôles font l'objet de procédures écrites. Les résultats de ces contrôles sont enregistrés.		

Recommandation	Correspondance	N°
Maîtriser les opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation.	ISO9001 : N2 EN9100 : N3	80
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		6,5
INTEGRATION_SYSTEME		6,5
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE		11,3
Description complémentaire		
<p>Il faut prendre en compte dans une procédure, aux différentes étapes de la production et conformément aux recommandations du fabricant et/ou de la réglementation applicable, les exigences spécifiques pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le nettoyage, - la prévention, la détection et l'enlèvement des corps étrangers, - la manutention adaptée aux produits sensibles, - le marquage et l'étiquetage y compris les marquages de sécurité, - la maîtrise des durées de vie sur étagères et la rotation des stocks, - les matériels dangereux. <p>Établir des procédures spécifiques de gestion des périssables. Éliminer tous les produits hors péremption ou non identifiés. Proposer des critères d'évaluation et d'analyse de la qualité des conditions de stockage. Répertorier et analyser les défaillances liées à une non-qualité en stockage.</p>		
Question de l'audit		
Comment est assurée la maîtrise des opérations de manutention, stockage, conditionnement et préservation ?		
Niveau 1	Les conditions de manutention, stockage, conditionnement et préservation ne sont pas codifiées ; la réalisation de ces opérations n'est pas parfaitement maîtrisée.	
Niveau 2	Les conditions de manutention, stockage, conditionnement et préservation sont codifiées ; elles donnent lieu à des procédures adaptables à l'ensemble des produits. La réalisation de ces opérations n'est pas spécifique à un produit.	
Niveau 3	Les conditions de manutention, stockage, conditionnement et préservation sont codifiées ; elles donnent lieu à des procédures spécifiques à chaque produit.	
Niveau 4	Les conditions de manutention, stockage, conditionnement et préservation sont codifiées ; elles donnent lieu à des procédures spécifiques à chaque produit. Sont également codifiées et mises en œuvre des considérations telles que les péremptions, la sensibilité des produits aux stress, la dangerosité des produits.	

Recommandation	Correspondance	N°
Maîtriser les procédés spéciaux.	EN9100 : N3	81
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		14,4
INTEGRATION_SYSTEME		14,4
EXPLOITATION_&_MAINTENANCE		15,2
Description complémentaire		
Les procédés spéciaux sont des procédés dont les résultats ne peuvent être entièrement vérifiés a posteriori par un contrôle ou un essai du produit, et dont les conséquences des déficiences dans la mise en œuvre, ne peuvent apparaître qu'à l'utilisation de ce produit. Exemples: collage, soudage, brasage, traitement thermique, traitement de surface.		
Les points suivants doivent être pris en compte:		
- Les procédés spéciaux à mettre en œuvre doivent être identifiés.		
- Le fournisseur vérifie que tous les paramètres des procédés spéciaux (par exemple, matériaux, personnel, procédures et logiciels) produisent des résultats satisfaisants.		
- Le fournisseur identifie et documente les opérations significatives et les paramètres du procédé à maîtriser.		
- Toute modification de ces opérations et paramètres doit faire l'objet d'une proposition justifiant cette modification et garantissant que celle-ci n'introduit aucun effet néfaste sur le résultat du procédé.		
- Le fournisseur doit vérifier les procédés spéciaux en réalisant une ou plusieurs pièces types dans les conditions définies pour la phase.		
- Les procédés spéciaux ou la sous-traitance du procédé doivent être qualifiés avant leur utilisation.		
- Le fournisseur doit maintenir à jour des procédés spéciaux qualifiés.		
Question de l'audit		
Comment est assurée la maîtrise des procédés spéciaux?		
Quels documents décrivent ces procédés, et comment sont-ils mis à jour?		
Comment sont qualifiés ces procédés spéciaux?		
Niveau 1	Les procédés spéciaux ne sont pas identifiés.	
Niveau 2	Les procédés spéciaux sont identifiés. Les paramètres de ces procédés (matériaux, personnel, procédures et logiciels) sont évalués. Ces procédés ne sont pas documentés, ou pas définis par des procédures strictes.	
Niveau 3	Les procédés spéciaux sont identifiés. Les paramètres de ces procédés (matériaux, personnel, procédures et logiciels) sont évalués. Les opérations significatives et les paramètres du procédé à maîtriser en production ont été identifiés et documentés. Toute modification de ces opérations et paramètres fait l'objet d'une proposition justifiant cette modification et garantissant que celle-ci n'introduit aucun effet néfaste sur le résultat du procédé. Les procédés spéciaux n'ont pas été vérifiés en réalisant une ou plusieurs pièces types dans des conditions définies.	
Niveau 4	Même critère que le niveau 3 avec en plus: Il est vérifié que tous les paramètres des procédés spéciaux (par exemple: matériaux, personnel, procédures et logiciels) produisent des résultats attendus. Les procédés spéciaux sont vérifiés en réalisant une ou plusieurs pièces types dans les conditions définies. Les procédés spéciaux (sous-traités ou non) sont qualifiés avant leur utilisation et maintenus à jour.	

Recommandation Maîtriser les services et fluides du milieu de travail.		Correspondance ISO9001 : N3 EN9100 : N4	N° 82
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT			10,1
INTEGRATION_SYSTEME			10,1
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE			12,2
Description complémentaire Les services et les fournitures tels que l'eau, l'air comprimé, l'électricité et les produits chimiques utilisés doivent être maîtrisés et vérifiés régulièrement pour assurer la constance de leur effet sur le procédé.			
Question de l'audit Comment est assurée la maîtrise des services et fluides du milieu de travail?			
Niveau 1	Les services et les fournitures tels que l'eau, l'air comprimé, l'électricité et les produits chimiques ne sont pas soumis à vérification.		
Niveau 2	La vérification des services et les fournitures tels que l'eau, l'air comprimé, l'électricité et les produits chimiques est effectuée de façon ponctuelle et sur défaillance avérée. (voir ISO 14000).		
Niveau 3	Les services et les fournitures tels que l'eau, l'air comprimé, l'électricité et les produits chimiques utilisés sont maîtrisés et vérifiés périodiquement pour assurer la constance de leur effet sur le procédé.		
Niveau 4	Les services et les fournitures tels que l'eau, l'air comprimé, l'électricité et les produits chimiques utilisés sont maîtrisés et vérifiés en continu pour assurer la constance de leur effet sur le procédé.		

Recommandation		Correspondance	N°
Maximiser la couverture de tests sur la base de la spécification.			83
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			6
Description complémentaire			
S'assurer que la couverture de tests est maximale et s'appuie sur la spécification. Justification de la couverture dans un document.			
Question de l'audit			
S'assure-t-on que la couverture de tests est maximale et qu'elle s'appuie sur la spécification ? Existe-t-il un document décrivant la méthode de calcul et justifiant le taux de couverture ?			
Niveau 1	Il n'y a pas d'évaluation du taux de couverture.		
Niveau 2	La couverture de tests est évaluée mais aucune action n'est mise en œuvre pour atteindre l'objectif de la spécification ou maximiser le taux de couverture.		
Niveau 3	La couverture de tests est évaluée et des actions sont mises en œuvre pour la maximiser. La justification du taux de couverture n'est pas formalisée.		
Niveau 4	La couverture de tests est évaluée et des actions sont mises en œuvre pour la maximiser. La justification du taux de couverture est formalisée. La non-couverture éventuelle de certaines fonctions doit être justifiée (fonctions non utilisées en opérationnel, sans effet, etc.).		

Recommandation Contrôler périodiquement la contamination des bains pour les opérations de brasage à la vague	Correspondance	N° 84
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION		Poids 5,8
Description complémentaire La contamination des bains de brasure pour brasage à la vague doit être contrôlée régulièrement afin d'éviter de dégrader la qualité de la brasure finale. Le taux de polluant et la fréquence des contrôles doivent être spécifiés. L'historique des résultats doit contribuer à la mise à jour de la fréquence de ces contrôles.		
Question de l'audit La contamination des bains de brasure est-elle périodiquement effectuée? Et selon quelle procédure?		
Niveau 1	Il n'existe pas de mesure du taux de contaminants du bain de soudure.	
Niveau 2	Des mesures du taux de contaminants du bain de soudure sont réalisées. Ces mesures sont aléatoires et ne sont pas formalisées.	
Niveau 3	Des mesures du taux de contaminants du bain de soudure sont réalisées. Ces mesures s'effectuent suivant un protocole et une fréquence identifiés et décrits dans un document, mais celui-ci n'a pas fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	
Niveau 4	Des mesures du taux de contaminants du bain de soudure sont réalisées. Ces mesures s'effectuent suivant un protocole et une fréquence identifiés et décrits dans un document, qui a fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation Mettre en œuvre des revues de conception	Correspondance ISO9001 : N3 EN9100 : N4	N° 86
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 27,1
Description complémentaire Des revues de conception doivent être organisées tout au long du développement afin de vérifier que les orientations choisies sont correctes. Ces revues incluent à minima : <ul style="list-style-type: none"> - Une revue de conception préliminaire - Une revue de conception détaillée - Une revue de conception finale Un représentant de chaque métier doit participer à ces revues.		
Question de l'audit Y-a-t-il des revues de conception ?		
Niveau 1 Il n'y a pas de revue de conception.		
Niveau 2 Il y a des revues de conception à chaque étape du développement, mais elles sont informelles : non décrites dans une procédure validée par l'entreprise.		
Niveau 3 Il y a des revues de conception à chaque étape du développement. Elles sont formelles : décrites dans une procédure validée par l'entreprise. Elles n'impliquent pas l'ensemble des métiers.		
Niveau 4 Il y a des revues de conception à chaque étape du développement. Ces revues sont organisées suivant une procédure validée par l'entreprise. Ces revues impliquent l'ensemble des métiers.		

Recommandation		Correspondance	N°
Mettre en œuvre un concept de maintenance en soutien logistique.			87
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			5,4
Description complémentaire			
S'assurer que le concept de maintenance est formalisé et validé par le donneur d'ordre. Exemple de documents à présenter en réponse aux exigences du concept : - Plan de soutien logistique intégré, - Dossier d'aptitude en soutien logistique.			
Question de l'audit			
Y a-t-il un concept de maintenance ?			
Niveau 1	Il n'y a pas d'exigences de soutien. L'organisation du donneur d'ordre n'est pas prise en compte.		
Niveau 2	Les exigences de soutien existent mais sont partiellement formalisées : ponctuelles voire incohérentes, et non déclinées aux sous-ensembles. L'organisation du donneur d'ordre n'est pas prise en compte.		
Niveau 3	Les exigences de soutien sont formalisées. Les réponse aux exigences sont formalisées mais non validées et considérées comme secondaires : exigences partiellement justifiées ou non atteintes.		
Niveau 4	Les exigences de soutien sont formalisées (concept de maintenance). Il existe une organisation projet chez l'industriel pour répondre aux exigences du donneur d'ordre, sous la forme d'un plan de soutien logistique. Les exigences de soutien sont prises en compte dès la conception, déclinées jusqu'aux sous-ensembles, justifiées et validées dans un dossier d'aptitude au soutien. Les éléments du système de soutien (documents, formation, lots de rechanges, outillage et moyens de test) existent et sont cohérents et validés.		

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place un autocontrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production.		88
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
FABRICATION		5,3
INTEGRATION_EQUIPEMENT		5,3
INTEGRATION_SYSTEME		5,3
Description complémentaire L'autocontrôle par l'opérateur, en fin d'étape de procédé, permet de filtrer les erreurs humaines pouvant provoquer une dé-fiabilisation du sous-ensemble. Généralement basé sur une inspection optique des pièces en production, cet autocontrôle est décrit dans l'instruction associée à l'opération et dans le Plan de Contrôle. Le résultat de ce contrôle est enregistré pour traçabilité lot.		
Question de l'audit Existe-t-il un autocontrôle par l'opérateur en fin de chaque procédé de production? Est-il basé sur une instruction? Le résultat du contrôle est-il enregistré?		
Niveau 1	Il n'existe pas d'autocontrôle systématique réalisé par l'opérateur en fin de chaque procédé de production.	
Niveau 2	Un autocontrôle réalisé par l'opérateur existe en fin de réalisation de chaque procédé de production. Celui-ci ne répond cependant à aucun document formel.	
Niveau 3	Un autocontrôle réalisé par l'opérateur existe en fin de réalisation de chaque procédé de production. Celui-ci s'effectue conformément à un protocole prédéfini et formalisé par un document. Cependant, ce document n'a pas été validé par une autorité indépendante.	
Niveau 4	Un autocontrôle réalisé par l'opérateur existe en fin de réalisation de chaque procédé de production. Celui-ci s'effectue conformément à un protocole prédéfini et formalisé par un document. Ce document a été validé par une autorité indépendante. Le résultat du contrôle est enregistré.	

Recommandation		Correspondance	N°
Réaliser le contrôle du dépôt de crème à braser après sérigraphie		ISO9001 : N2 EN9100 : N3	89
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			6,0
Description complémentaire			
<p>Avant report des composants, il est important de contrôler la qualité des dépôts des dépôts sérigraphiés, pour minimiser les réparations ultérieures et pour compléter les inspections post refus.</p> <p>Des contrôles du dépôt de crème à braser (épaisseur/volume quantité déposée, SPI) doivent être spécifiés et donner lieu à des enregistrements.</p>			
Question de l'audit			
Y a-t-il un contrôle systématique de la qualité du dépôt de la crème à braser, après sérigraphie?			
Niveau 1	Le dépôt de la crème à braser n'est pas systématiquement contrôlés		
Niveau 2	La mesure de l'épaisseur du dépôt de crème à braser est régulièrement réalisée. Ce contrôles ne s'appuie pas sur un document clairement identifié.		
Niveau 3	La mesure de l'épaisseur du dépôt de crème à braser est régulièrement réalisée. Ce contrôle s'appuie sur un document clairement identifié. Cependant, ce document ne fait pas référence à l'IPC-A-610, ou il manque une validation indépendante de ce document.		
Niveau 4	<p>La mesure de l'épaisseur du dépôt de crème à braser est régulièrement réalisée. Ce contrôle s'appuie sur un document clairement identifié</p> <p>La norme IPC-A-610 est citée comme référence dans ce document.</p> <p>De plus, ce document a fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.</p>		

Recommandation		Correspondance	N°
Mettre en place des inventaires périodiques des stocks de composants et matériaux			90
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			5,5
Description complémentaire			
La mise en place d'inventaires périodiques des magasins permet de s'assurer de l'exactitude des informations enregistrées: désignations ou identifications, quantités par lot, localisations géographiques, date d'expiration.			
Question de l'audit			
Réalise-t-on des inventaires périodiques des stocks de composants et matériaux ?			
Niveau 1	Aucun inventaire périodique des stocks n'est réalisé.		
Niveau 2	Un certain nombre d'inventaires est effectué. La fréquence de ces inventaires ne fait cependant pas l'objet d'un plan formel.		
Niveau 3	Des inventaires périodiques sont effectués. En cas de non-respect de la date d'un inventaire, une relance est systématiquement faite jusqu'à validation d'un nouvel inventaire. Des documents formalisent les actions à effectuer ainsi que les différents formulaires de suivi à mettre à jour. Cependant ces documents n'ont pas fait l'objet d'une validation indépendante.		
Niveau 4	Des inventaires périodiques sont effectués. En cas de non-respect de la date d'un inventaire, une relance est systématiquement faite jusqu'à validation d'un nouvel inventaire. Des documents formalisent les actions à effectuer ainsi que les différents formulaires de suivi à mettre à jour. Ces documents ont été validés par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place des protections contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages.		91
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
FABRICATION		26,0
INTEGRATION_EQUIPEMENT		26,0
INTEGRATION_SYSTEME		18,4
EXPLOITATION_ & MAINTENANCE		17,4
Description complémentaire		
Les protections anti-ESD des composants et sous-ensembles recouvrent:		
<ul style="list-style-type: none"> - La mise à la masse des machines, tables, étagères, chaises et chariots - Le contrôle d'entrée des bracelets et chaussures conductrices des opérateurs concernés - Le branchement de bracelets anti-ESD pour les opérateurs - La mise en place de ioniseurs si nécessaire - l'utilisation de sachets antistatiques pour le stockage carte 		
Question de l'audit		
La mise en place des protections spécifiques contre les ESD pour les composants et sous-ensembles lors des manipulations et stockages est-elle pratiquée?		
Niveau 1	La protection contre les ESD n'est pas traitée.	
Niveau 2	La protection contre les ESD fait l'objet de règles et pratiques non formalisées.	
Niveau 3	La protection contre les ESD fait l'objet de procédures/instructions validées définissant des pratiques reconnues comme protégeant les sous-ensembles. Il n'y a pas de contrôle externe de l'application de ces règles (audits qualité dédiés).	
Niveau 4	La protection des composants et sous-ensembles contre les ESD fait l'objet de procédures/instructions validées, et dont le contrôle de suivi est effectif au travers d'audits internes dédiés.	

Recommandation		Correspondance	N°
Vérifier périodiquement les outils de contrôle des moyens de production.		EN9100 : N3	92
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			4,9
INTEGRATION_EQUIPEMENT			4,9
Description complémentaire			
Un certain nombre de paramètres des moyens de production nécessitent d'être contrôlés (température, dimensions, temps, etc.). Les outils de contrôle (sonde, capteur, détecteur, palmer, microscope cofocal, etc.) doivent être calibrés périodiquement selon une procédure définie, et certains outils critiques doivent faire l'objet d'un contrôle de répétabilité et reproductibilité des mesures, en y associant le facteur opérateur.			
Question de l'audit			
Existe-t-il des vérifications périodiques des outils de contrôle des moyens de production? La reproductibilité des mesures est-elle contrôlée?			
Niveau 1	Aucune vérification périodique des outils de contrôle des moyens de production n'existe.		
Niveau 2	Les outils et instruments servant au contrôle des moyens de production sont vérifiés ponctuellement mais sans suivre un plan formel de vérification.		
Niveau 3	Les outils et instruments servant au contrôle des moyens de production sont périodiquement calibrés. Il y a des évidences de ces calibrations (enregistrement, étiquette). La procédure de calibration est formalisée par des documents. Mais il n'existe pas de contrôles de la reproductibilité et répétabilité des mesures critiques.		
Niveau 4	Les outils et instruments servant au contrôle des moyens de production sont périodiquement vérifiés. La procédure de calibration est formalisée par des documents, et ces derniers ont été validés par une autorité indépendante de l'exécutant. Des contrôles périodiques de la reproductibilité et répétabilité des mesures critiques sont réalisés.		

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place les protections adéquates pour ne pas dégrader les sous-ensembles lors du nettoyage.	EN9100 : N2	93
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		6,0
Description complémentaire		
Pour ne pas dégrader le sous-ensemble lors du nettoyage carte, des protections adéquates doivent être mises en place.		
Ces protections ayant pour but d'isoler une partie du sous-ensemble, leur efficacité après déroulement de l'activité doit être vérifiable (contrôles, mesures).		
Question de l'audit		
Existe-t-il des protections adéquates pour ne pas dégrader les sous-ensembles lors du nettoyage?		
Niveau 1	Aucune protection spécifique n'est utilisée lors du nettoyage des sous-ensembles.	
Niveau 2	Un certain nombre de protections sont mises en place lors de l'activité de nettoyage des sous-ensembles. Ces protections peuvent être spécifiques à certains sous-ensembles mais ne font pas l'objet de documents formels.	
Niveau 3	Un certain nombre de protections sont mises en place lors de l'activité de nettoyage des sous-ensembles. L'efficacité de la protection est contrôlée lors des inspections ultérieures. L'identification des protections en fonction des types de sous-ensemble ainsi que les procédures adéquates à suivre sont formalisées en un ou plusieurs documents. Cependant, ces documents ne sont pas validés par une autorité indépendante.	
Niveau 4	Un certain nombre de protections sont mises en place lors de l'activité de nettoyage des sous-ensembles. L'efficacité de la protection est contrôlée lors des inspections ultérieures. L'identification des protections en fonction des types de sous-ensemble ainsi que les procédures adéquates à suivre sont formalisées en un ou plusieurs documents qui ont fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place un autotest des outils de test permettant de détecter une anomalie éventuelle.		94
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		5,1
INTEGRATION_EQUIPEMENT		5,1
Description complémentaire		
Mettre en place un autotest des testeurs (test interne, réalisé par le testeur lui-même) permettant de détecter une anomalie éventuelle.		
Des unités de référence, reconnues bonnes, peuvent être utilisées pour cet autotest. Cet autotest est généralement réalisé lors des set-up du testeur (contrôles lors de changements d'opérateur, de produit, ...)		
Aucun test ne pourra être effectué si l'autotest n'est pas concluant ou si une dérogation tracée (autorisation de déroulement du test mais avec marquage et fiche suiveuse visée qui ne pourra plus quitter le sous-ensemble) n'accompagne pas le sous-ensemble ainsi testé.		
Question de l'audit		
Existe-t-il un autotest des outils de test permettant de détecter une anomalie éventuelle avant utilisation sur le sous-ensemble?		
Niveau 1	Aucun autotest n'est effectué sur les testeurs.	
Niveau 2	Un autotest des testeurs est effectué. Cet autotest s'effectue sans qu'aucun document formel ou étude n'en détermine l'efficacité et les limites.	
Niveau 3	Un autotest des testeurs est effectué. Cet autotest fait l'objet de documents permettant d'en connaître le niveau d'efficacité ainsi que le déroulement. Mais ces documents n'ont pas fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	
Niveau 4	Un autotest des testeurs est effectué. Cet autotest fait l'objet de documents permettant d'en connaître le niveau d'efficacité ainsi que le déroulement. De plus, ces documents ont été validés par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation		Correspondance	N°
Gérer la conformité des articles et matériaux en stock		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	96
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			6,0
Description complémentaire			
La conformité des articles et matériaux placés en stock, et disponibles pour la production, doit être clairement identifiée:			
<ul style="list-style-type: none"> - les stocks de produits non conformes doivent être placés dans des zones distinctes, voire non accessibles à la production - les emballages des articles placés en stock production sont généralement marqués (tampon qualité, ou étiquette) - la base de données stocks enregistre l'acceptation par le service qualité de contrôle d'entrée, en même temps que les données quantités, localisation, dates d'expiration... 			
Question de l'audit			
Existe-t-il une identification de la conformité des matériaux et articles en stock ?			
Niveau 1	Il n'existe pas d'identification claire de la conformité des articles et matériaux dans le stock magasin.		
Niveau 2	Il existe une identification de la conformité des articles et matériaux en stock magasin, mais celle-ci ne fait pas l'objet d'une formalisation écrite.		
Niveau 3	La conformité des articles et matériaux placés en stock magasin est clairement identifié, selon une procédure écrite. Les produits non conformes sont placés dans des zones dédiées. Cependant, il n'existe pas de base de données magasin identifiant les lots conformes et leur localisation.		
Niveau 4	La conformité des articles et matériaux placés en stock magasin est clairement identifié, selon une procédure écrite et validée. Les produits non conformes sont placés dans des zones dédiées. Une base de données magasin identifie les lots conformes et leur localisation.		

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place un contrôle du processus de production par SPC (Statistical Process Control) pour les caractéristiques critiques.		97
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION		Poids 4,5
Description complémentaire L'utilisation du procédé statistique de contrôle par réalisation de cartes SPC (Statistical Process Control) permet de suivre la variabilité des procédés critiques vis à vis des spécifications limites, et d'agir de façon corrective ou préventive sur les paramètres machines. L'efficacité du contrôle SPC est mesurée par comparaison de l'écart entre moyenne et limite spécifiée, avec l'écart-type de la mesure (3 Sigma). Cette efficacité (notée Cpk) donne lieu à un objectif qualité (limite basse). Les caractéristiques sous SPC apparaissent dans le Plan de Contrôle process, et sont issues de l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets (AMDEC). Les Limites de Contrôle (haute et basse) font généralement l'objet de mises à jour, en fonction de l'historique des mesures.		
Question de l'audit Existe-t-il un contrôle du processus de production par SPC (Statistical Process Control)? Les caractéristiques critiques sous SPC ont-elles fait l'objet d'études? Apparaissent-elles clairement dans le Plan de Contrôle? Les Limites de Contrôle haute et basse sont-elles mises à jour?		
Niveau 1	Il n'existe pas de contrôle du processus de production par utilisation de méthodes statistiques (SPC).	
Niveau 2	Des analyses statistiques des caractéristiques critiques du processus de production existent, mais non formellement décrites dans un document.	
Niveau 3	Des analyses statistiques des caractéristiques critiques du processus de production existent. Ce contrôle statistique est formalisé dans des documents, et des limites de contrôles ont été établies. Le résultat des analyses est suivi par la Qualité, et le dépassement des limites donnent lieu à des actions correctives. Cependant, il n'y a pas d'évidence de lien entre étude AMDEC et caractéristiques sous SPC, ou il n'y a pas d'évidence de contrôle régulier de la reproductibilité et répétabilité de ces mesures de caractéristiques.	
Niveau 4	Des analyses statistiques des caractéristiques critiques du processus de production existent. Ce contrôle statistique est formalisé dans des documents, et des limites de contrôles ont été établies. Le résultat de ces analyses est suivi par la Qualité, et le dépassement des limites donnent lieu à des actions correctives. Les caractéristiques sous SPC sont issues d'une AMDEC conduite par une équipe pluridisciplinaire. La répétabilité et la reproductibilité des tests sous SPC fait l'objet de contrôles périodiques.	

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place des instructions détaillées pour chaque procédé de production.	EN9100 : N3	98
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		12,0
INTEGRATION_EQUIPEMENT		12,0
Description complémentaire		
La fiabilité est dépendante de la reproductibilité des opérations de production (sérigraphie, report composants, refusion, nettoyage, réparation, épargne, vernissage,...). Chacune de ces opérations doit être parfaitement décrite dans une instruction qui définit pas à pas les actions que doit réaliser l'opérateur. Ces instructions doivent être facilement accessibles dans la ligne, voire faire l'objet de documents d'aide constamment visibles par l'opérateur lorsque justifié. La mise à jour de ces instructions doit être constante, et basée sur les résultats d'audits qualité internes ou externes.		
Question de l'audit		
Existe-t-il une instruction détaillée pour chaque procédé de production?		
Ces instructions sont-elles disponibles en ligne?		
Existe-t-il des documents d'aide constamment visibles par l'opérateur?		
Niveau 1	Il manque des instructions décrivant les actions à réaliser par chaque l'opérateur	
Niveau 2	Une instruction existe pour chaque opération de production. Mais sa mise à jour n'est pas sous contrôle qualité, ou elle n'a pas été validée par une autorité indépendante, ou elle n'est pas facilement accessible par l'opérateur.	
Niveau 3	Une instruction existe pour chaque opération de production. Elle est facilement accessible par l'opérateur et a été validée par une autorité indépendante. Mais sa mise à jour n'est pas sous contrôle qualité (audits internes).	
Niveau 4	Une instruction existe pour chaque opération de production. Elle est facilement accessible par l'opérateur et a été validée par une autorité indépendante. Sa mise à jour est sous contrôle qualité (audits internes) et seule la dernière version est disponible.	

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place une procédure évitant l'utilisation en production des consommables/articles périmés, ou devant être reformés		99
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
FABRICATION		6,4
INTEGRATION_EQUIPEMENT		6,4
INTEGRATION_SYSTEME		6,4
Description complémentaire L'utilisation de consommables périmés doit être impossible. Les moyens de prévention sont basés soit sur un étiquetage identifiant la date d'expiration du matériau, soit par l'enregistrement dans le système de cette date, soit les deux. Le contrôle de la date est à la charge du magasinier et doit faire l'objet d'une instruction incontournable. Mieux, le système alerte le magasinier de retirer le matériau/article avant que la date soit dépassée, et bloque l'utilisation du lot. Dans le cas particulier des composants devant être reformés après un temps de stockage donné (exemple: condensateurs électrolytiques), une procédure doit y être associée, et cette action doit être tracée dans la base du stock.		
Question de l'audit Existe-t-il une procédure permettant l'identification et le retrait du stock (ou le reformage) des consommables/articles périmés?		
Niveau 1	Aucune procédure ne décrit le moyen de gérer les consommables périmés, ou devant être reformés.	
Niveau 2	Une procédure décrit la façon de gérer les consommables périmés, et les composants devant être reformés, mais l'étiquetage ou la signalisation des dates de péremption n'existe pas ou est très partiel.	
Niveau 3	Les dates de péremption des consommables, et les dates de reformage des composants concernés, sont correctement gérées et identifiées via un étiquetage, et/ou via le système. Les instructions d'utilisation décrivent clairement comment gérer ces dates , mais ces documents n'ont pas fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	
Niveau 4	Les dates de péremption des consommables, et les dates de reformage des composants concernés, sont correctement gérées et identifiées via un étiquetage et via le système. Les instructions d'utilisation décrivent clairement comment gérer ces dates, et ces documents font l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation	Correspondance	N°
Mettre en place un traitement non différé des indicateurs de déroulement des tests.		100
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		4,7
INTEGRATION_EQUIPEMENT		4,7
Description complémentaire		
Un monitoring des indicateurs de déroulement du test permet d'intervenir dès l'apparition d'une anomalie :		
<ul style="list-style-type: none"> - Alarme dès détection d'une anomalie - Suspension de l'activité en cours si l'anomalie est considérée grave (pour ne pas stresser le sous-ensemble) - Intervention et correction de l'anomalie avant reprise/poursuite de l'activité - Si possible (volumes suffisant), définition d'un rendement de test minimum, en deça duquel le résultat est considéré comme anormal. 		
Question de l'audit		
Existe-t-il un traitement non différé des indicateurs de déroulement des tests de façon à ne pas dégrader le sous-ensemble à l'apparition d'une anomalie?		
Niveau 1	Il n'existe pas d'indicateurs de suivi de test.	
Niveau 2	Il existe un certain nombre d'indicateurs servant à identifier les anomalies survenues lors du test. Toutefois, ces indicateurs ne font pas l'objet d'un plan formel et/ou leur traitement est différé.	
Niveau 3	<p>Il existe un certain nombre d'indicateurs servant à identifier les anomalies survenues lors du test et le traitement de ces indicateurs permet d'intervenir dès l'apparition d'une anomalie.</p> <p>Des documents formalisent la façon de traiter ces indicateurs et les actions en découlant.</p> <p>Cependant ces données n'ont pas été validées par une autorité indépendante de l'exécutant.</p>	
Niveau 4	<p>Il existe un certain nombre d'indicateurs servant à identifier les anomalies survenues lors du test et le traitement de ces indicateurs permet d'intervenir dès l'apparition d'une anomalie.</p> <p>Des documents formalisent la façon de traiter ces indicateurs et les actions en découlant.</p> <p>De plus, ces documents ont fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.</p>	

Recommandation		Correspondance	N°
Contrôler continûment la température des étuves de séchage ou de polymérisation.			102
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			12,7
Description complémentaire			
Il est important que les équipements et matériaux ne subissent pas de stress thermiques non justifiés pendant les opérations de séchage et de polymérisation.			
La température des étuves doit être sous contrôle. Ce contrôle doit s'opérer par la mesure de cette température en continu, ou par contrôles périodiques fréquents, mais aussi par la vérification des consignes ou programme au début de l'opération. Ces différentes vérifications et mesures doivent être enregistrées par l'opérateur et tracées vis à vis du lot de production.			
Les actions correctives (arrêt programme, décisions vis à vis du lot de production) doivent être clairement définies dans une instruction.			
Question de l'audit			
La température des étuves de séchage et de polymérisation est-elle sous contrôle continu, à l'aide de sondes externes?			
Niveau 1	La température des étuves ne fait pas l'objet de contrôles fréquents ou continu, ni d'enregistrement		
Niveau 2	La température des étuves est contrôlée fréquemment ou en continu, avec enregistrement des contrôles. Ce contrôle ne fait pas l'objet d'un document décrivant les actions à réaliser		
Niveau 3	La température des étuves est contrôlée fréquemment ou en continu, avec enregistrement des contrôles, et avec des limites donnant lieu à action corrective. Ce contrôle fait l'objet d'un document décrivant les actions à réaliser. Cependant, ce document n'a pas été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.		
Niveau 4	La température des étuves est contrôlée fréquemment ou en continu, avec enregistrement des contrôles, et avec des limites donnant lieu à action corrective. Le résultat de ce contrôle est enregistré pour chaque lot. Ce contrôle fait l'objet d'un document décrivant les actions à réaliser. Ce document a été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation	Correspondance	N°
Analyser les exigences de fiabilité du donneur d'ordre.	EN9100 : N2	103
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SPECIFICATION		10,7
Description complémentaire Les exigences de fiabilité doivent être analysées, dans un double objectif : <ul style="list-style-type: none"> - Évaluation du risque de non-conformité ; - Optimisation de la performance de fiabilité versus son coût d'obtention (coût de conception du produit, coût de réalisation des études de fiabilité). L'analyse des exigences peut conduire : <ul style="list-style-type: none"> - A la négociation des exigences avec le client ; - A la formalisation d'un plan de gestion du risque de non-conformité aux exigences. Dans tous les cas, analyse et négociation doivent être menées en gardant à l'esprit l'état de l'art technologique.		
Question de l'audit Les exigences de fiabilité sont-elles analysées ? Le cas échéant, cette analyse conduit-elle à la négociation des exigences ou à la formalisation d'un plan de gestion des risques ?		
Niveau 1	Les exigences ne sont pas analysées.	
Niveau 2	Les exigences sont analysées de manière informelle. Il n'y a pas de plan de gestion des risques et les négociations, lorsqu'il y en a, restent informelles.	
Niveau 3	Les exigences sont analysées de manière formelle. Le plan de gestion des risques ou les négociations avec le donneur d'ordre restent informels.	
Niveau 4	Les exigences sont analysées. L'analyse des exigences conduit, lorsque nécessaire, à la formalisation d'un plan de gestion du risque de non-conformité ou à la négociation des exigences avec le client. Dans ce dernier cas, le résultat de la négociation est intégré dans l'offre finale, remise au donneur d'ordre.	

Recommandation		Correspondance	N°
Nommer un responsable des études de fiabilité.			104
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			8,5
Description complémentaire			
Nommer sur chaque affaire un responsable fiabilité qui sera le garant de la tenue des objectifs de fiabilité du produit. Cette personne devra rendre compte de l'avancement des études et des problèmes rencontrés.			
Question de l'audit			
A-t-on formellement nommé un responsable des études de fiabilité ?			
Niveau 1	Aucun responsable des études de fiabilité n'est identifié.		
Niveau 2	Il y a un responsable des études de fiabilité mais aucun enregistrement de sa nomination n'est disponible.		
Niveau 3	Un responsable des études de fiabilité a été formellement nommé. Son nom apparaît soit dans un plan de management programme soit dans un plan métier (plan fiabilité ou plan RAMS). Il est formé et a de l'expérience dans le domaine de la fiabilité.		
Niveau 4	Un responsable des études de fiabilité a été formellement nommé. Son nom apparaît soit dans un plan de management programme soit dans un plan métier (plan fiabilité ou plan RAMS). Il est formé et a de l'expérience dans le domaine de la fiabilité. Il est intégré au projet ; il rend compte régulièrement de l'avancement des études lors de réunions ou par des comptes-rendus.		

Recommandation Maîtriser la sous-traitance des études de fiabilité.	Correspondance ISO9001 : N3 EN9100 : N3	N° 105
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable SUPPORT		Poids 10
Description complémentaire Le suivi de la sous-traitance des études de fiabilité doit être organisé et formalisé : - Description du processus de communication et d'échanges de données avec le sous-traitant ; - Organisation de réunions périodiques avec le sous-traitant.		
Question de l'audit Comment assure-t-on la maîtrise de la sous-traitance des études de fiabilité ?		
Niveau 1 Le suivi de la sous-traitance n'est ni organisé, ni formalisé.		
Niveau 2 Le suivi de la sous-traitance est incomplet (au moins un des deux critères de la description complémentaire n'est pas respecté).		
Niveau 3 Le suivi de la sous-traitance est complet, au sens des deux critères de la description complémentaire, mais il n'est pas formalisé dans un plan de management affaire.		
Niveau 4 Un plan de management de l'affaire décrit le suivi de la sous-traitance ; il couvre à minima les deux critères de la description complémentaire.		

Recommandation		Correspondance	N°
Traiter les aspects fiabilité dans les revues de conception.		ISO9001 : N3 EN9100 : N4	106
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SPECIFICATION			10,3
CONCEPTION			12,1
Description complémentaire			
Les revues de conception doivent traiter des aspects fiabilité. La conformité aux exigences de fiabilité doit y être adressée. Doivent y être définies : - Les allocations de fiabilité, - Les conditions d'utilisation (profil de vie).			
Question de l'audit			
Les revues de conception traitent-elles des aspects fiabilité ?			
Niveau 1	Il n'y a pas de revue de conception ou les revues de conception n'adressent pas les aspects fiabilité.		
Niveau 2	Les revues de conception adressent les aspects fiabilité de façon incomplète ou les revues de conception se déroulent en l'absence des spécialistes de la fiabilité.		
Niveau 3	Les revues de conception adressent les aspects fiabilité de façon complète et se déroulent en présence des spécialistes de la fiabilité.		
Niveau 4	Les revues de conception adressent les aspects fiabilité de façon complète et se déroulent en présence des spécialistes de la fiabilité. Une procédure ou un plan impose ces revues et la présence des spécialistes de la fiabilité.		

Recommandation		Correspondance	N°
Traiter les aspects fiabilité dans les revues d'exigences.		ISO9001 : N3 EN9100 : N4	107
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SPECIFICATION			10,3
Description complémentaire			
Les revues d'exigences doivent traiter les exigences de fiabilité et permettre de vérifier : - Que toutes les exigences de fiabilité sont identifiées et tracées - Que les exigences de fiabilité répondent au besoin du donneur d'ordre (contrat) - Que les exigences de fiabilité sont atteignables, vérifiables et validables (moyens de conformité).			
Question de l'audit			
Les revues d'exigences traitent-elles des exigences de fiabilité ?			
Niveau 1	Il n'y a pas de revue d'exigences ou les revues d'exigences n'adressent pas les exigences de fiabilité.		
Niveau 2	Les revues d'exigences adressent les exigences de fiabilité de façon incomplète ou les revues d'exigences se déroulent en l'absence des spécialistes de la fiabilité.		
Niveau 3	Les revues d'exigences adressent les exigences de fiabilité de façon complète et se déroulent en présence des spécialistes de la fiabilité.		
Niveau 4	Les revues d'exigences adressent les aspects fiabilité de façon complète et se déroulent en présence des spécialistes de la fiabilité. Une procédure ou un plan impose ces revues et la présence des spécialistes de la fiabilité.		

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Mener des activités de croissance de fiabilité.		110
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SUPPORT		9,1
Description complémentaire		
Décrire dans le plan de fiabilité les activités liées à la croissance de fiabilité et les réaliser de façon documentée.		
Question de l'audit		
Des activités de croissance de fiabilité sont-elles menées ?		
Niveau 1	Aucune activité liée à la croissance de fiabilité du produit n'a été planifiée ni réalisée.	
Niveau 2	Des activités liées à la croissance de fiabilité existent mais ne sont décrites dans aucun plan.	
Niveau 3	Les activités liées à la croissance de fiabilité sont décrites dans un plan et sont partiellement réalisées.	
Niveau 4	Les activités liées à la croissance de fiabilité sont décrites dans un plan et sont complètement réalisées.	

Recommandation Planifier les études de fiabilité.		Correspondance ISO9001 : N3 EN9100 : N3	N° 111
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable SUPPORT			Poids 8
Description complémentaire Planifier les études de fiabilité en assurant leur synchronisation avec la conception du produit. Intégrer les activités fiabilité aux plannings affaire.			
Question de l'audit Les études de fiabilité sont-elles planifiées ?			
Niveau 1	Les études de fiabilité ne sont pas planifiées.		
Niveau 2	Les études de fiabilité sont planifiées de façon informelle (planning défini et mis à jour par l'équipe fiabilité).		
Niveau 3	Les études de fiabilité sont identifiées dans un planning affaire.		
Niveau 4	Les études de fiabilité sont identifiées dans un planning affaire qui est mis à jour. La synchronisation avec la conception du produit est formalisée : jalons, points d'arrêt, etc.		

Recommandation		Correspondance	N°
Posséder des sécurités hautes et basses sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance.			112
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			5,7
Description complémentaire			
Des sécurités hautes et basses sont définies sur tous les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance (exemple : température fournie par une sonde). En cas d'excursion en dehors des limites de sécurité, un arrêt automatique du cycle est commandé et un technicien analyse la situation avant toute relance.			
Question de l'audit			
Des sécurités hautes et basses sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance sont-elles définies? Entraînent-elles un arrêt systématique du cycle et une analyse par un technicien avant relance?			
Niveau 1	Les sécurités basses et hautes sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance, si elles existent, n'engendrent pas d'arrêt automatique.		
Niveau 2	Des sécurités basses et hautes existent sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance et toute excursion en dehors des limites de sécurité engendre un arrêt automatique. Cependant, aucun document n'identifie formellement les limites de sécurité et les procédures d'arrêt.		
Niveau 3	Des sécurités basses et hautes existent sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance et toute excursion en dehors des limites de sécurité engendre un arrêt automatique. Les limites de sécurité sont formellement identifiées dans un document propre à chaque moyen, qui identifie également les procédures d'arrêt.		
Niveau 4	Des sécurités basses et hautes existent sur les paramètres des moyens de contrôle et de surveillance et toute excursion en dehors des limites de sécurité engendre un arrêt automatique. Les limites de sécurité sont formellement identifiées dans un document propre à chaque moyen, qui identifie également les procédures d'arrêt. De plus, ces documents ont été validés par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation	Correspondance	N°
Posséder les enregistrements des contrôles et essais.	EN9100 : N2	113
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		5,3
INTEGRATION_SYSTEME		5,3
Description complémentaire Les enregistrements apportant la preuve que le produit a subi les contrôles et/ou les essais conformément aux critères définis doivent être établis et conservés. Les enregistrements doivent permettre d'identifier la personne ayant effectué les contrôles et la libération du produit. Les enregistrements d'essais doivent indiquer les valeurs mesurées lorsqu'elles sont exigées par la spécification ou le plan de réception. Si spécifié, le fournisseur doit démontrer la qualification du produit.		
Question de l'audit Établit-on et conserve-t-on des enregistrements apportant la preuve que le produit a subi les contrôles et/ou les essais conformément aux critères définis? Les enregistrements permettent-ils d'identifier la personne ayant effectué les contrôles?		
Niveau 1	Des enregistrements des contrôles et essais sont établis mais non conservés.	
Niveau 2	Des enregistrements des contrôles et essais sont établis et conservés mais ne permettent pas d'identifier la source du contrôle (personnes, machine).	
Niveau 3	Des enregistrements des contrôles et essais sont établis et conservés et permettent d'identifier la source du contrôle (personnes, machine).	
Niveau 4	Des enregistrements apportent la preuve que le produit a subi les contrôles et/ou les essais conformément aux critères définis. Les enregistrements permettent d'identifier la personne ayant effectué les contrôles et autorisé la libération du produit. Les enregistrements d'essais indiquent les valeurs mesurées lorsqu'elles sont exigées par la spécification ou le plan de réception.	

Recommandation	Correspondance	N°
Posséder un dossier de contrôle.	EN9100 : N4	114
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
INTEGRATION_EQUIPEMENT		5,7
INTEGRATION_SYSTEME		5,7
EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE		5,7
Description complémentaire		
Le dossier de contrôle doit contenir:		
<ul style="list-style-type: none"> - les critères pour l'acceptation et le refus, - une liste séquentielle des opérations de contrôles et d'essais à effectuer, - les documents d'enregistrement des résultats de contrôle, - une liste des instruments de contrôle spécifiques et non spécifiques, - les documents associés aux instruments de contrôle spécifiques permettant leur conception, leur production, leur validation, leur gestion, leur utilisation et leur maintenance . 		
Question de l'audit		
Y a-t-il un dossier de contrôle regroupant les critères d'acceptation, la liste séquentielle des opérations de contrôle et d'essais, les documents d'enregistrement des résultats de contrôles, la liste des instruments de contrôle spécifiques et non spécifiques?		
Niveau 1	Pas de dossier de contrôle.	
Niveau 2	Le dossier de contrôle se limite à la définition des critères d'acceptation ou de refus.	
Niveau 3	Le dossier de contrôle définit des critères d'acceptation ou de refus, ainsi que la liste des opérations à effectuer. Il propose des documents d'enregistrement des résultats de contrôle.	
Niveau 4	Le dossier de contrôle contient: la définition des critères d'acceptation ou de refus, complétée au besoin par des photos des défauts acceptables/non acceptables pour les inspections visuelles, la liste séquentielle des opérations de contrôle et d'essais à effectuer, les documents d'enregistrement des résultats de contrôle, la liste des instruments de contrôle spécifiques et non spécifiques, les documents associés aux instruments de contrôle spécifiques permettant leur conception, leur production, leur validation, leur gestion, leur utilisation et leur maintenance.	

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Maitriser la qualité des informations des rapports de non-conformité.	ISO9001 : N4 EN9100 : N4	116
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		13,0
FABRICATION		12,0
INTEGRATION_EQUIPEMENT		11,1
INTEGRATION_SYSTEME		11,1
EXPLOITATION_&_MAINTENANCE		11,1
Description complémentaire		
Les rapports de non-conformité doivent préciser:		
<ul style="list-style-type: none">- l'identification du produit,- la description de la non-conformité,- la cause de la non-conformité,- les actions prises pour éviter la récurrence de la non-conformité,- les retouches ou réparations si nécessaire,- le contrôle des caractéristiques affectées par la retouche ou les réparations,- la décision finale.		
Question de l'audit		
Quelles informations sont décrites dans les rapports de non-conformité?		
Niveau 1	Il n'y a pas de documentation spécifique à la non conformité.	
Niveau 2	La documentation spécifique à la non conformité a un rôle unique d'identification du produit non conforme.	
Niveau 3	Les documents de non-conformité précisent l'identification du produit, la description de la non-conformité, la cause de la non-conformité. Cependant les actions ne sont pas formalisées pour éviter la récurrence de la non-conformité, les retouches ou réparations si nécessaire et le contrôle des caractéristiques affectées par la retouche ou les réparations.	
Niveau 4	Les documents de non-conformité précisent l'identification du produit, la description de la non-conformité, la cause de la non-conformité. Des actions sont formalisées pour éviter la récurrence de la non-conformité, les retouches ou réparations si nécessaire et le contrôle des caractéristiques affectées par la retouche ou les réparations.	

Recommandation Prendre en compte la politique de maintenance du produit, telle que définie par le donneur d'ordre.		Correspondance	N° 117
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable SPECIFICATION			Poids 5,8
Description complémentaire La politique de maintenance du donneur d'ordre est à prendre en compte de manière à préserver la fiabilité du produit dans le temps.			
Question de l'audit Comment est prise en compte la politique de maintenance du produit définie par le donneur d'ordre ?			
Niveau 1	La politique de maintenance du produit n'est pas connue.		
Niveau 2	La politique de maintenance est connue mais a été définie sans prendre en compte les aspects fiabilité.		
Niveau 3	La politique de maintenance est connue et a été définie en prenant en compte les aspects fiabilité (identification et suivi des éléments critiques).		
Niveau 4	La politique de maintenance est connue et a été définie en prenant en compte les aspects fiabilité (identification et suivi des éléments critiques). Les responsables fiabilité ont participé à la définition de la politique de maintenance. La politique de maintenance est formalisée dans un document.		

Recommandation		Correspondance	N°
Prévoir des consultations périodiques des donneurs d'ordre liées aux aspects fiabilité.		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	119
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			7,3
Description complémentaire			
Consulter régulièrement les donneurs d'ordre sur les aspects fiabilité opérationnelle et prendre en compte ces remarques pour la conception des nouveaux produits. Cette consultation peut être menée au travers des enquêtes de satisfaction client, qui doivent prendre en compte les aspects fiabilité.			
Question de l'audit			
Y a-t-il des consultations périodiques de prévues avec les clients pour les aspects fiabilité ?			
Niveau 1	Aucun retour des donneurs d'ordre sur sa perception de la fiabilité des produits n'est disponible.		
Niveau 2	Des retours issus des donneurs d'ordre concernant la fiabilité sont disponibles, mais très peu sont exploités.		
Niveau 3	Les retours issus des donneurs d'ordre concernant la fiabilité sont disponibles et exploités pour améliorer la conception, le développement et la production du produit.		
Niveau 4	L'entreprise consulte régulièrement ses donneurs d'ordre sur la fiabilité de ses produits (entretiens formels ou enquête par questionnaires). Ces retours sont exploités et font l'objet de plan d'actions dont les résultats sont diffusés au donneur d'ordre. L'efficacité de ce processus peut être démontrée par la satisfaction du donneur d'ordre.		

Recommandation	Correspondance	N°
S'assurer du contrôle de la pose d'épargnes avant vernissage.		120
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		6,5
Description complémentaire		
La qualité des épargnes avant vernissage est importante vis-à-vis de la possible défiabilisation des connecteurs ou drains thermiques en utilisation.		
Ce contrôle de cette opération doit apparaitre dans le Plan de Contrôle du process de fabrication.		
Question de l'audit		
Y a-t-il une étape de contrôle (même visuel) du bon déroulement de l'activité de la pose d'épargnes avant vernissage?		
Niveau 1	Aucun contrôle visuel particulier n'est réalisé lors de la pose des épargnes avant vernissage.	
Niveau 2	Un contrôle dédié à la pose des épargnes pour le vernissage est réalisé, cependant aucun document ne décrit la procédure à respecter pour faire ce contrôle.	
Niveau 3	Un contrôle dédié à la pose des épargnes avant vernissage est réalisé. Ce contrôle particulier fait l'objet d'un chapitre d'instruction formalisée. Ce document n'a cependant pas été validé par une autorité indépendante, ou n'apparait pas dans le Plan de Contrôle.	
Niveau 4	Un contrôle dédié à la pose des épargnes avant vernissage est réalisé. Ce contrôle particulier fait l'objet d'un chapitre d'instruction formalisée. Ce document est validé par une autorité indépendante, et apparait dans le Plan de Contrôle.	

Recommandation	Correspondance	N°
Réaliser un contrôle des paramètres machine, avant chaque utilisation d'un moyen de production sur une carte ou un sous-ensemble (Set up).	ISO9001 : N2 EN9100 : N2	121
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		4,7
INTEGRATION_EQUIPEMENT		4,7
Description complémentaire		
<p>Il est important de déceler toute anomalie éventuelle avant utilisation d'une machine sur une carte ou un sous-ensemble.</p> <p>Ceci est réalisé au travers de contrôles (appelés set-up machine), effectués par l'opérateur à des étapes importantes de la production:</p> <ul style="list-style-type: none"> - démarrage machine - changement de produit (conversion) - changement de lot de production - changement d'équipe opérateurs - changement de certains consommables <p>Ces opérations de contrôle sont clairement décrites dans les instructions machine, et donnent lieu à des enregistrements.</p>		
Question de l'audit		
<p>Réalise-t-on un contrôle des paramètres machine avant chaque utilisation d'un moyen de production?</p> <p>Ce contrôle est-il décrit dans l'instruction machine associée?</p>		
Niveau 1	Il n'existe pas d'évidence de contrôle méthodique des paramètres machines lors des changements critiques.	
Niveau 2	Un certain nombre de paramètres machine sont vérifiés lors des changements critiques. Ces contrôles ne sont pas exhaustifs et ne font pas l'objet d'un document formel.	
Niveau 3	<p>Les paramètres machine sont systématiquement vérifiés lors des changements critiques. Ces contrôles sont décrits dans une instruction machine.</p> <p>Cependant, ce document n'est pas dûment validé, ou les contrôles ne font pas l'objet d'enregistrements.</p>	
Niveau 4	<p>Les paramètres machine sont systématiquement vérifiés lors des changements critiques. Ces contrôles sont décrits dans une instruction machine, validée par une autorité indépendante.</p> <p>Les contrôles paramètres font l'objet d'enregistrements, dont l'analyse postérieure des anomalies peut donner lieu à des actions correctives ou préventives.</p>	

Recommandation	Correspondance	N°
Rédiger un plan de fiabilité.		122
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SPECIFICATION		7,6
Description complémentaire Un plan de fiabilité est rédigé. Il intègre, à minima : <ul style="list-style-type: none"> - Un descriptif de l'organisation (matérielle et humaine) du projet ; - Un rappel des exigences relatives à la fiabilité ; - Un descriptif de la méthodologie de calcul et des hypothèses sous-jacentes (granulométrie de l'étude, profil de vie, etc.) ; - Un descriptif de la méthode de démonstration des exigences ; - Un descriptif de la méthode d'exploitation du retour d'expérience ; - Un descriptif des activités à conduire en cas de non-conformité. En l'absence de plan fiabilité, les sujets ci-dessus doivent être complètement traités dans un plan RAMS/RAMT ou dans un plan de développement.		
Question de l'audit A-t-on rédigé un plan de fiabilité pour le produit ?		
Niveau 1	Aucun plan de fiabilité n'a été rédigé.	
Niveau 2	Un plan de fiabilité est rédigé de manière informelle ; il n'est pas validé par le projet.	
Niveau 3	Le plan de fiabilité est rédigé et validé par le projet. Ce document, rédigé initialement, n'est pas mis à jour au cours du projet.	
Niveau 4	Le plan de fiabilité est rédigé et validé par le projet. Ce document est maintenu tout au long du projet suivant les événements susceptibles de le faire évoluer.	

Recommandation		Correspondance	N°
Assurer la planification des activités de sûreté de fonctionnement.		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	123
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			17,7
Description complémentaire			
S'assurer qu'il existe un plan (exemple : plan de management affaire ou plan de management de la Sûreté de Fonctionnement) qui décrit clairement les activités à mener, leurs interactions (entrées/sorties) et leurs imbrications avec les autres activités et les ajustements au référentiel.			
Question de l'audit			
Y a-t-il un plan intégrant les aspects Sûreté de Fonctionnement ?			
Y-a-t-il une planification des activités et une identification des intervenants ?			
Niveau 1	Il n'y a pas de plan de management, ni de planning décrivant les tâches à accomplir. Aucune organisation n'est mise en place.		
Niveau 2	Le plan de management est incomplet : - Il ne précise pas les éventuels ajustements au référentiel ; - Le planning décrivant les tâches à accomplir et l'organisation mise en place est imprécis et/ou incompatible des ressources disponibles.		
Niveau 3	Le plan de management est incomplet : - Il ne précise pas les éventuels ajustements au référentiel ; - Le planning décrivant les tâches à accomplir et l'organisation mise en place est précis mais non validé par des pairs (référents du métier).		
Niveau 4	Le plan de management est complet : - Il précise les éventuels ajustements au référentiel ; - Le planning décrivant les tâches à accomplir et l'organisation mise en place est précis et validé. Le plan validé par des pairs (référents du métier).		

Recommandation Rédiger une procédure d'acceptation finale.	Correspondance ISO9001 : N3 EN9100 : N4	N° 124
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 7,8
Description complémentaire S'assurer qu'il existe une procédure d'acceptation et qu'elle est pertinente. La procédure d'acceptation est rédigée à partir d'un dossier de définition et d'un dossier de fabrication orienté test et inspection finale.		
Question de l'audit Existe-t-il une procédure d'acceptation finale pour les tests en production?		
Niveau 1 Il n'y a pas de procédure d'acceptation.		
Niveau 2 Existence d'une procédure d'acceptation mais réalisée en production indépendamment des équipes de développement.		
Niveau 3 Existence d'une procédure d'acceptation réalisée au cours du développement intégrant les suivis de configuration mais non validée et non tracée.		
Niveau 4 La procédure d'acceptation est adaptée au produit (preuve de traçabilité d'application au produit et sa configuration) et validée.		

Recommandation	Correspondance	N°
Réviser et robustifier les contrôles des moyens de production pour éliminer toute possibilité de dégradation des connexions des composants		126
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		6,7
Description complémentaire Afin d'éviter d'endommager les connexions des composants lors des opérations de production, et particulièrement lors du placement des composants, les paramètres machines et les outils doivent faire l'objet d'une spécification de contrôle. Cette spécification, et les instructions associées, doivent être mises à jour périodiquement, en prenant en compte les incidents machine, les résultats d'inspection carte (selon IPC) et les évolutions de procédé production. Calibration et set-up machine concourent également à cette prévention.		
Question de l'audit La spécification de contrôle machine de placement est-elle mise à jour périodiquement? Les résultats d'inspection carte sont-ils pris en compte?		
Niveau 1	Il n'existe pas de spécification des moyens de production couvrant les risques liés à la manipulation des composants.	
Niveau 2	Il existe une spécification des moyens de production couvrant les risques liés à la manipulation des composants. Mais cette spécification n'est pas mise à jour régulièrement.	
Niveau 3	Il existe une spécification des moyens de production couvrant les risques liés à la manipulation des composants. Cette spécification est mise à jour régulièrement, mais ce document n'est pas validé par une autorité indépendante ou ne fait pas l'objet d'une AMDEC dédiée.	
Niveau 4	Il existe une spécification des moyens de production couvrant les risques liés à la manipulation de composant. Cette spécification est mise à jour régulièrement, et est validée par une autorité indépendante. Le risque de détérioration des connexions des composants fait l'objet d'une AMDEC.	

Recommandation	Correspondance	N°
S'assurer de la maîtrise de la préparation des matériaux transformables par une procédure qualifiée et des mesures de contrôle.		127
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		5,9
Description complémentaire		
La préparation des matériaux transformables (crème à braser, colles, résine, vernis) doit avoir été qualifiée et sa reproductibilité doit être assurée.		
Les instructions doivent donc avoir fait l'objet d'études et le Plan de Contrôle doit faire figurer les spécifications de contrôles associées.		
Les observations et contrôles doivent être enregistrés dans la fiche suiveuse de lot.		
Question de l'audit		
Comment s'assure-t-on de la maitrise de la préparation des matériaux transformables (crème à braser, colles, vernis)?		
Niveau 1	Tous les matériaux transformables (crème à braser, colles, vernis) ne font pas l'objet d'une instruction de préparation qualifiée et d'un contrôle qualité.	
Niveau 2	Tous les matériaux transformables (crème à braser, colles, vernis) font l'objet d'une instruction de préparation. Cependant ces documents ne sont pas basés sur des études de qualification procédé, ou ne font pas apparaitre de contrôles qualité associés.	
Niveau 3	Tous les matériaux transformables (crème à braser, colles, vernis) font l'objet d'une instruction de préparation. Ces documents font apparaitre systématiquement les contrôles qualité associés, avec enregistrement dans la fiche suiveuse de lot, mais ne sont pas toutes basées sur des études de qualification procédé.	
Niveau 4	Tous les matériaux transformables (crème à braser, colles, vernis) font l'objet d'une instruction de préparation. Ces documents font apparaitre systématiquement les contrôles qualité associés, avec enregistrement dans la fiche suiveuse de lot, et sont tous basés sur des études de qualification procédé. Un changement de matériau fait l'objet d'une requalification. Ces documents ont fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante.	

Recommandation	Correspondance	N°
Maintenir les compétences des opérateurs et techniciens par la formation continue et des contrôles fréquents	ISO9001 : N3 EN9100 : N3	128
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		4,4
INTEGRATION_EQUIPEMENT		10,0
Description complémentaire		
<p>Au-delà d'une formation initiale, et de la certification de l'opérateur/technicien pour les tâches qui lui sont confiées, il est important de s'assurer que cette compétence est ancrée et tient compte des évolutions de procédés. Ce contrôle, et les corrections associées, peuvent s'appuyer sur diverses actions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la re-certification de l'opérateur au bout d'un temps dépendant de la criticité de l'opération vis à vis de la qualité et la fiabilité - la formation à de nouvelles méthodes ou procédés - les audits internes menés par la qualité, et les audits externes par des services indépendants - l'enregistrement et l'analyse des non-conformités ou des retours clients - la gestion des compétences dans les équipes (prévention du turn-over par exemple) 		
Question de l'audit		
Des actions, formations et mesures sont-elles réalisées afin de maintenir la compétence des opérateurs et des techniciens?		
Les changements de procédés donnent-ils lieu à formations complémentaires?		
Comment est géré le turn-over des opérateurs ou techniciens?		
Niveau 1	Aucun plan de mise à niveau des connaissances des opérateurs n'est mis en place.	
Niveau 2	Une mise à jour des compétences des opérateurs est assurée. Cependant, cette mise à jour n'est pas décrite de façon formelle dans des documents.	
Niveau 3	<p>Une mise à jour des compétences des opérateurs est assurée.</p> <p>Cette mise à jour fait l'objet de documents décrivant plan de formation et événements donnant lieu à mise à jour.</p> <p>Mais ces documents n'ont pas été validés, ou il n'y a pas de contrôle en ligne du contrôle des connaissances (audits qualité)</p>	
Niveau 4	<p>Une mise à jour des compétences des opérateurs est assurée.</p> <p>Cette mise à jour fait l'objet de documents décrivant plan de formation et événements donnant lieu à mise à jour.</p> <p>Une validation de ces documents par une autorité indépendante de l'exécutant a été réalisée.</p> <p>Le contrôle des connaissances est réalisé au travers des audits qualité internes.</p> <p>La gestion des compétences par poste fait l'objet d'une analyse constante.</p>	

Recommandation	Correspondance	N°
S'assurer de l'efficacité du contrôle qualité final du vernissage selon une procédure adaptée.		129
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		5,2
Description complémentaire		
Le vernissage doit faire l'objet d'une application stricte de la procédure de contrôle. Cet ultime contrôle recouvre l'inspection visuelle et la vérification de toutes les étapes de ce procédé. La norme IPC-A-610 est la norme de référence.		
Question de l'audit		
S'assure-t-on de l'efficacité du contrôle final qualité du vernissage par une application stricte de la procédure de contrôle?		
Niveau 1	Le contrôle final du vernissage n'est pas clairement réalisé de façon systématique	
Niveau 2	Le contrôle final du vernissage est réalisé systématiquement, mais il n'existe pas de document détaillant les points de contrôle et les exigences.	
Niveau 3	Le contrôle final du vernissage est réalisé systématiquement. Il existe un document détaillant les points de contrôle et les exigences. Cependant, ce document ne fait pas référence à une norme reconnue ou n'a pas été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.	
Niveau 4	Le contrôle final du vernissage est réalisé systématiquement. Il existe un document détaillant les points de contrôle et les exigences. Ce document fait référence à la norme IPC-A-610 et a été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation	Correspondance	N°
S'assurer de la disponibilité des éléments nécessaires à l'évaluation de la fiabilité.	ISO9001 : N4 EN9100 : N4	130
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		7,5
Description complémentaire		
S'assurer que les données d'entrée nécessaires à l'évaluation de la fiabilité sont disponibles.		
Ces données incluent :		
<ul style="list-style-type: none"> - Le dossier de définition (incluant les architectures fonctionnelles et physiques, les schémas électriques, le profil de vie et les exigences de fiabilité) - Les nomenclatures - Les rapports d'analyse thermique - L'analyse des taux de charge (derating) 		
Ces données d'entrée ont été validées.		
Question de l'audit		
Les éléments nécessaires à l'évaluation de la fiabilité sont-ils disponibles ?		
Ces données d'entrée sont-elles issues de documents validés ?		
Niveau 1	Les données nécessaires à l'évaluation de la fiabilité ne sont pas validées.	
Niveau 2	Les données nécessaires à l'évaluation de la fiabilité sont incomplètes ou partiellement validées ou non à jour.	
Niveau 3	Les données nécessaires à l'évaluation de la fiabilité sont disponibles, à jour et validées mais incomplètes (cf. liste de la description complémentaire).	
Niveau 4	Toutes les données nécessaires à l'évaluation de la fiabilité (cf. liste de la description complémentaire) sont disponibles, à jour et validées.	

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
S'assurer de l'existence de règles en conception pour adapter le choix d'un composant au niveau de fiabilité requis.	ISO9001 : N4 EN9100 : N4	131
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		12,7
Description complémentaire		
S'assurer qu'il existe une méthodologie de conception imposant des règles adaptées au niveau de fiabilité requis :		
<ul style="list-style-type: none">- Choix de boîtiers (dimensions, matériaux) adaptés aux conditions d'emploi- Choix de composants dont la durée de vie est adaptée à la durée de vie de l'équipement- Règles mécaniques (raidisseurs, etc.)- Etc		
S'assurer qu'il y a vérification de l'application des règles.		
Question de l'audit		
Y a-t-il des règles en conception pour adapter le choix d'un composant au niveau de fiabilité requis ?		
Niveau 1	Il n'y a pas de règles en conception orientées fiabilité.	
Niveau 2	Il existe des règles mais non formalisées (non mises à jour, non validées).	
Niveau 3	Il existe des règles formalisées ; elles sont mises à jour mais non validées.	
Niveau 4	Il existe des règles formalisées ; elles sont mises à jour, validées et appliquées.	

Recommandation		Correspondance	N°
S'assurer de l'existence d'une définition des points de test en production et de l'application des recommandations de test par la production.			132
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			6
Description complémentaire			
S'assurer de l'existence d'une définition des points de test. S'assurer que les contraintes de l'opération de test (précisées par le responsable de test) sont intégrées dans la définition du produit et déclinées au responsable de production.			
Remarque : la définition des points de test peut découler des caractéristiques clés identifiées dans l'AMDEC conception.			
Question de l'audit			
Existe-t-il une définition des points de test et une application des recommandations pour les tests en production ?			
Niveau 1	Les points de test n'ont pas été définis ou le responsable de production n'a pas d'information sur la méthode de mise en œuvre des tests sur le produit.		
Niveau 2	Le responsable de production a connaissance de la méthode de mise en œuvre des tests et a participé aux recommandations de tests.		
Niveau 3	Le responsable de production a connaissance de la méthode de mise en œuvre des tests et a participé aux recommandations de tests. Il existe un recueil validé des recommandations explicitant la façon de réaliser les tests. Il n'y a pas de traçabilité (aucune garantie de l'application des recommandations).		
Niveau 4	Le responsable de production a connaissance de la méthode de mise en œuvre des tests et a participé aux recommandations de tests. Il existe un recueil validé des recommandations explicitant la façon de réaliser les tests. Une preuve d'application des recommandations est fournie.		

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
S'assurer de l'existence d'une procédure de qualification du produit et du process de fabrication.	ISO9001 : N4 EN9100 : N4	133
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
CONCEPTION	7,2	
Description complémentaire		
S'assurer de l'existence d'une procédure de qualification des produits et du process, incluant la description de l'essai de qualification. Cette procédure est validée et mise à jour conformément aux pratiques de l'entité.		
Question de l'audit		
Y a-t-il une procédure de qualification des produits et du processus de fabrication?		
Niveau 1	Il n'y a pas de procédure de qualification du produit et du process.	
Niveau 2	Il existe une procédure de qualification du produit mais il n'existe pas de procédure de qualification du process	
Niveau 3	Il existe une procédure de qualification du produit et une procédure de qualification du process mais l'adéquation des deux procédures n'est pas vérifiée.	
Niveau 4	Il existe une procédure de qualification du produit et une procédure de qualification du process ; l'adéquation des deux procédures est vérifiée.	

Recommandation S'assurer de l'existence d'une procédure de qualification produit fournisseur de rang 1.	Correspondance EN9100 : N2	N° 134
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 7,6
Description complémentaire S'assurer que les fournisseurs de rang 1 sont qualifiés et que les aspects suivant sont couverts : - Qualité, - Fiabilité, - Pérennité. S'assurer que le niveau de qualification initial est maintenu dans le temps (audits, analyses, tests, etc.).		
Question de l'audit Y a-t-il une procédure de qualification produit fournisseur de rang 1 ? Sur quels critères est basée cette qualification ?		
Niveau 1	Les fournisseurs ne sont pas qualifiés.	
Niveau 2	Une qualification partielle des fournisseurs est réalisée, de façon informelle.	
Niveau 3	Le référentiel entreprise demande d'effectuer une qualification des fournisseurs selon les critères de qualité, de fiabilité et de pérennité. Celle-ci est effective et basée sur des activités formelles : analyse des données fournisseurs, entretien avec les fournisseurs, analyse des prestations antérieures, audits, certification ISO, et).	
Niveau 4	Le référentiel entreprise demande d'effectuer une qualification des fournisseurs selon les critères de qualité, de fiabilité et de pérennité. Celle-ci est effective et basée sur des activités formelles : analyse des données fournisseurs, entretien avec les fournisseurs, analyse des prestations antérieures, audits, certification ISO, et). Il existe une procédure de maintien de la qualification dans le temps.	

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
S'assurer de l'existence d'une procédure de qualification des composants spécifiques ou des nouvelles technologies.		135
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
CONCEPTION	7,2	
Description complémentaire		
Cette recommandation concerne les composants spécifiques (par exemple, les ASICs ou les hybrides).		
S'assurer qu'il existe une procédure de qualification afin d'évaluer les risques liés à l'utilisation des composants spécifiques ou des nouvelles technologies.		
Question de l'audit		
Les composants spécifiques et les nouvelles technologies sont-ils qualifiés avant leur utilisation ? Existe-t-il une procédure de qualification ?		
Niveau 1	Il n'y a pas de procédure.	
Niveau 2	il existe des règles informelles.	
Niveau 3	Il existe une procédure.	
Niveau 4	Il existe une procédure gérée et suivant l'évolution des technologies ; elle est validée par les services techniques compétents. Des preuves de son application existent.	

Recommandation Utiliser une méthodologie éprouvée et un outil qualifié pour réaliser les calculs prévisionnels de fiabilité.	Correspondance	N° 137
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable CONCEPTION		Poids 7,7
Description complémentaire S'assurer que le calcul prévisionnel de fiabilité est effectué selon une méthodologie reconnue et avec un outil qualifié.		
Question de l'audit Est-ce que la méthode utilisée pour l'évaluation de la fiabilité prévisionnelle est reconnue et validée par le retour d'expérience ? Est-ce que l'outil utilisé pour réaliser les calculs est qualifié ?		
Niveau 1 Aucune méthodologie n'est identifiée : aucune norme, guide ou instruction n'a été suivi. L'outil n'est ni reconnu ni validé par évaluation.		
Niveau 2 Une méthodologie est identifiée mais n'est ni reconnue ni validée. L'outil est reconnu mais non validé par évaluation.		
Niveau 3 La méthodologie et l'outil sont reconnus mais ne sont pas validés par évaluation.		
Niveau 4 La méthodologie et l'outil sont reconnus et validés suite à une évaluation.		

Recommandation	Correspondance	N°
S'assurer que le logiciel embarqué chargé est le bon et conserver l'identification de sa version.		138
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
FABRICATION		6,7
INTEGRATION_EQUIPEMENT		6,7
INTEGRATION_SYSTEME		6,7
Description complémentaire		
S'assurer que le logiciel embarqué chargé est le bon et plus particulièrement qu'il correspond bien à la dernière version à utiliser sur le sous-ensemble. Cette information d'identification doit de plus faire l'objet d'une traçabilité dans la suite du processus.		
Question de l'audit		
S'assure-t-on que le logiciel chargé embarqué est le bon et conserve-t-on l'identification de sa version?		
Niveau 1	Aucune identification du logiciel embarqué chargé n'est effectuée.	
Niveau 2	Suite à un chargement logiciel embarqué sur un sous-ensemble hardware, un identifiant du logiciel chargé est fourni, assurant que celui-ci est conforme au sous-ensemble. Cependant, aucun document ne décrit précisément le format ou la consigne de cet identifiant.	
Niveau 3	Pour chaque chargement de logiciel embarqué, l'opérateur dispose de la version du logiciel à utiliser. Un identifiant de la version à utiliser est fourni après l'opération.	
Niveau 4	Pour chaque chargement de logiciel embarqué, l'opérateur dispose de la version du logiciel à utiliser. Un identifiant de la version à utiliser est fourni après l'opération. Une vérification croisée est formalisée.	

Recommandation	Correspondance	N°
S'assurer que l'on dispose d'une maintenance préventive des moyens de production et que cette maintenance fait l'objet d'un suivi.		139
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		5,9
INTEGRATION_EQUIPEMENT		5,9
Description complémentaire Les opérations de maintenance préventive des moyens de production doit s'appuyer sur des critères d'usure/usage spécifiés (durée, nombre d'opération ou dérives) et prendre en compte l'historique récent des non-conformités et dérives caractéristiques mesurées. La maintenance des équipements consiste à recalibrer/réparer les outils, et à remplacer les pièces usagées ou ayant atteint leur durée de vie maximale autorisée. Cette fonction peut être confiée à une équipe dédiée, qui gère aussi les besoins de contrôle et réparation par des entreprises extérieures (qui peuvent dépendre du fabricant machine lui-même).		
Question de l'audit Existe-t-il une maintenance préventive des moyens de production? Cette maintenance fait-elle l'objet d'un suivi?		
Niveau 1 Le suivi de la maintenance préventive des moyens de production n'est pas réalisé.		
Niveau 2 Une maintenance préventive des moyens de production existe et un suivi de cette maintenance est réalisé. Cependant il n'existe pas de plan de maintenance formel documenté indiquant la fréquence et les passages obligés pour cette maintenance.		
Niveau 3 Une réelle maintenance préventive des moyens de production est en place. Elle fait l'objet d'un suivi s'appuyant sur un plan donnant l'ensemble des passages obligés ainsi que la fréquence des différentes actions. Il n'y a pas d'évidence de la prise en compte de non-conformités récentes dans le plan de maintenance.		
Niveau 4 Une réelle maintenance des moyens de production est mise en place. Elle fait l'objet d'un suivi s'appuyant sur un plan donnant l'ensemble des passages obligés ainsi que la fréquence des différentes actions. De plus, la prise en compte des non-conformités récentes dans le plan de maintenance préventive est effective.		

Recommandation		Correspondance	N°
Sélectionner les composants utilisés.			142
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			12,9
Description complémentaire			
Sélectionner les composants utilisés en fonction du niveau de fiabilité attendu : analyser le marché, évaluer la fiabilité des composants.			
Question de l'audit			
Sélectionne-t-on les composants utilisés par rapport à des critères de fiabilité ?			
Niveau 1	Aucune sélection des composants n'est réalisée.		
Niveau 2	Une sélection des composants est réalisée selon le critère de fiabilité (et/ou qualité de fabrication), mais de façon informelle.		
Niveau 3	Le référentiel entreprise demande d'effectuer une sélection des composants selon le critère de fiabilité (et/ou qualité de fabrication). Celle-ci est effective mais basée uniquement sur des données fabricants.		
Niveau 4	Le référentiel entreprise demande d'effectuer une sélection des composants selon le critère de fiabilité (et/ou qualité de fabrication). Celle-ci est effective et basée sur des analyses poussées (exploitation de données fabricants, audits des fabricants, évaluation des technologies employées).		

Recommandation		Correspondance	N°
Sélectionner les fournisseurs de composants.			143
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			10,8
Description complémentaire			
Sélectionner les fournisseurs de composants : analyser le marché, évaluer la prise en compte de la fiabilité par les fournisseurs.			
Question de l'audit			
Sélectionne-t-on les fournisseurs de composants par rapport à des critères de fiabilité ?			
Niveau 1	Les fournisseurs de composants ne sont pas sélectionnés.		
Niveau 2	Une sélection des fournisseurs de composants est réalisée de façon informelle.		
Niveau 3	Le référentiel entreprise demande d'effectuer une sélection des fournisseurs de composants selon le critère de fiabilité (et/ou qualité de fabrication). Celle-ci est effective mais basée uniquement sur l'analyse des données fournisseurs.		
Niveau 4	Le référentiel entreprise demande d'effectuer une sélection des fournisseurs de composants selon le critère de fiabilité (et/ou qualité de fabrication). Celle-ci est effective et basée sur des activités formelles : entretiens avec les fournisseurs, analyse des prestations antérieures, audits, certifications ISO, etc.		

Recommandation	Correspondance	N°
Sensibiliser le personnel à une vérification visuelle des sous-ensembles après placement et avant re-fusion.		144
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		5,9
Description complémentaire		
Dans l'objectif d'une diminution des anomalies non détectées lors de contrôle reposant sur le facteur humain (ici contrôle visuel), il est important de sensibiliser le personnel en charge de cette activité afin de diminuer au maximum le risque lié à l'erreur humaine ou à la non détection d'une anomalie.		
Question de l'audit		
Sensibilise-t-on le personnel à une vérification visuelle des sous-ensembles après placement et avant re-fusion?		
Niveau 1	Aucune vérification particulière n'est réalisée après placement des composants et avant re-fusion.	
Niveau 2	Une vérification du bon déroulement de l'activité de placement avant re-fusion peut être réalisée par l'opérateur. Cette vérification n'est cependant pas décrite formellement.	
Niveau 3	Une vérification du bon déroulement de l'activité de placement avant re-fusion est réalisée par l'opérateur. Cette vérification s'effectue conformément à une procédure (de l'évocation d'un simple contrôle visuel à la description des points à vérifier systématiquement).	
Niveau 4	Une vérification du bon déroulement de l'activité de placement avant re-fusion est réalisée par l'opérateur. Cette vérification s'effectue conformément à une procédure (de l'évocation d'un simple contrôle visuel à la description des points à vérifier systématiquement). De plus, cette procédure a fait l'objet d'une validation d'une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation Suivre et maîtriser les actions correctives du sous-contractant liées à la fiabilité des produits.	Correspondance	N° 146
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable SUPPORT		Poids 7,2
Description complémentaire Suivre et maîtriser (planifier, enregistrer) les actions correctives du sous-contractant liées à la fiabilité du produit.		
Question de l'audit Suit-on les actions correctives du sous-contractant liées à la fiabilité?		
Niveau 1 Aucun système de suivi des actions correctives demandées au sous-contractant n'a été mis en place.		
Niveau 2 Le suivi des actions correctives demandées au sous-contractant est vu partiellement lors de réunions avec le sous-contractant.		
Niveau 3 Un système de suivi périodique des actions correctives demandées au sous-contractant a été mis en place, mais n'est pas maîtrisé complètement ou de façon satisfaisante.		
Niveau 4 Un système de suivi périodique des actions correctives demandées au sous-contractant a été mis en place et des preuves démontrent ce suivi effectif.		

Recommandation		Correspondance	N°
Tenir compte de l'équilibre fiabilité/complexité des tests intégrés.			147
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			10,2
Description complémentaire			
Dans un objectif de couverture des tests efficace, réaliser un compromis entre complexité des tests intégrés et fiabilité des composants réalisant les fonctions opérationnelles. En particulier, mettre le taux de couverture en regard du taux de fausse alarme.			
Question de l'audit			
L'impact de la complexité des tests intégrés sur la fiabilité est-il évalué ?			
Niveau 1	La contribution des tests intégrés à la fiabilité n'est pas évaluée.		
Niveau 2	La contribution des tests intégrés à la fiabilité est prise en compte de manière informelle.		
Niveau 3	Un objectif limitant l'impact des tests intégrés sur la fiabilité est spécifié. Cet objectif n'est pas vérifié.		
Niveau 4	Un objectif limitant l'impact des tests intégrés sur la fiabilité est spécifié. Cet objectif est vérifié et pris en compte dans la conception du produit afin d'optimiser la conception des tests intégrés. L'ensemble de la démarche est formalisée.		

Recommandation	Correspondance	N°
Traiter l'aspect fiabilité en revue de direction.	ISO9001 : N2 EN9100 : N2	148
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
SUPPORT		5,6
Description complémentaire		
Mettre la fiabilité à l'ordre du jour des revues de direction (objectif de progrès, plan d'actions, mesure de l'atteinte des objectifs, bilan de la fiabilité des produits chez les clients).		
Question de l'audit		
Traite-t-on l'aspect fiabilité en revue de direction?		
Niveau 1	La fiabilité des produits n'est pas abordée en revue de direction.	
Niveau 2	La fiabilité des produits est évoquée irrégulièrement lors des revues de direction.	
Niveau 3	La fiabilité des produits est traitée systématiquement lors des revues de direction.	
Niveau 4	La fiabilité des produits est traitée systématiquement lors des revues de direction ; des objectifs de progrès sont définis et la tenue de ces objectifs est évaluée.	

<u>Recommandation</u>	Correspondance	N°
Utiliser des moyens de modélisation validés et reconnus.		150
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids	
CONCEPTION	13,8	
Description complémentaire		
Utiliser des moyens de modélisation validés et reconnus (modélisations électriques, thermiques, mécaniques, etc.).		
Démontrer le suivi et la mise à jour des outils.		
Question de l'audit		
Les moyens de modélisation (électriques, thermiques, mécaniques, etc.) sont-ils validés et reconnus ?		
Niveau 1	Les moyens et outils de modélisation ne sont ni validés, ni reconnus.	
Niveau 2	Les moyens de modélisation sont validés, reconnus, mais non suivis.	
Niveau 3	Les moyens de modélisation sont validés, reconnus, et suivis mais la responsabilité du suivi des outils n'est pas clairement identifiée dans l'organisation.	
Niveau 4	Les moyens et outils de modélisation sont validés, reconnus et suivis. La responsabilité du suivi des outils est clairement identifiée dans l'organisation.	

Recommandation		Correspondance	N°
Utiliser des méthodes statistiques adaptées à l'exploitation du retour d'expérience.		ISO9001 : N2 EN9100 : N2	151
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			6
Description complémentaire			
Utiliser des méthodes statistiques adaptées à l'exploitation du retour d'expérience.			
Question de l'audit			
Utilise-t-on des méthodes statistiques adaptées à l'exploitation du retour d'exploitation?			
Niveau 1	Le retour d'expérience n'est ni observé ni documenté.		
Niveau 2	Le retour d'expérience est documenté, mais il n'est pas exploité ou exploité avec des méthodes statistiques inadaptées et non formalisées.		
Niveau 3	Le retour d'expérience est documenté, il est exploité avec des méthodes adaptées mais non formalisées (pas de méthodes généralisées).		
Niveau 4	Le retour d'expérience est documenté, il est traité par des méthodes statistiques pertinentes et est diffusé auprès des utilisateurs.		

Recommandation		Correspondance	N°
Valider le référentiel de management de la Fiabilité du sous-traitant.			152
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SUPPORT			7,7
Description complémentaire			
Valider le référentiel de management de la Fiabilité du sous-traitant. En particulier, s'assurer que les exigences contractuelles sont correctement déclinées par le sous-traitant.			
Question de l'audit			
Valide-t-on le référentiel de management de la fiabilité du sous-traitant ?			
Niveau 1	Les exigences de fiabilité contractuelles, bien qu'applicables, ne sont pas transmises au sous-traitant.		
Niveau 2	L'industriel transmet au sous-traitant les exigences de fiabilité contractuelles ou internes mais aucun document ne garantissant l'application de ces exigences n'est rédigé par le sous-traitant.		
Niveau 3	Un référentiel de management de la fiabilité (plan de management ou plan de fiabilité) a été établi par le sous-traitant ; il reprend les exigences originelles de l'industriel. L'application de ce référentiel n'est pas contrôlée par l'industriel.		
Niveau 4	Un référentiel de management de la fiabilité (plan de management ou plan de fiabilité) a été établi par le sous-traitant ; il reprend les exigences originelles de l'industriel. L'application de ce référentiel est validée par l'industriel (réunion d'avancement, audit, etc....).		

Recommandation	Correspondance	N°
Vérifier la conformité des produits achetés.		153
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		8,6
INTEGRATION_EQUIPEMENT		8,6
INTEGRATION_SYSTEME		8,6
Description complémentaire		
Mettre en œuvre des mesures de vérification des produits achetés telles que:		
- l'examen des produits à la réception (composants, carte PCB, sous-ensembles, accessoires)		
- l'examen de la documentation requise, dont le Certificat de Conformité du fournisseur si spécifié		
- l'inspection des lots reçus (caractéristiques critiques)		
Ce contrôle d'entrée fait l'objet de spécifications dédiées à chaque type de matériau ou article acheté.		
Question de l'audit		
Vérifie-t-on la conformité des produits achetés, selon des spécifications clairement définies?		
Niveau 1	La conformité des produits achetés n'est pas vérifiée.	
Niveau 2	La conformité des produits achetés n'est vérifiée que partiellement par l'examen de la documentation attachée au lot.	
Niveau 3	La conformité des produits achetés est vérifiée par l'inspection des produits à la réception et par l'examen de la documentation requise. Ces inspections font l'objet d'enregistrements. Ce contrôle d'entrée ne fait pas l'objet de spécifications dédiées à chaque type de matériau ou article acheté.	
Niveau 4	La conformité des produits achetés est vérifiée par l'inspection des lots reçus à la réception, par l'examen de la documentation requise, selon des spécifications clairement définies et validées (dédiées à chaque type d'article acheté). Ces inspections font l'objet d'enregistrements.	

Recommandation		Correspondance	N°
Vérifier par une action de contrôle (douchage, lecture du S/N) que testeur et logiciel sont adaptés au produit testé, avant de débiter le test.		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	154
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			6,1
Description complémentaire			
La vérification que testeur et logiciel sont adaptés au produit testé, avant de débiter le test, est généralement réalisée par comparaison des informations inscrites sur la fiche suiveuse de lot et de l'identifiant de programme de test introduit sur la machine de test. Cette lecture, réalisé par l'opérateur, est souvent consolidée par la lecture et le chargement de codes à barre également présents sur la fiche suiveuse de lot (douchage).			
Question de l'audit			
Vérifie-t-on par une action de contrôle (douchage, lecture du S/N) que testeur et logiciel sont adaptés au produit testé, avant de débiter le test?			
Niveau 1	Aucune vérification n'est effectuée pour s'assurer que le testeur et le programme sont bien adaptés au produit testé.		
Niveau 2	Une vérification du testeur et du programme de test est réalisée pour s'assurer qu'ils sont adaptés au produit testé. Cette vérification n'est pas formellement décrite.		
Niveau 3	Une vérification du testeur et du programme de test est réalisée pour s'assurer qu'ils sont adaptés au produit testé. Celle-ci s'appuie sur une procédure documentée indiquant la marche à suivre (douchage d'un identifiant, etc.).		
Niveau 4	Une vérification du testeur et du programme de test est réalisée pour s'assurer qu'ils sont adaptés au produit testé. Celle-ci s'appuie sur une procédure documentée indiquant la marche à suivre (douchage d'un identifiant, etc.). Cette procédure de vérification a été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation	Correspondance	N°
Vérifier que la procédure de déverminage est correctement appliquée.		155
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
FABRICATION		5,2
INTEGRATION_EQUIPEMENT		9,0
INTEGRATION_SYSTEME		9,0
Description complémentaire		
Il est important de s'assurer que la procédure de déverminage définie en conception est correctement appliquée, et que les résultats sont correctement enregistrés et traçables. Il est également important que des actions correctives, ou préventives, soient envisagées pour minimiser le taux de défaillance en déverminage. Enfin, l'équipe en charge de définir la procédure de déverminage doit être informée afin d'optimiser cette procédure.		
Question de l'audit		
A-t-on vérifié la bonne application de la procédure de déverminage définie en conception ?		
Niveau 1	La procédure de déverminage définie en conception n'est pas appliquée.	
Niveau 2	La procédure de déverminage définie en conception est appliquée mais il n'y a d'enregistrement traçable des résultats du test.	
Niveau 3	La procédure de déverminage définie en conception est appliquée ; les résultats du test de déverminage sont enregistrés et traçables. Les défaillances en déverminage sont analysées pour éventuelles actions correctives ou préventives en production.	
Niveau 4	La procédure de déverminage définie en conception est appliquée ; les résultats du test de déverminage sont enregistrés et traçables. Les défaillances en déverminage sont analysées pour éventuelles actions correctives ou préventives en production. De plus, toutes ces informations sont communiquées à l'équipe de conception en charge d'optimiser la procédure de déverminage.	

Recommandation Assurer la complétude des spécifications d'environnements.	N° 156
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 4
Description complémentaire Assurer la complétude des spécifications par l'utilisation de critères de validation: analyse, essais, retour d'expérience, respect normatif.	
Question de l'audit Comment est assurée la complétude des spécifications d'environnement?	
Niveau 1 Pas de vérification de la complétude, ou insuffisante.	
Niveau 2 La complétude des spécifications d'environnement s'appuie sur au moins 2 des 4 méthodes: Analyse, Expérience, Essais, Normes.	
Niveau 3 La complétude des spécifications d'environnement s'appuie sur au moins 3 des 4 méthodes: Analyse, Expérience, Essais, Normes.	
Niveau 4 La complétude des spécifications d'environnement s'appuie sur l'ensemble des 4 méthodes: Analyse, Expérience, Essais, Normes. La démarche assurant la couverture fait l'objet d'une procédure formalisée.	

Recommandation Assurer la formation et gérer le maintien des compétences pour la mise en œuvre et la maintenance du produit.	N° 157
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 7
Description complémentaire Former les utilisateurs pour assurer que le produit est toujours employé et réparé correctement.	
Question de l'audit Les utilisateurs (emploi et maintenance) ont-ils reçu une formation sur le produit? Cette formation est-elle renouvelée et actualisée selon besoin?	
Niveau 1 Pas de formation associée au produit.	
Niveau 2 Existence d'une formation de prise en main ou d'une formation d'une partie seulement des utilisateurs.	
Niveau 3 Existence d'une formation complète mais sans management des compétences.	
Niveau 4 Existence d'une formation complète. Un management des compétence assure que la formation de tous les utilisateurs a été réalisée et est à jour.	

Recommandation Assurer le respect des procédures propres au produit et des règles propres aux métiers par un système de suivi adéquat.	N° 158
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 7
Description complémentaire Mettre en oeuvre des moyens pour superviser et contrôler les utilisateurs dans l'emploi et la maintenance du produit, pour pouvoir identifier les écarts et les traiter.	
Question de l'audit Des moyens de contrôles (processus, moyens d'enregistrement) permettent-ils au fournisseur de s'assurer que les règles d'utilisation du produit sont bien respectées par les utilisateurs?	
Niveau 1 Pas de moyen de contrôle.	
Niveau 2 Existence de quelques moyens de suivi et de contrôle.	
Niveau 3 Existence de moyens de contrôle non exhaustifs ou d'emploi informel. Les écarts ne sont pas traités systématiquement.	
Niveau 4 Existence de moyens de contrôle complets et formalisés. Les écarts sont traités.	

Recommandation Concevoir des dispositifs de protection électrique sûrs de fonctionnement.	N° 159
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 4
Description complémentaire Identifier les besoins en protection Concevoir les dispositifs de protection électrique Assurer leur testabilité et leur maintenabilité Intégrer le cas de ces dispositifs à la définition de la politique de maintenance.	
Question de l'audit Comment sont conçu les dispositifs de protection électrique	
Niveau 1 Les principes de sûreté de fonctionnement ne sont pas appliqués aux dispositifs de protection électrique.	
Niveau 2 Les principes de sûreté de fonctionnement sont appliqués aux dispositifs de protection électrique dans quelques cas.	
Niveau 3 Les principes de sûreté de fonctionnement sont appliqués aux dispositifs de protection électriques. La vérification du bon fonctionnement de ces dispositifs pendant la vie du produit est prévue.	
Niveau 4 Les principes de sûreté de fonctionnement sont appliqués aux dispositifs de protection électriques. La vérification du bon fonctionnement de ces dispositifs pendant la vie du produit est prévue. Cette démarche est décrite par une procédure.	

Recommandation Etudier et traiter les risques de détérioration du produit en test par les pannes de ses moyens de test ou de maintenance.	N° 160
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 4
Description complémentaire Minimiser le risque de détérioration par sa prise en compte dans la conception du moyen de test et de l'unité testée, développer les moyens de prévention adaptés.	
Question de l'audit Les risques de détérioration du produit en test par les pannes de son moyen de test sont-ils traités pris en compte?	
Niveau 1 Pas d'étude des pannes des moyens de test et de maintenance.	
Niveau 2 Certains cas de pannes connus sont pris en compte.	
Niveau 3 Ces risques sont analysés dans la conception du moyen de test et de l'unité testée. Des moyens de prévention adaptés sont mis en place.	
Niveau 4 Ces risques sont analysés dans la conception du moyen de test et de l'unité testée. Des moyens de prévention adaptés sont mis en place. Cette démarche est décrite par une procédure.	

Recommandation Identifier et traiter par les moyens de prévention adéquats les agressions (liées aux intempéries) raisonnablement prévisibles.	N° 161
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids4
Description complémentaire Rechercher et prévenir les effet des agressions (liées aux intempéries) raisonnablement prévisible (UV, grêle, condensation...).	
Question de l'audit Les agressions (liées aux intempéries) raisonnablement prévisibles ont-elles été prises en compte?	
Niveau 1 Pas de prise en compte des agressions liées aux intempéries.	
Niveau 2 Des agressions liées aux intempéries bien connues sont prises en compte.	
Niveau 3 Les cas d'agressions (liées aux intempéries) sont recherchés et pris en compte.	
Niveau 4 Les cas d'agressions liées aux intempéries sont recherchés systématiquement et pris en compte. Cette démarche est décrite par une procédure ou une norme.	

Recommandation Identifier et traiter, par les moyens de prévention adéquats, les utilisations anormales raisonnablement prévisibles.	N° 162
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids4
Description complémentaire Rechercher et prévenir les utilisation anormale raisonnablement prévisible: détournement de l'objet du produit, montage à l'envers etc.	
Question de l'audit Les utilisations anormales raisonnablement prévisibles ont-elles été prises en compte?	
Niveau 1 Pas de prise en compte des utilisations anormales.	
Niveau 2 Des utilisations anormales bien connues sont prises en compte.	
Niveau 3 Les cas d'utilisations anormales sont recherchés et pris en compte.	
Niveau 4 Les cas d'utilisations anormales sont recherchés systématiquement et pris en compte. Cette démarche est décrite par une procédure.	

Recommandation Intégrer les environnements de production, de stockage et de maintenance dans les spécifications d'environnement du produit.	N° 163
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids4
Description complémentaire Etendre les spécifications d'environnement de façon à couvrir également les situations de production, de stockage et de maintenance (et pas seulement les cas d'emploi). Pour le stockage (rechanges par exemple) le paramètre dimensionnant peut être la durée.	
Question de l'audit Comment sont pris en compte les environnements de production, de stockage et de maintenance dans la spécification d'environnement du produit?	
Niveau 1 Les environnements de production, de stockage et de maintenance ne sont pas spécifiés.	
Niveau 2 Les environnements de production, de stockage et de maintenance sont pris en compte s'ils sont connus.	
Niveau 3 Les environnements de production, de stockage et de maintenance sont pris en compte dans les spécifications d'environnement.	
Niveau 4 La prise en compte des environnements de production, de stockage et de maintenance est systématique. La description de ces environnements fait l'objet d'une documentation formalisée.	

Recommandation	N°
Justifier du respect des spécifications d'environnements.	164
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids
DURCISSEMENT	4
Description complémentaire	
Mettre en oeuvre une démarche de justification du respect des spécifications d'environnements qui garantisse la complétude.	
Question de l'audit	
Comment est justifié le respect des spécifications d'environnements	
Niveau 1 Pas de démonstration formalisée du respect des spécifications d'environnements.	
Niveau 2 Le respect des principales spécification d'environnement fait l'objet d'une justification formelle.	
Niveau 3 Le respect de toutes les spécifications d'environnement fait l'objet d'une justification formelle.	
Niveau 4 Le respect de toutes les spécifications d'environnement fait l'objet d'une justification formelle. La démarche de justification identifie les marges par rapports au besoin. Le processus de justification fait l'objet d'une procédure formelle.	

Recommandation Mener un processus d'amélioration du produit (par exemple: essais aggravés) afin de limiter la sensibilité du produit aux contraintes environnementales (perturbations, environnements, overstress).	N° 165
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 7
Description complémentaire Mener un processus d'amélioration du produit en développement et en production pour ne pas livrer de produit non mature (présence de défaut de jeunesse) ou présentant des faiblesses (déverminage). Les essais aggravés type HALT (Highly Accelerated Life Test) sont cités comme outil important pour cet objectif.	
Question de l'audit Existe-t-il un processus d'amélioration du produit pour construire sa robustesse et accélérer sa maturité?	
Niveau 1 Pas de démarche d'amélioration de la robustesse et de la maturité.	
Niveau 2 Certaines dispositions sont prises pour améliorer la robustesse et la maturité.	
Niveau 3 Mise en oeuvre d'une démarche d'amélioration de la robustesse et de la maturité.	
Niveau 4 Mise en oeuvre d'une démarche d'amélioration de la robustesse et de la maturité. Cette démarche est systématique et décrite dans une procédure formelle.	

Recommandation	N°
Réaliser une analyse des cas de panne pouvant donner lieu à une propagation de panne.	166
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids
DURCISSEMENT	4
Description complémentaire	
Analyser les possibilité de propagation de panne pour en limiter les effets et pour limiter les fausses déposes, en particulier à l'aide d'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance de leurs effets et de leur Criticité).	
Question de l'audit	
Les possibilités de propagation de panne font-elles l'objet d'une analyse?	
Niveau 1 Pas d'analyse de propagation de panne.	
Niveau 2 Certains cas de propagation de panne avérés sont pris en compte.	
Niveau 3 Les risques de propagation de panne sont pris en compte dans la conception et dans la réalisation des AMDEC. Ces cas sont traités par des choix de protections ou d'architecture.	
Niveau 4 Les risques de propagation de panne sont pris en compte dans la conception et dans la réalisation des AMDEC. Ces cas sont traités par des choix de protections ou d'architecture. Cette démarche est décrite par une procédure.	

Recommandation	N°
Réaliser une analyse process des opérations de mise en œuvre et de maintenance.	167
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable	Poids
DURCISSEMENT	4
Description complémentaire	
Mener une AMDEC process (Analyse des Modes de Défaillance de leurs effets et de leur Criticité) des opérations de mise en oeuvre et de maintenance.	
Question de l'audit	
Comment sont analysés les risques d'erreur dans la réalisation des opérations de mise en oeuvre et de maintenance?	
Niveau 1 Pas d'analyse des risques d'erreur dans la réalisation des opérations.	
Niveau 2 Les anomalies et dérives bien connues sont recueillies et exploitées dans la conception du produit ou de sa maintenance.	
Niveau 3 L'AMDEC de processus des opérations de mise en oeuvre et de maintenance est réalisée dans certains cas et exploitée dans la conception du produit ou de sa maintenance.	
Niveau 4 L'AMDEC de processus des opérations de mise en oeuvre et de maintenance est systématiquement réalisée et exploitée dans la conception du produit ou de sa maintenance.	

Recommandation Réaliser une revue des opérations de maintenance par l'utilisateur final et traiter ses recommandations.	N° 168
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 4
Description complémentaire Prendre en compte les recommandations des utilisateurs dans la conception de la maintenance du produit après une revue.	
Question de l'audit Une revue des opérations de maintenance par l'utilisateur est-elle organisée?	
Niveau 1 Pas de revue avec l'utilisateur.	
Niveau 2 Prise en compte informelle des recommandations des utilisateurs, ou revue papier sans opération sur un produit.	
Niveau 3 Organisation d'une revue des procédures de maintenance avec l'utilisateur qui comprend la réalisation des opérations sur le matériel.	
Niveau 4 Organisation d'une revue des procédures de maintenance avec l'utilisateur qui comprend la réalisation des opérations sur le matériel. Le processus de la revue fait l'objet d'un plan ou d'une procédure formalisée.	

Recommandation Rédiger des procédures complètes pour l'ensemble des opérations de mises en œuvre et de maintenance du produit.	N° 169
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids 7
Description complémentaire Mettre à disposition des utilisateurs et de la maintenance une documentation décrivant les procédures à appliquer pour chaque situation.	
Question de l'audit Existe-t-il une documentation qui décrit l'ensemble des opérations de mise en oeuvre et de maintenances du produit?	
Niveau 1 Pas de documentation, ou documentation superficielle.	
Niveau 2 Existence d'une documentation couvrant une partie des besoins.	
Niveau 3 Existence d'une documentation complète, mais l'exhaustivité de la documentation ne peut être prouvée.	
Niveau 4 La documentation existe et est complète. La constitution de la documentation fait l'objet d'une procédure qui garantit sa complétude.	

Recommandation Respect d'une norme concernant les alimentations (norme qui définit les perturbations possibles et les variations possibles type EN2282). Le respect doit être assuré aussi bien au niveau génération électrique qu'au niveau consommation électrique.	N° 170
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids4
Description complémentaire Appliquer une norme sur tous les interfaces électriques pour garantir à la fois leur condition de fonctionnement et les situations extrêmes prévisibles. Il est également recommandé que le responsable du système dans lequel s'intègre le produit garantisse le respect de la norme pour tout le système. De même pour le respect de la norme au niveau de la génération électrique qui alimente le produit.	
Question de l'audit Une norme concernant les alimentations électriques est-elle applicable au produit et au système qui l'entoure? Comment est elle appliquée?	
Niveau 1 Pas de norme pour les alimentations électriques.	
Niveau 2 Une norme est prise comme guide pour la définition des interfaces électriques.	
Niveau 3 Une norme est appliquée pour tous les interfaces électriques du produit.	
Niveau 4 Une norme est appliquée pour tous les interfaces électriques du produit. Le respect de la norme fait l'objet de justification formelle.	

Recommandation Respect d'une norme concernant les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées: Par respecté, il faut entendre à la fois par le produit et par le système dans lequel il est intégré.	N° 171
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable DURCISSEMENT	Poids3
Description complémentaire Appliquer une norme sur les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées.	
Question de l'audit Une norme concernant les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées est-elle applicable au produit et au système qui l'entoure? Comment est-elle appliquée?	
Niveau 1 Pas de norme pour les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées.	
Niveau 2 Une norme est prise comme guide pour la définition des tolérances aux perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées.	
Niveau 3 Une norme est appliquée pour définir la tolérance du produit aux perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées.	
Niveau 4 Une norme est appliquée pour définir la tolérance du produit aux perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées. Le respect de la norme fait l'objet de justification formelle.	

Recommandation	Correspondance	N°
Maitriser la viscosité et l'épaisseur du vernis.	ISO9001 : N2 EN9100 : N3	172
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION		Poids 6,0
Description complémentaire Compte tenu de l'impact sur sa qualité finale, la viscosité du vernis doit être contrôlée au moins quotidiennement. Remarque : pour les colles et crèmes à braser, la maitrise de la viscosité se réalise généralement au travers de la gestion de la durée de travail dans les conditions de production (recommandation N°19). Afin de maitriser l'épaisseur du vernis déposé, des éprouvettes témoins sont généralement réalisés pour chaque nouveau lot de carte, avec des limites de tolérance spécifiées dans un document.		
Question de l'audit La viscosité du vernis est-elle contrôlée périodiquement? L'épaisseur du vernis est-elle contrôlée à l'aide d'éprouvettes témoins?		
Niveau 1 La viscosité du vernis n'est pas sous contrôle		
Niveau 2 La viscosité du vernis est mesurée périodiquement. Cependant, il manque une spécification décrivant les critères de rejet et/ou d'action corrective.		
Niveau 3 La viscosité du vernis est mesurée quotidiennement. Les critères de rejet et/ou d'action corrective sont clairement décrits dans des spécifications et/ou instructions. Cependant, ces documents n'ont pas été validés par une autorité indépendante.		
Niveau 4 La viscosité du vernis est mesurée quotidiennement. Les critères de rejet et/ou d'action corrective sont clairement décrits dans des spécifications et/ou instructions. Ces documents ont été validés par une autorité indépendante.		

Recommandation		Correspondance	N°
Réaliser le contrôle systématique de la qualité des joints brasés des composants montés sur carte, après refusion des brasures.		ISO9001 : N2 EN9100 : N3	173
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			6,0
Description complémentaire Les joints brasés entre composants et carte peuvent présenter les défauts suivants: <ul style="list-style-type: none"> - manque de brasure, ou lacunes trop importantes - excès de brasure, et/ou microbillage - mauvais positionnement des composants (décentrage, tilt, ...) - mixité incomplète dans le cas des boîtiers à billes. Des contrôles des joints brasés doivent être spécifiés et donner lieu à des enregistrements, afin de prévenir toutes ces causes de dé-fiabilisation des sous-ensembles. Des moyens optique et rayons X sont généralement utilisés. La norme de référence est l'IPC-A-610.			
Question de l'audit Y a-t-il un contrôle systématique de la qualité des brasures, par inspection des joints brasés après refusion?			
Niveau 1	La qualité des joints brasés, entre carte et composants, n'est pas systématiquement contrôlée		
Niveau 2	La qualité des joints brasés, entre carte et composants, est systématiquement contrôlée. Ce contrôle ne s'appuie pas sur un document clairement identifié.		
Niveau 3	La qualité des joints brasés, entre carte et composants, est systématiquement contrôlée. Ce contrôle s'appuie sur un document clairement identifié. Cependant, ce document ne fait pas référence à l'IPC-A-610, ou il manque une validation indépendante de ce document.		
Niveau 4	La qualité des joints brasés, entre carte et composants, est systématiquement contrôlée. Ce contrôle s'appuie sur un document clairement identifié. La norme IPC-A-610 est citée comme référence dans ce document. De plus, ce document a fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation		Correspondance	N°
Mettre en place un contrôle de conformité à la mise en stock magasin produits finis		ISO9001 : N3 EN9100 : N3	174
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			8,0
Description complémentaire			
Une étape dite de contrôle de conformité des produits finis doit être identifiée et doit intervenir avant toute entrée définitive des articles en stockage. But: s'assurer de la cohérence des données et des articles reçus, et de la complétude des données attachées.			
Question de l'audit			
Existe-t-il un contrôle de conformité à la mise en stock magasin produits finis permettant l'exclusion des articles non conformes?			
Niveau 1	Il n'existe pas de contrôle de conformité des produits finis avant la mise en stock magasin.		
Niveau 2	Certains paramètres des produits finis sont surveillés lors de la mise en stock magasin mais ceux-ci ne font l'objet d'aucune formalisation.		
Niveau 3	Un réel contrôle de conformité des produits finis est réalisé avant la mise en stock magasin. Ce contrôle de conformité est formellement décrit (paramètres, points particuliers, etc.) au travers de documents. Cependant, aucune autorité indépendante n'a validé ces documents.		
Niveau 4	Un réel contrôle de conformité des produits finis est réalisé avant la mise en stock magasin. Ce contrôle de conformité est formellement décrit (paramètres, points particuliers, etc.) au travers de documents. La pertinence des informations de ces documents a fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante de l'exécutant.		

Recommandation		Correspondance	N°
Maitriser les conditions d'environnement du stock de composants et matériaux		ISO9001 : N2 EN9100 : N3	175
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			9,0
Description complémentaire			
Les composants électroniques sont sensibles aux conditions environnementales du stockage (corrosion, absorption d'humidité, ESD) Certains matériaux nécessitent un stockage à froid (chambre froide ou freezer) Il est important qu'un document officiel définisse les limites (Spécifications et Control Limits) et qu'il y ait des moyens de contrôle en place (sondes, enregistrements, alarmes).			
Question de l'audit			
Les conditions température/Humidité des zones de stockage de composants et matériaux sont-elles maîtrisées?			
Niveau 1	Les conditions de stockage des articles et matériaux ne sont pas mesurées ou non contrôlées de façon périodique.		
Niveau 2	Les conditions de stockage des articles et matériaux sont mesurées et contrôlées en continu ou périodiquement. Il n'existe pas de spécifications décrivant les limites acceptables.		
Niveau 3	Les conditions de stockage des articles et matériaux sont mesurées et contrôlées en continu ou périodiquement. Des spécifications décrivent les limites acceptables. Cependant, ces spécifications ne font pas l'objet d'un document validé par une autorité indépendante, ou il n'existe pas de limites de contrôle complétant les limites spécifiées afin de prévenir les risques de dépassement.		
Niveau 4	Les conditions de stockage des articles et matériaux sont mesurées et contrôlées en continu ou périodiquement. Des spécifications décrivent les limites acceptables. Ces spécifications font l'objet d'un document validé par une autorité indépendante. Des limites de contrôle complètent les limites spécifiées afin de prévenir les risques de dépassement.		

Recommandation Maitriser la sensibilité des composants à l'humidité et au procédé de refusion (niveaux MSL)	Correspondance	N° 176
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION		Poids 12,0
Description complémentaire Les fabricants attribuent un niveau MSL aux composants plastiques CMS, qui conduit à emballer les composants sensibles en sachets étanches et à spécifier des temps de travail limités. Le document de référence pour la production est la norme J-STD-033. Il est important que l'opérateur en charge du report composants sur carte maitrise bien ce risque, et qu'une instruction y soit associée. Il doit disposer des moyens à mettre en œuvre les actions nécessaires (étuve pour séchage composants, ...)		
Question de l'audit Le niveau MSL des composants est-il bien pris en compte lors de leur mise en œuvre industrielle?		
Niveau 1 Le niveau MSL des composants sensibles n'est pas géré par l'opérateur.		
Niveau 2 Le niveau MSL des composants sensibles est connu et géré par l'opérateur. Il n'existe pas de document interne décrivant les actions associées à ce risque.		
Niveau 3 Le niveau MSL des composants sensibles est connu et géré par l'opérateur. Un document interne décrit les actions associées à ce risque. Cependant ce document ne fait pas l'objet d'une validation par une autorité indépendante.		
Niveau 4 Le niveau MSL des composants sensibles est connu et géré par l'opérateur. Un document interne décrit les actions associées à ce risque. Ce document est à jour et fait l'objet d'une validation par une autorité indépendante.		

Recommandation		Correspondance	N°
Tracer toutes les opérations de production et test dans la fiche suiveuse de lot		ISO9001 : N3 EN9100 : N4	177
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			8,0
Description complémentaire			
<p>A chaque étape de la production et du test, il est important de connaître un certain nombre d'informations pour minimiser les risques qualité et de défiabilisation: Référence produit, N° lot, quantité entrante, références des consommables à utiliser, référence du test à réaliser,</p> <p>De même, l'opérateur doit compléter cette fiche suiveuse d'un certain nombre d'informations de traçabilité: N° de lots des matériaux consommables, outillage, quantité sortante, identification des raisons de rejet ou de réparation pièces, numéro de la machine utilisée, nom de l'opérateur...</p> <p>Souvent la même fiche est utilisée par le contrôleur qualité pour tracer l'inspection (par exemple: timbre Assurance Qualité)</p>			
Question de l'audit			
Existe-t-il une fiche suiveuse de lot décrivant, pour toutes les opérations, les informations de traçabilité nécessaires?			
Niveau 1	Il n'existe pas de fiche suiveuse de lot traçant les matériaux à utiliser et/ou le test à appliquer.		
Niveau 2	Une fiche suiveuse est renseignée pour chaque lot de production. Cependant elle ne comporte pas toutes les informations nécessaires pour réaliser chaque opération, ou ne trace pas les facteurs d'influence de la qualité/fiabilité.		
Niveau 3	Une fiche suiveuse est renseignée pour chaque lot de production. Elle comporte toutes les informations nécessaires pour réaliser chaque opération, et trace les facteurs d'influence de la qualité/fiabilité, mais ce n'est pas un document validé par une autorité indépendante.		
Niveau 4	Une fiche suiveuse est renseignée pour chaque lot de production. Elle comporte toutes les informations nécessaires pour réaliser chaque opération, et trace les facteurs d'influence de la qualité/fiabilité. Cette fiche est un document validé et mis à jour par une autorité indépendante.		

Recommandation		Correspondance	N°
Optimiser l'organisation de la ligne de production			178
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			9,0
Description complémentaire			
L'organisation de la ligne de production, des flux des produits/personnes, la clarté et l'ergonomie des postes, contribuent à minimiser les risques de défiabilisation des produits de la ligne. Des standards existent qui définissent des méthodologies d'organisation (5S, Lean, ...)			
Question de l'audit			
Des actions sont-elles menées pour constamment améliorer l'organisation de la ligne de production?			
Niveau 1	Il n'y a pas en place d'action concrète d'amélioration de l'organisation de la ligne de production		
Niveau 2	L'organisation de la ligne a fait l'objet d'améliorations. Mais il n'y a pas de méthodologie d'amélioration continue de cette organisation		
Niveau 3	Des actions concrètes visant à améliorer constamment l'organisation de la ligne sont en place. Ces actions ne font pas l'objet d'un suivi en revue qualité.		
Niveau 4	Des actions concrètes visant à améliorer constamment l'organisation de la ligne sont en place. Ces actions font l'objet d'un suivi en revue qualité.		

Recommandation		Correspondance	N°
Se prémunir contre l'achat de composant frauduleux.		EN9100 : N3	179
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
FABRICATION			10,0
Description complémentaire			
Un facteur de risque fiabilité est l'utilisation potentielle de composants frauduleux ou contrefaits achetés généralement à des brokers (fournisseurs indépendants non franchisés par les fabricants). Il est important qu'il y ait une procédure d'achat claire qui n'autorise l'achat de composants à des brokers que dans des circonstances particulières, et selon un protocole spécifique (demande de dérogation, broker autorisé, inspection des lots, preuves de conformité, information du client lorsque spécifié)			
Question de l'audit			
Le risque d'achat de composants frauduleux/contrefaits est-il couvert par une procédure?			
Niveau 1	Les éventuels achats composants à des brokers ne font pas l'objet de procédure particulière		
Niveau 2	Il existe une procédure d'achat broker, mais pas de liste autorisée, ou pas de contrôle renforcé de l'inspection des lots		
Niveau 3	Il existe une procédure d'achat broker, une liste de broker autorisée, un contrôle spécifique d'entrée. Cependant ces documents ne sont pas validés et mise à jour périodiquement par une autorité indépendante des achats.		
Niveau 4	Il existe une procédure d'achat broker, une liste de brokers autorisés, un contrôle spécifique d'entrée. Ces documents ont été validés par une autorité indépendante des achats, et sont mis à jour périodiquement..		

Recommandation	Correspondance	N°
Maitriser le fléchissement de la carte lors d'un test électrique sous pointes		180
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable FABRICATION		Poids 7,0
Description complémentaire Lors d'un test électrique sous pointes, la déformation de la carte peut entraîner la dégradation, donc la défiabilisation, de la carte testée. Il est important de maitriser ce fléchissement au travers de mesures réalisées en début de nouveau lot. Une spécification doit établir les règles à appliquer.		
Question de l'audit Le fléchissement de la carte est-il contrôlé lors d'un test électrique sous pointes? Existe-t-il un document spécifiant ce qui est acceptable?		
Niveau 1	Il n'existe pas d'évidence du contrôle du fléchissement de la carte lors d'un test électrique sous pointes	
Niveau 2	Un contrôle du fléchissement de la carte, lors d'un test électrique sous pointes, est réalisé en début de lot. Il n'existe pas de document le spécifiant.	
Niveau 3	Un contrôle du fléchissement de la carte, lors d'un test électrique sous pointes, est réalisé en début de lot. Un document spécifiant les conditions de mesure et les critères d'acceptation existe. Cependant, ce document n'a pas été validé par une autorité indépendante.	
Niveau 4	Un contrôle du fléchissement de la carte, lors d'un test électrique sous pointes, est réalisé en début de lot. Un document spécifiant les conditions de mesure et les critères d'acceptation existe. Ce document a été validé par une autorité indépendante de l'exécutant.	

Recommandation		Correspondance	N°
Connaître et maîtriser le profil de vie.			181
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
SPECIFICATION			13
CONCEPTION			15
EXPLOITATION_ & _MAINTENANCE			9
Description complémentaire			
Le profil de vie du produit est parfaitement connu et maîtrisé : - Les variations possibles des différentes contraintes environnementales sont connues ; - L'impact des variations des contraintes environnementales est maîtrisé et pris en compte dans les analyses de Sûreté de Fonctionnement (par exemple, le tandis qu'un MTBF pour les analyses de sécurité).			
Question de l'audit			
Le profil de vie du produit est-il connu et maîtrisé ?			
Niveau 1	Le profil de vie n'est pas maîtrisé ; un profil de vie "standard" est pris en hypothèse.		
Niveau 2	Le profil de vie n'est pas maîtrisé. Toutefois, les calculs de fiabilité sont conduits selon plusieurs profils de vie correspondant à des cas d'utilisation typiques.		
Niveau 3	Des analyses de sensibilité sont conduites de manière à évaluer l'impact des différentes contraintes environnementales sur la fiabilité du produit. Ces analyses sont prises en compte pour adapter les calculs de fiabilité à l'enjeu (profil de vie "moyen" pour un contrat de MCO ou profil de vie "pire cas" pour une analyse de sécurité, par exemple).		
Niveau 4	Des capteurs intégrés (de type HUMS) sont mis en œuvre ; ils mesurent en temps réel les contraintes environnementales et les traitent, pour une meilleure connaissance des conditions d'exploitation du produit. Ces données sont prises en compte pour mettre à jour les analyses de fiabilité et les adapter à l'enjeu (profil de vie "moyen" pour un contrat de MCO ou profil de vie "pire cas" pour une analyse de sécurité, par exemple).		

Recommandation	Correspondance	N°
Mener un processus d'amélioration du produit pour améliorer sa robustesse	ISO9001 : N2 EN9100 : N2	182
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		20
Description complémentaire <p>Il est important de mener un processus d'amélioration de la robustesse du produit en développement et en production, afin de limiter sa sensibilité aux contraintes environnementales (perturbations, environnements, overstress) ; ce processus d'amélioration doit être formalisé dans un document (exemple : plan d'amélioration de la robustesse).</p> <p>La robustesse se caractérise par l'augmentation des marges vis-à-vis des contraintes opérationnelles, généralement obtenue par des essais aggravés, essais vibrations et thermomécaniques traditionnels combinés ou essai type HALT (Highly Accelerated Life Test).</p> <p>La marge vis-à-vis des contraintes opérationnelles doit être estimée et améliorée si nécessaire, par itérations successives (tests complémentaires pour vérification de l'amélioration). Cette marge sera nécessaire pour réaliser un essai de déverminage aggravé, au-delà du niveau de contraintes maximum.</p>		
Question de l'audit Existe-t-il un processus d'amélioration du produit pour améliorer sa robustesse ?		
Niveau 1	Il n'y a pas de démarche d'amélioration de la robustesse.	
Niveau 2	Il y a une démarche d'amélioration de la robustesse ; cette démarche n'est pas formalisée au travers d'essais.	
Niveau 3	Il y a une démarche d'amélioration de la robustesse ; cette démarche est basée sur la réalisation d'essais aggravés dans le but d'estimer les marges vis-à-vis des contraintes opérationnelles.	
Niveau 4	Les marges sont évaluées et il est démontré qu'elles sont suffisantes vis-à-vis des contraintes opérationnelles et de la mise en place d'un essai de déverminage aggravé, comme par exemple l'essai type HASS basé sur les résultats de l'essai HALT. Si nécessaire, des améliorations sont apportées au produit pour garantir les marges souhaitées.	

Recommandation	Correspondance	N°
Identifier et réduire les risques en conception	EN9100 : N1	183
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		15
Description complémentaire		
L'AMDEC conception permet d'identifier et de réduire les risques, par exemple lors d'évolutions de design ou en cas d'introduction de nouvelles technologies.		
L'analyse de la criticité des risques identifiés conduit à formalisation de recommandations actions correctives.		
L'AMDEC conception doit être un processus itératif : l'efficacité de l'action corrective doit être mesurée.		
Question de l'audit		
Des analyses (de type AMDEC conception) sont-elles conduites de façon à identifier et réduire les risques ?		
Les recommandations issues de ces analyses sont-elles formalisées ?		
Les recommandations issues de ces études sont-elles suivies ?		
Niveau 1	Il n'y a pas d'AMDEC conception.	
Niveau 2	L'AMDEC conception existe ; l'analyse de la criticité des risques ne conduit pas à la formalisation de recommandations et/ou actions correctives.	
Niveau 3	L'AMDEC conception est réalisée ; l'analyse de la criticité des risques conduit à formaliser des recommandations et/ou actions correctives mais ces dernières ne sont pas systématiquement suivies dans le temps.	
Niveau 4	L'AMDEC conception est réalisée ; l'analyse de la criticité des risques conduit à formaliser des recommandations et/ou actions correctives qui sont suivies dans le temps.	

Recommandation		Correspondance	N°
Préparer la phase d'industrialisation.		EN9100 : N4	184
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable			Poids
CONCEPTION			16
Description complémentaire			
L'industrialisation doit être préparée dès la phase de conception. La stratégie industrielle doit être formalisée dans un plan ; les exigences nécessaires à l'industrialisation doivent être déclinées dans une spécification industrielle et prise en compte par les concepteurs.			
Question de l'audit			
Est-ce que la stratégie industrielle est définie dans un plan ? Est-ce que les exigences nécessaires à l'industrialisation ont été déclinées dans une spécification industrielle ?			
Niveau 1	L'activité industrielle n'est pas prise en compte en conception : pas de plan, pas de spécification.		
Niveau 2	L'activité industrielle est prise en compte en conception sans être formalisée.		
Niveau 3	L'activité industrielle est prise en compte et formalisée dans un plan. Il n'y a pas de spécification (il n'y a pas d'exigences déclinées aux concepteurs)		
Niveau 4	L'activité industrielle est prise en compte et formalisée par un plan ; Une spécification formalise les exigences et ces dernières sont prises en compte par les concepteurs.		

Recommandation	Correspondance	N°
Analyser la nécessité du déverminage et définir la procédure de déverminage	EN9100 : N3	185
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		18,0
Description complémentaire		
<p>Il est nécessaire d'analyser la nécessité du déverminage et, le cas échéant, d'établir la procédure de déverminage.</p> <p>Plusieurs critères peuvent être considérés : les résultats d'essais de fiabilité (exemples : HALT, épreuve de qualification, etc.), le retour d'expérience sur d'autres produits, les exigences du client, l'efficacité ciblée (taux de rebut maximum en première utilisation, sur la première année, etc.), la quantité de produits, etc.</p> <p>Le retour d'expérience sur le produit lui-même (résultats du déverminage et retours terrain) doit être utilisé pour optimiser la procédure de déverminage sur la durée du programme.</p>		
Question de l'audit		
A-t-on analysé la nécessité du déverminage ?		
Le cas échéant, a-t-on défini la procédure de déverminage ?		
Niveau 1	Aucune analyse n'est conduite pour analyser la nécessité du déverminage.	
Niveau 2	Une analyse est conduite pour justifier le déverminage et, le cas échéant, définir une procédure de déverminage adaptée au produit ; cette procédure ne fait pas l'objet d'un document validé.	
Niveau 3	Une analyse est conduite pour justifier le déverminage et, le cas échéant, définir une procédure de déverminage adaptée au produit ; cette procédure fait l'objet d'un document validé et géré en configuration.	
Niveau 4	<p>Une analyse est conduite pour justifier le déverminage et, le cas échéant, définir une procédure de déverminage adaptée au produit ; cette procédure fait l'objet d'un document validé.</p> <p>De plus, le retour d'expérience sur le produit lui-même (résultats du déverminage et retours terrain) est utilisé pour optimiser la procédure de déverminage sur la durée du programme.</p>	

Recommandation	Correspondance	N°
Vérifier que la couverture du test de déverminage est correctement définie et formalisée	EN9100 : N3	186
Phases dans lesquelles la recommandation est applicable		Poids
CONCEPTION		11,0
Description complémentaire		
<p>Dans le cas où le déverminage est nécessaire, il est important de s'assurer de la testabilité du produit avant, pendant et après l'application de la contrainte.</p> <p>Le taux de couverture du test de déverminage doit être estimé.</p> <p>Les tests fonctionnels intégrés à la carte, au sous-ensemble ou au système peuvent être suffisants si leur taux de couverture est satisfaisant. Dans ce cas, la formalisation de la couverture de test est intégrée à l'AMDEC ou au rapport de testabilité.</p>		
Question de l'audit		
A-t-on estimé le taux de couverture du test de déverminage ?		
Niveau 1	La testabilité du produit en déverminage n'est pas prise en compte.	
Niveau 2	La testabilité du produit en déverminage est prise en compte mais le taux de couverture du test de déverminage n'a pas été estimé.	
Niveau 3	Le taux de couverture du test de déverminage est estimé (par exemple, au travers d'une AMDEC).	
Niveau 4	Le taux de couverture du test de déverminage est estimé (par exemple, au travers d'une AMDEC) ; le retour d'expérience (résultats du déverminage et retours terrain) est utilisé pour optimiser le test de déverminage.	

Annexes

Recommandations dans l'utilisation des composants DSM

Prise en compte du vieillissement sur les composants DSM (Deep Sub Micron)

Le modèle de vieillissement présenté ci-après permet de vérifier l'impact des mécanismes de dégradation sur le taux de défaillance d'un composant DSM.

Il est basé sur l'exploitation d'essais accélérés réalisés sur FPGA en technologie 28nm planaire.

Les recommandations ci-dessous s'appliquent donc aux technologies DSM planaire. Elles ne s'appliquent pas aux technologies 3D (exemple : FinFET), pour lesquelles une méthodologie est décrite au paragraphe suivant.

Le mécanisme BTI a été identifié comme le principal mécanisme de dégradation, largement prépondérant par rapport aux autres mécanismes.

Jusqu'à une température de jonction de 100°C et pour un fonctionnement H24, le taux de défaillance associé au BTI est négligeable : il reste strictement inférieur à 0,1 FIT après 50 ans d'utilisation.

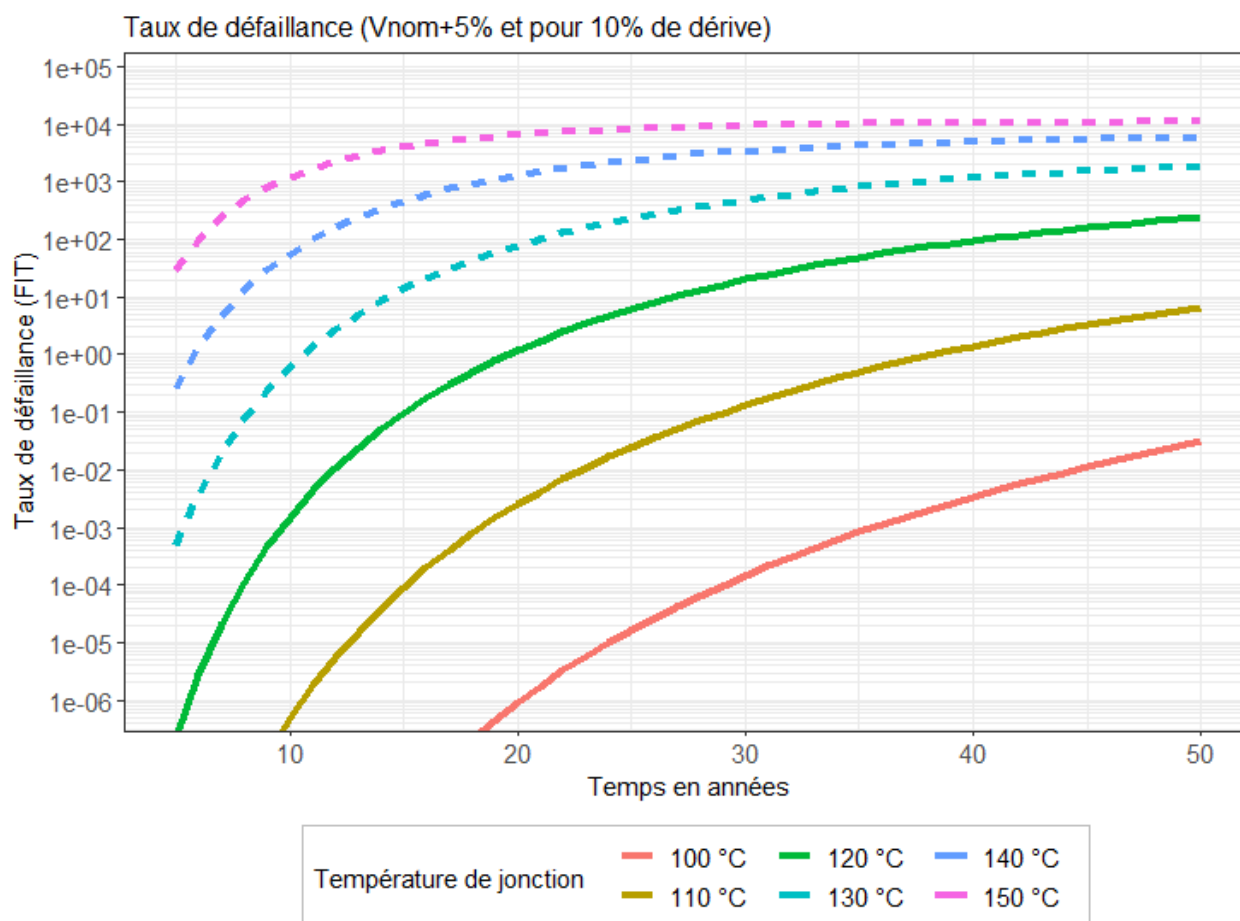
Au-delà d'une température de jonction de 100°C, le taux de défaillance associé au BTI devient significatif : à 125°C (température d'utilisation maximale de la plupart des FPGA), le taux de défaillance dépasse 1 FIT peu avant 15 ans d'utilisation et atteint 10³ FIT après 50 ans d'utilisation. Par conséquent, les préconisations faites à l'utilisateur sont les suivantes :

- En-deçà d'une température de jonction de 100°C et pour un rapport $V_{\text{appliquée}}/V_{\text{nominale}}$ inférieur ou égal à 1,05, le taux de défaillance associé au BTI peut être négligé ; l'utilisateur retiendra un taux de défaillance constant, associé aux défaillances aléatoires.
- Au-delà d'une température de jonction de 100°C et pour un rapport $V_{\text{appliquée}}/V_{\text{nominale}}$ inférieur ou égal à 1,05, l'utilisateur pourra dans un premier temps utiliser la figure suivante pour évaluer l'impact du taux de défaillance associé au BTI en fonction de la durée d'utilisation envisagée.

La figure ci-dessous montre l'évolution du taux de défaillance associé au BTI en fonction du temps, à différentes températures de jonction et pour un rapport $V_{\text{appliquée}}/V_{\text{nominale}}$ de 1,05 (correspondant à un taux de contrainte en tension de 105%).

Groupe FIDES

AIRBUS France - Eurocopter - Nexter Electronics - MBDA missile systems - Thales Systèmes Aéroportés SA
- Thales Avionics - Thales Corporate Services SAS - Thales Underwater Systems



Note :

- le critère de défaillance appliqué lors des essais est une dérive de 10% du temps de propagation des signaux,
- les courbes en pointillés sont extraites de la modélisation et non d'essai.

Dans un second temps et si cela s'avère nécessaire, l'utilisateur pourra utiliser la loi de vieillissement donnée ci-après pour évaluer le taux de défaillance associé au BTI à n'importe quel instant ; le taux de défaillance global – dépendant alors du temps – s'écrira :

$$\lambda(t) = \lambda + \lambda_{BTI}(t, T_j, V).$$

(λ étant le taux de défaillance aléatoire constant évalué dans le Guide FIDES)

Il sera du ressort de l'utilisateur de considérer effectivement un taux de défaillance non constant dans le temps ou de considérer - de manière conservatrice - un taux de défaillance constant évalué en fin de vie :

$$\lambda(D) = \lambda + \lambda_{BTI}(D, T_j, V), \text{ où } D \text{ est la durée d'utilisation envisagée.}$$

- Pour un rapport $V_{appliquée}/V_{nominale}$ inférieur ou égal à 1,1 et une température de jonction inférieure ou égale à 125°C, l'utilisateur pourra utiliser la loi de vieillissement donnée ci-après pour évaluer le taux de défaillance associé au BTI à n'importe quel instant.

Le modèle de vieillissement associé suit une loi Log-normale et le taux de défaillance s'exprime de la manière suivante :

$$\lambda_{BTI}(t, T_j, V) = \frac{\frac{1}{t \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu_0 + \gamma \cdot V - \frac{E_a}{k_B \cdot T_j}}{\sigma} \right)^2}}{1 - \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu_0 + \gamma \cdot V - \frac{E_a}{k_B \cdot T_j}}{\sigma} \right)}$$

Où :

- Φ est la fonction de répartition de la loi Normale centrée réduite $\mathcal{N}(0,1)$;
- T_j est la température de jonction du composant, en Kelvin ;
- V est le rapport $V_{\text{appliquée}}/V_{\text{nominale}}$;
- μ_0 , σ et γ sont les paramètres de la loi (valeurs données ci-après) ;
- E_a est l'énergie d'activation en eV (valeur donnée ci-après) ;
- k_B est la constante de Boltzmann.

Les valeurs à considérer pour les différents paramètres sont les suivantes :

Paramètre	Valeur estimée
μ_0	2.71
σ	0.44
E_a	0.76
γ	10.52

Méthodologie pour les technologies 3D

Le modèle de vieillissement proposé dans le paragraphe précédent s'applique uniquement aux technologies planaires. En toute rigueur, il n'est pas utilisable sur les technologies 3D (transistor 3D de type FinFET), sur lesquelles il n'a pas été validé par des essais.

Typiquement, ces technologies 3D sont utilisées pour des nœuds technologiques inférieurs (ou égaux) à 22nm pour les processeurs Intel et 16nm pour les FPGA.

Afin d'évaluer le risque sur la fiabilité à long terme, la méthodologie suivante - en 2 étapes - est proposée :

- 1/ En premier niveau, il est indispensable d'obtenir de la part du fabricant-fournisseur les données de fiabilité sur la technologie de la puce, en particulier les données issues de tests de type WLR (Wafer Level Reliability), réalisés sur des structures de tests. Ces données ne sont jamais publiques mais peuvent être obtenues sous accord NDA (Non Disclosure Agreement).

Le fabricant fournit ces données pour démontrer un niveau de fiabilité, typiquement une utilisation en continu pendant 10 ans pour une température de jonction de 85°C et une tension d'alimentation nominale (les conditions données ici ne sont que des exemples). La comparaison de ces données avec les conditions du profil de vie et d'utilisation dans l'application permettra de donner une première estimation du niveau de risque.

Pour comparer aux valeurs typiques indiquées précédemment, le risque sur la fiabilité à long terme peut être jugé négligeable si les composants considérés ne sont utilisés que sur une durée cumulée de 3 ans, à une température de jonction de 100°C et une tension nominale.

S'il reste un doute quant au niveau de fiabilité démontré par le fabricant ou à la tenue effective à long terme, un complément d'information est nécessaire.

2/ Le profil de vie et d'utilisation pourra être soumis au fabricant, qui analysera le risque en fonction de ses propres données de fiabilité internes (*), données fournies par les équipes de production/ingénierie Wafer Fab. Une majorité de fabricants acceptent de réaliser ces analyses.

(*) Même sous NDA, les fabricants ne fournissent pas toutes leurs données internes. La deuxième partie de la méthodologie permet d'obtenir une estimation plus fine du risque, de la part du fabricant. Cette estimation ne pourra toutefois pas être considérée comme une « garantie » fournie par le fabricant, ceci pour des raisons de responsabilité.

Note : Pour un fabricant ayant commercialisé ses produits - par exemple ses FPGA - dans plusieurs évolutions de process et nœuds technologiques, il est important de comparer les données d'une génération à l'autre. Ceci permet d'évaluer si les « marges » de fiabilité évoluent. Ce sera d'autant plus intéressant si la comparaison est possible entre 2 générations de produits avec un passage de la technologie planaire à la technologie FinFET (cas de FPGA sur le marché actuel).