



**RECUEIL DE DONNEES
DE
FIABILITE
DES
COMPOSANTS ELECTRONIQUES
RDF 93**

Edition de Juin 1993

RECUEIL DE DONNEES DE FIABILITE DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES RDF 93

AVERTISSEMENT

Les utilisateurs de ce recueil et du logiciel associé* sont invités à signaler toute erreur ou omission qu'ils pourraient constater soit dans le recueil sur papier, soit dans le logiciel.

Les utilisateurs sont également invités à faire connaître toute proposition de modification pour de prochaines mises à jours ainsi que les résultats de fiabilité qui pourraient améliorer le recueil**.

Nous remercions d'avance les utilisateurs pour leur collaboration.

Le Centre National d'Etudes des Télécommunications n'est pas responsable des conséquences des erreurs qui pourraient subsister dans ce recueil et dans le logiciel malgré tous les efforts apportés à leur réalisation, ni des conséquences dommageables liées à l'utilisation du recueil.

* La disquette contenant le logiciel RDF 93 est annexée en dernière page.

** Une fiche est intercalée à cet effet dans le recueil

TABLE DES MATIERES

	<i>Couleur</i>	<i>Pages</i>
Préambule	blanc	3 et 4
Condition d'emploi des données	blanc	5 à 11
Le facteur d'influence de l'environnement	blanc	12 à 19
Les facteurs d'influence de la qualité	blanc	20 à 27
Définitions	blanc	28
Logiciel RDF 93	blanc	29 à 38
Cartes équipées, circuits hybrides	bleu	CH1 à CH5
Circuits intégrés	rose	M1 à M21
Optoélectronique	jaune	OP1 à OP6
Diodes et thyristors, transistors, photocoupleurs	vert	D1 à D13
Condensateurs	blanc	C1 à C11
Résistances, potentiomètres	bleu	R1 à R9
Inductances et transformateurs	rose	IT1
Relais	jaune	RL1 à RL13
Commutateurs et claviers	vert	CC1
Connecteurs	blanc	CN1
Afficheurs, voyants	bleu	A1
Divers	rose	DIV 1

PRÉAMBULE

Le présent recueil a été élaboré dans un but non lucratif avec la collaboration bénévole d'un certain nombre d'entreprises et d'organismes français et européens :

En France la préparation du recueil, animée par le CNET, a été faite avec la collaboration et l'approbation de plusieurs entreprises et organismes réunis en groupes de travail dont la composition est donnée plus loin. Ce travail de préparation a été associé aux travaux de l'Institut de Sûreté de Fonctionnement. Le recueil résulte notamment des contributions suivantes :

- des résultats de fiabilité de matériels en exploitation, notamment des matériels de télécommunications (résultats fournis par les constructeurs ALCATEL-CIT, SAT, CROUZET et par FRANCE TELECOM), des matériels ferroviaires (GEC-ALSTHOM) et des matériels d'informatique (BULL).
- des résultats d'essais de composants (constructeurs, fabricants, CNET).
- de l'expérience acquise par un certain nombre d'experts à la suite d'analyses de défaillances et d'analyses de construction de composants utilisés ou nouveaux (constructeurs, fabricants, CNET).

Que soient remerciés ici les différentes sociétés françaises participantes et leurs représentants, particulièrement les animateurs des groupes de travail et ceux qui ont apporté des résultats.

La collaboration européenne résulte d'une étude commune franco-britannique (BRITISH TELECOM, CNET) et d'une association BRITISH TELECOM, ITALTEL, CNET.

L'étude commune franco-britannique BRITISH TELECOM, CNET a pour objet d'harmoniser le recueil de données de fiabilité de composants britannique HRD et le présent recueil RDF afin que l'utilisation de ces recueils conduise dans la plupart des cas à des prévisions identiques dans des domaines comparables.

Avec l'association BRITISH TELECOM, ITALTEL, CNET, cet objectif a été étendu au recueil italien IRPH. Cette association a permis aussi d'incorporer dans le présent recueil, la banque de données de caractéristiques de circuits intégrés élaborée par BRITISH TELECOM, ITALTEL et par la société française BULL réunies dans un groupe de travail européen STACK*.

Que BRITISH TELECOM et ITALTEL soient ici vivement remerciées pour leur précieuse collaboration.

Des mises à jour de ce recueil sont prévues : les utilisateurs de ce recueil sont invités à signaler toute erreur ou omission et à faire connaître tout résultat de fiabilité qui pourrait améliorer ce recueil**.

* STACK est une organisation à but non lucratif dont l'objectif est de développer des méthodes permettant à ses membres de réduire le coût global des composants électroniques. Ses membres sont des sociétés d'informatique et de télécommunications.

** Une fiche est intercalée à cet effet dans le recueil

CONDITIONS D'EMPLOI DES DONNEES

1. - INTRODUCTION

1.1. Principes d'une prévision de fiabilité

Le calcul de prévision de fiabilité d'un équipement sans redondance est la première étape de toute étude complète de fiabilité de cet équipement et de toute étude de fiabilité, disponibilité ou de sécurité d'un système.

Une prévision de fiabilité repose sur de nombreuses hypothèses qui sont à vérifier, (choix des familles de composants par exemple).

Une étude de fiabilité d'un équipement simple comprend non seulement cette vérification mais aussi l'optimisation de sa fiabilité (qualification des composants et des procédés de report, minimisation des risques de défaillances externes...).

Une prévision de fiabilité est indispensable, mais la recherche de la fiabilité la meilleure possible au moindre coût est également indispensable.

Le présent recueil donne les éléments pour calculer les taux de défaillance des composants électroniques et le taux de défaillance d'une carte électronique : pour calculer le taux de défaillance d'un équipement il est nécessaire de consulter les pages CH2 et CH3 qui donnent les éléments pour calculer le taux de défaillance d'une carte électronique équipée.

1.2. Constitution du recueil

Le présent recueil a justement été conçu pour faciliter l'étude d'optimisation de la fiabilité d'un équipement et pour apporter de l'aide lors de la conception de cet équipement, grâce à l'introduction de certains facteurs d'influence (et selon 3.1.). Pour que cet objectif soit tenu, il faut donc qu'une prévision de fiabilité soit commencée dès le début de la conception (puis être retouchée selon 5.4). De même, le choix des valeurs des facteurs d'influence ne doit pas être automatique.

1.3. Origine des données

Les données de fiabilité de ce recueil résultent principalement du retour d'expérience provenant de l'exploitation d'équipements électroniques fonctionnant dans trois types d'environnement :

- L'environnement "sol ; fixe ; protégé" (c'est-à-dire : utilisation au sol ; à poste fixe ; matériel protégé contre les intempéries avec un fonctionnement permanent ou non).

Les matériels correspondants sont essentiellement des équipements de télécommunications et d'informatique.

- L'environnement "sol ; fixe ; non protégé" (c'est-à-dire : utilisation au sol ; à poste fixe ; matériel non protégé contre les intempéries).

Les matériels correspondants sont essentiellement des publiphones.

- L'environnement "sol ; mobile ; favorable" (c'est-à-dire : utilisation au sol ; matériel mobile ; conditions d'utilisation favorables).

Les matériels correspondants sont essentiellement des équipements ferroviaires.

Des traitements des résultats bruts obtenus (traitements statistiques, résultats en fonction de la répartition géographique, selon les types d'équipements...) ont permis de tenir compte de quelques facteurs d'influence et d'éliminer les principales valeurs aberrantes. D'autres facteurs d'influence résultent de l'expérience d'experts (analyses de défaillances, analyses de construction, résultats d'essais d'endurance).

Les valeurs retenues constituent les valeurs les plus vraisemblables du moment (1990-1995).

1.4. Présentation pratique du recueil

Ce recueil est livré en deux parties :

- Un recueil sur papier qui doit donner au lecteur un ordre de grandeur immédiat des valeurs des taux de défaillance ainsi que la forme générale des facteurs d'influence.
- Une disquette : celle-ci permet d'effectuer les calculs sur un ordinateur de bureau de type PC ou compatible et sans moyen logiciel particulier : la disquette permet de calculer des taux de défaillance de composants ou d'une carte électronique complète.

Ce recueil ne donne pas de valeurs simplifiées car celles-ci correspondent souvent à des conditions trop éloignées de la réalité.

Par contre, dans la disquette des valeurs "par défaut" sont parfois proposées dans le cas où une ou deux conditions ne sont pas encore connues, les autres étant connues.

2. - HYPOTHESES ADOPTEES DANS LE RECUEIL RDF 93

2.1. Nature des données

2.1.1. Les données de fiabilité du présent recueil sont des taux de défaillance et, pour quelques familles de composants (très peu nombreuses) des durées de vie.

On a supposé que les taux de défaillance sont constants soit pendant une durée de fonctionnement illimitée (cas général) soit pendant des durées limitées : dans ces cas particuliers on n'a donc pas retenu de lois d'apparition du taux de défaillance en fonction du temps, ceci dans un but de simplification.

Sauf exceptions (2.1.3) la période d'usure n'est jamais atteinte par les composants électroniques et on a admis, sauf exceptions également (2.1.2) que l'on pouvait ne pas tenir compte des risques accrus de défaillance pendant les premiers mois de fonctionnement.

2.1.2. La période de défaillances précoces n'a pas été prise en compte, dans ce recueil, que pour quelques familles de composants.

En effet, pour les autres familles, l'accroissement du risque de défaillance pendant les premiers mois de fonctionnement peut être négligé, compte tenu des diverses sources de fluctuation ou d'incertitude du taux de défaillance. Cette hypothèse simplificatrice est en fait très réaliste. Elle est confirmée par le retour d'expérience provenant de l'exploitation d'équipements dont la conception a été soignée, dont les composants ont été bien choisis (compatibilité avec l'utilisation) et qui ont une production correctement maîtrisée : c'est le cas général des composants pris en compte dans ce recueil.

Les exceptions considérées dans ce recueil sont les suivantes :

- les modules à diode LASER
- les circuits intégrés pendant les 18 premiers mois de production
- les condensateurs en céramique de type II.
- les diodes de faible puissance à cavité en verre.

La période de défaillances précoces est prise en compte par l'intermédiaire du facteur de qualité π_{q3} (voir le chapitre sur le facteur de qualité) dont la valeur est plus élevée pour les premiers mois de fonctionnement. L'introduction du facteur π_{q3} permet de tenir compte de l'influence d'un suivi spécial ayant pour but de réduire ou de supprimer les risques de défaillances précoces.

Deux types de suivi particulier ont été adoptés :

- un déverminage proprement dit, c'est-à-dire un traitement unitaire (LASER, circuits intégrés)
- un essai d'endurance par prélèvement sur chaque lot correspondant au processus critique : ce procédé est plus économique.

2.1.3. La période d'usure

Pour la très grande majorité des composants la période dite "d'usure" (au cours de laquelle les défaillances prennent un caractère systématique) est très loin des périodes d'utilisation (celles-ci étant de 3 à 20 ans).

Il existe toutefois deux cas où l'on doit tenir compte de l'apparition de défaillances d'usure (dont le taux augmente avec le temps).

a) Pour certaines familles, des mécanismes de dégradation risquent, si on n'y prend pas garde, de donner lieu à des défaillances systématiques au bout d'un temps qui n'est pas suffisamment grand : par exemple l'électromigration des métallisations des composants actifs.

Ce risque doit être éliminé par une bonne conception du produit et on doit s'en assurer par les essais de qualification. Autrement dit un tel risque ne doit pas être pris en compte pour une prévision ; il doit être éliminé par la qualification et par l'évaluation technique qui ont de ce fait une importance primordiale.

b) Pour quelques familles de composants (peu nombreuses), la période d'usure n'est pas infiniment loin. Dans le présent recueil on a donné pour ces familles l'expression de la durée pendant laquelle le taux de défaillance peut être considéré comme constant. Cette durée de vie est donnée en fonction des contraintes d'influence.

Ces familles sont les relais, les condensateurs à l'aluminium (électrolyte liquide), les diodes LASER, les photocoupleurs, les transistors de puissance en fonctionnement cyclique, les connecteurs et les commutateurs et claviers.

Pour ces familles de composants il faut vérifier que la durée de vie donnée par le recueil est compatible avec l'utilisation. Dans le cas contraire la marge de manoeuvre n'est pas très grande : on peut réduire des contraintes, changer de famille de composant (ou de sous famille : pour les condensateurs à l'aluminium à électrolyte liquide il existe plusieurs types caractérisés par des essais de qualification différents).

On peut aussi prévoir de la maintenance préventive.

Remarque : comme précédemment et dans un but de simplification, on n'a pas donné de loi d'apparition des défaillances d'usure (dont le taux augmenterait en fonction du temps), mais une durée pendant laquelle le taux peut être considéré comme constant (c'est quelquefois la durée à 10% de taux cumulé).

2.2. Nature des défaillances prises en compte

2.2.1. - Les données de ce recueil correspondent à des défaillances intrinsèques (à quelques exceptions près 2.2.2)

Les défaillances prises en compte dans ce recueil sont des défaillances intrinsèques. En effet (voir 1.3) on a traité les résultats bruts de fiabilité afin d'éliminer les défaillances non intrinsèques des composants.

2.2.2. - Cas particulier des défaillances résiduelles non intrinsèques, dues à des surcharges électriques.

En pratique il subsiste forcément une petite proportion de défaillances non intrinsèques dans les données car il n'est pas possible de déceler la totalité des défaillances non intrinsèques lorsqu'elles sont résiduelles.

On constate par exemple que la fiabilité des composants des équipements situés "au coeur" d'un système est nettement meilleure que celle des composants des équipements placés à la périphérie, (c'est-à-dire qui sont en liaison avec l'extérieur). Il est entendu qu'il s'agit de surcharges résiduelles, les équipements étant convenablement protégés par hypothèse.

On a donc pris en compte dans ce recueil, par l'intermédiaire d'un facteur d'utilisation, les défaillances résiduelles non intrinsèques dues à l'environnement électrique dans le cas de deux familles : les diodes et les circuits intégrés.

2.2.3. - Autres défaillances non intrinsèques

Les autres défaillances non intrinsèques (qui seraient dues à des erreurs de conception, de choix, d'utilisation) sont exclues du présent recueil.

De telles erreurs ne sont d'ailleurs pas à prévoir mais à éviter et elles sont largement indépendantes des familles de composants.

Toutefois pour quelques objectifs particuliers comme le calcul des stocks de rechange, il peut être utile de prendre en compte les risques de défaillances résiduelles non intrinsèques dues à des erreurs de conception : des indications sont données en 4.3.

2.3. Influence de la date d'une production

C'est un fait d'expérience que les productions de composants s'améliorent progressivement grâce au retour d'expérience et aux améliorations des moyens de production. Cette amélioration s'étend au domaine de la fiabilité, si l'on exclut l'insuffisance de maturité pendant les premiers mois d'une nouvelle production. Elle est particulièrement nette dans le domaine des circuits intégrés par suite des progrès considérables qui sont nécessaires pour accroître la complexité.

Selon une idée déjà mise en pratique dans le recueil britannique HRD4, le présent recueil prend donc en compte l'année de production des circuits intégrés.

3. - LES FACTEURS D'INFLUENCE

3.1. Le taux de défaillance des composants dépend d'un certain nombre de contraintes de fonctionnement et d'environnement.

C'est pourquoi, pour chaque famille de composants le recueil donne une valeur de base d'un taux de défaillance (en général une valeur correspondant à la température interne la plus courante, prise comme référence) multipliée par plusieurs facteurs d'influence. Cette expression empirique et simplifiée permet de tenir compte des facteurs d'influence les plus importants dans le domaine des conditions d'emploi.

On a ainsi retenu les principaux facteurs suivants :

a) Des facteurs donnant l'influence de la température (π_t , π_w)

On admet généralement désormais que l'effet de la température sur la fiabilité des composants est modéré. Cet effet est par contre important pour certaines familles (composants actifs et condensateurs à l'aluminium à électrolyte liquide). Les lois mathématiques retenues correspondent à l'influence de la température sur les mécanismes de défaillances prépondérants (qui ne sont pas les mécanismes "d'usure" en général).

Pour les semiconducteurs on a pris une loi d'Arrhénius avec une énergie d'activation de 0,4 à 0,6 électron volt.

Pour les composants passifs on a pris une loi en $a \left(\frac{t}{t_M}\right)^B$ qui traduit mieux une influence surtout sensible au voisinage de la température maximale de la catégorie climatique t_M .

Le facteur π_w des potentiomètres traduit en fait l'élévation de température due à la résistance de charge.

Dans le cas des composants qui dissipent de l'énergie, on a donné la résistance thermique (semiconducteurs) ou la formule donnant la température interne en fonction de la température ambiante (résistances).

b) Des facteurs donnant l'influence de contraintes particulières d'utilisation :

- Le facteur d'utilisation π_U des thyristors, diodes Zener (fonctionnement sous tension permanente ou non).
- Le facteur π_R des condensateurs au tantale (électrolyte solide) traduisant l'effet des impulsions de courant.
- Les facteurs π_K et π_F des condensateurs à l'aluminium (électrolyte liquide).
- Le facteur π_y des relais (fréquence des manoeuvres).
- Le facteur π_i des connecteurs (intensité de courant).

c) Des facteurs donnant l'influence de la tension appliquée (π_V ou π_S)

L'influence de la tension appliquée est prise en compte pour les transistors, les condensateurs (sauf les condensateurs à l'aluminium à électrolyte liquide pour lesquels il n'y a pas d'influence), les photocoupleurs (tension appliquée entre l'entrée et la sortie).

d) Des facteurs donnant l'influence de la constitution technique (π_T , π_B)

La constitution technique (ou la structure interne) est prise en compte pour les diodes (π_T).

Le facteur de boîtier π_B rend compte des risques associés à l'encapsulation (semiconducteurs).

Certaines valeurs de ces facteurs sont grandes devant 1 : ceci traduit l'importance des risques associés à certaines structures qu'il est préférable de rejeter.

Assez souvent la constitution interne est prise en compte par un classement en sous familles (circuits intégrés) ou par des taux de base différents.

e) Le facteur d'environnement π_E et le facteur de qualité π_q

Deux chapitres spéciaux décrivent le facteur d'environnement et le facteur de qualité.

3.2. La durée de vie, lorsqu'elle est limitée, est également influencée par certains facteurs (courant de fonctionnement des photocoupleurs ; température des condensateurs à l'aluminium, à électrolyte liquide ; courant de contact pour les relais).

La durée de vie peut être exprimée en nombre de cycles (transistors de puissance, commutateurs).

4. - CONDITIONS D'UTILISATION DES DONNEES

4.1. Mode de calcul

Les taux de défaillance des composants étant supposés constants, le taux de défaillance d'un équipement sans redondance s'obtient en additionnant les taux de ses composants. Mais on a admis dans ce recueil que le report des composants sur une carte électronique peut modifier le taux de défaillance des composants dans certains cas (pour les composants montés en surface et selon le type de report).

Les pages CH2 et CH3 de ce recueil donnent la méthode pour calculer le taux de défaillance d'une carte électronique en fonction du taux de défaillance de ses composants, des types de boîtiers, des connexions et de la constitution de la carte elle-même (support d'interconnexion).

Note : Il résulte de ce qui précède que les taux de défaillance donnés pour toutes les familles des composants (de la page CH4 à la RL 13) ne comprennent pas l'influence du report

Il est donc nécessaire de se servir des pages CH2 et CH3 pour calculer le taux de défaillance d'une carte électronique équipée.

4.2. Résultats d'une prévision de fiabilité

Les résultats d'une prévision de fiabilité sont multiples et ne sont pas limités au taux de défaillance : on obtient les renseignements suivants :

- Le taux de défaillance proprement dit (de composants ou d'un matériel)
- Le choix de techniques de constitution de certains composants (choix de familles de composants)
- Le choix de conditions d'utilisation.

- La liste des composants à qualifier ou à évaluer.
- La liste des composants qui demandent un suivi de qualité complémentaire.

4.3. Le taux de défaillance est utilisable directement si l'objectif est de connaître une référence à tenir. C'est le cas pour un grand nombre d'objectifs décrits en 5.

Par contre si l'on souhaite avoir une bonne estimation de stocks de rechange il est nécessaire de majorer le résultat pour tenir compte de défaillances non intrinsèques aux composants :

- phénomène de défaillances non confirmées (matériel, sous-ensemble, désignés comme défectueux et trouvés bons en réparation).
- utilisations incorrectes de composants, mauvais choix de composants pendant les premiers mois d'utilisation d'un matériel de conception nouvelle (période d'amélioration de fiabilité).
- maintenance incorrecte, utilisation non prévue, erreurs humaines, aggravation de l'environnement.
- facteur d'apprentissage pour le processus de production (méthode de report de composants...)

Les facteurs de majoration correspondants ne peuvent être donnés dans ce recueil : ils dépendent des expériences antérieures d'une entreprise, du degré de nouveauté de la production de l'équipement (par exemple pour les défaillances non confirmées, la majoration va de 5% à 30% selon la nouveauté).

4.4. Dans le cas où des conditions ne sont pas encore connues on pourra prendre des conditions par défaut.

En effet (5.1) les calculs d'une prévision de fiabilité doivent être commencés le plus tôt possible, au début de la conception d'un équipement, alors que l'on ne connaît pas encore toutes les conditions : on utilise provisoirement des valeurs par défaut, ce qui aide à déterminer ces conditions encore inconnues. Ces valeurs par défaut sont progressivement abandonnées lorsque les conditions définitives sont connues.

Cette méthode est nettement préférable à celle des calculs simplifiés (pour lesquels toutes les valeurs sont alors remplacées par des valeurs par défaut, y compris celles qui sont déjà connues).

Les calculs doivent donc être préparés de façon à permettre facilement les modifications des valeurs.

5. - UTILITE ET OBJECTIFS D'UNE PREVISION DE FIABILITE

5.1. Une prévision de fiabilité apporte une aide lors de la conception d'un matériel

L'objectif le plus intéressant d'une prévision de fiabilité est l'aide qu'elle apporte aux auteurs de la conception d'un matériel.

Cette aide résulte de la détermination des contraintes et des facteurs qui influencent la fiabilité de chaque composant (température, tension appliquée, constitution technique des composants...).

Les prévisions faites à partir du présent recueil conduisent les auteurs d'une conception à choisir les meilleures conditions et les meilleures familles de composants et à établir les programmes de qualification ou d'évaluation des composants.

Pour que cet objectif important soit assuré il faut donc qu'une prévision de fiabilité soit commencée dès le début de la conception, par les auteurs de conception, puis reprise plusieurs fois. Le travail doit être fait en liaison étroite avec les experts en qualité de composants de l'entreprise.

5.2. Une prévision de fiabilité permet d'estimer les possibilités d'un matériel nouveau

On peut en effet comparer la fiabilité prévue aux objectifs de fiabilité ou aux besoins exprimés.

5.3. Les valeurs prévues de fiabilité servent à établir des valeurs contractuelles de fiabilité

La valeur contractuelle d'un taux de défaillance doit être déterminée à partir de la valeur prévue ; ces deux valeurs ne sont pas forcément égales : on peut en effet prendre plusieurs valeurs contractuelles

selon la période d'observation ou modifier certaines données à condition de les justifier. Mais dans tous les cas la valeur prévue doit être prise comme base.

5.4. Associés à d'autres caractéristiques d'un projet (caractéristiques électriques, masse...), les résultats d'une prévision de fiabilité permettent de comparer des solutions différentes d'un projet. C'est le cas de réponses à un appel d'offres. Une telle comparaison n'est possible que si les données utilisées sont les mêmes : c'est le rôle d'un recueil de données de fiabilité.

5.5. Les taux de défaillance prévus des équipements élémentaires d'un système constituent les données indispensables au calcul de sûreté de fonctionnement des systèmes, ainsi qu'au calcul d'aptitude aux réparations.

5.6. Les prévisions de fiabilité permettent d'évaluer les stocks de matériels et de composants de rechange nécessaires pour la maintenance. (Mais il faut alors tenir compte des défaillances non intrinsèques probables comme il a été expliqué en 4.3). Le but d'une telle étude est d'optimiser les stocks de rechange (éviter les ruptures de stock mais aussi éviter des stocks trop abondants et coûteux).

5.7. Les prévisions de fiabilité constituent une référence qui permet de juger des résultats observés en exploitation. En effet il n'est pas possible d'apprécier les résultats observés en l'absence de référence : une fiabilité médiocre serait considérée comme normale et aucune amélioration ne serait tentée.

Il est clair que l'on ne doit pas s'attendre à observer exactement la fiabilité prévue, ceci pour plusieurs raisons :

- Les prévisions ne tiennent compte que de la fiabilité intrinsèque des composants : elles ne tiennent donc pas compte des surcharges externes. (Mais, selon 2.2, elles tiennent compte des surcharges résiduelles).
- Les prévisions ne tiennent pas compte des erreurs de conception, des mauvaises utilisations des composants.
- Les prévisions ne tiennent pas compte des risques d'utilisation de lots de composants à mauvaise fiabilité.

Ces divergences avec la réalité, loin d'être un handicap sont en fait un avantage : en effet, par différence on peut relever les anomalies de fiabilité et, après analyse, y porter remède. Ce processus très important d'amélioration de fiabilité est indispensable pour abrégier la période de défaillances précoces et pour corriger les erreurs de conception des équipements.

LE FACTEUR D'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT

1. GENERALITES

L'expérience montre que la fiabilité des composants est beaucoup influencée par les conditions d'environnement mécanique, climatique ainsi que par les conditions d'environnement électrique (surcharges résiduelles).

On a donc tenu compte de cette influence dans ce recueil d'après des observations et d'après les valeurs publiées : pour simplifier, les conditions d'environnement climatique et mécanique ont été classées en une dizaine de types d'environnement : à chaque type correspond une valeur du facteur π_E qui dépend des familles.

2. LES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT ET LA FIABILITE

Il est entendu que le facteur π_E ne prend en compte que les effets résiduels de l'environnement sur un composant : puisque la fiabilité dépend beaucoup des conditions d'environnement, il ne faut pas se borner à choisir la valeur appropriée au facteur d'environnement; les effets principaux de l'environnement doivent être traités par un choix d'un type de composant approprié (boîtier....) et par une conception appropriée de l'équipement (suppression des résonances mécaniques...).

Des essais de qualification ou d'évaluation (du composant et de l'équipement) pourront être prescrits. Toutefois, pour guider les choix, on a tenu compte dans ce recueil de certaines incompatibilités entre une famille de composants et l'environnement (par exemple l'incompatibilité entre un composant semiconducteur à boîtier métallique et des conditions mécaniques sévères).

3. DEFINITION DES TYPES D'ENVIRONNEMENT RETENUS

Les types d'environnement ont été définis, après simplifications, à partir de la publication CEI 721-3 ("classification des groupements des agents d'environnement et de leur sévérité") et de la spécification ETS 300 019 (spécification ETSI : conditions d'environnement pour les équipements de télécommunications).

Le tableau 1 donne, pour les types d'environnement retenus dans ce recueil, les renseignements suivants :

- la désignation abrégée adoptée dans le recueil.
- la désignation complète (en général d'après la publication CEI 721-3).
- la nature des principales contraintes.
- quelques exemples d'applications.

Le tableau 2 donne les ordres de grandeur des contraintes mécaniques (chocs et vibrations) pour les types d'environnement principaux.

Les tableaux 3 définissent les conditions d'environnement selon l'existence et l'activité de substances chimiques (définitions données dans le tableau 3-b à partir des conventions données par les deux tableaux 3-a).

Le tableau 4 donne les valeurs du facteur d'environnement selon les familles de composants et pour les dix types d'environnement les plus courants (ce sont les dix types retenus dans les tableaux donnant les valeurs du facteur π_E pour chacune des familles de composants).

Tableau 1 : Description et exemples d'application des types d'environnement les plus courants

Désignation de l'environnement		Description de l'environnement	Applications
Désignation abrégée (adoptée dans le recueil)	Désignation complète		
Sol ; fixe ; protégé	Utilisation au sol ; à poste fixe Matériel protégé contre les intempéries	Température et humidité pilotées Faibles contraintes Bonne maintenance	Equipements placés dans des locaux climatisés
Sol ; fixe ; non protégé	Utilisation au sol ; à poste fixe Matériel non protégé contre les intempéries Remarque importante : la désignation "non protégé contre les intempéries" (selon CEI 721.3) correspond au matériel et non aux composants. En ce qui concerne les composants (qui sont protégés contre les intempéries) la principale différence avec le type "sol ; fixe ; protégés" provient de l'absence de pilotage des conditions climatiques (humidité, température)	Quelques contraintes mécaniques et climatiques (modérées) Maintenance de qualité moyenne	Equipements placés dans des locaux peu ou pas climatisés : - postes téléphoniques - équipements dans des locaux publics - équipements sur la voie publique, gares... - équipement en milieu industriel
Sol ; mobile ; favorable	Utilisation au sol ; matériel mobile Conditions d'utilisation favorables	Contraintes mécaniques plus sévères que pour "sol ; fixe ; non protégé" Maintenance parfois difficile.	Radiotéléphone Equipements portables sur Véhicules terrestres
Sol ; mobile ; défavorable	Utilisation au sol ; matériel mobile Conditions d'utilisation défavorables	Comme le précédent "sol ; mobile ; favorable" ; mais avec des contraintes mécaniques plus sévères	
Satellite sur orbite	Utilisation à bord d'un satellite sur orbite	Très peu de contraintes mécaniques	
Satellite ; lancement	Utilisation à bord d'un satellite pendant son lancement	Chocs de sévérité extrême Vibrations de grande amplitude et de fréquences élevées (jusqu'à 2000 Hz)	
Avion ; favorable	Utilisation dans un avion dans des conditions...	Conditions proches de celles de "sol ; mobile favorable" mais vibrations plus intenses, jusqu'à 2000 Hz	D'autres applications (autres que "avion", "bateau" sont possibles pourvu que les contraintes soient voisines
Avion ; légèrement défavorable*		Les qualificatifs "légèrement défavorable", "défavorable", "très défavorable", sont définis dans le tableau 2 ; ils correspondent à des contraintes mécaniques croissantes	
Avion ; défavorable*			
Avion ; très défavorable			
Bateau ; favorable	Utilisation à bord d'un bateau dans des conditions...	Conditions proches de celles de "sol ; fixe ; non protégé" mais avec des chocs et vibrations d'amplitudes plus accentuées. Les qualificatifs "favorable", "défavorable", correspondent aux contraintes mécaniques, selon le tableau 2.	
Bateau ; défavorable			

* Type d'environnement non retenu dans les tableaux du recueil famille par famille (ni dans le tableau 4) : voir paragraphe 3 de ce chapitre

Tableaux 3-a : Définition des qualificatifs utilisés dans le tableau 3b : sévérité des environnements selon la teneur en substances à activité mécanique ou chimique.

Tableau 3-a-1 : Substances à activité mécanique

Qualificatifs utilisés dans le tableau 3b	Sable	Poussières		Exemples d'environnement
	(mg/m ³)	(mg/m ³)	(mg/m ² h)	
très faible	0	0,01	0,4	Bateau ; favorable
Faible	30	0,2	1,5	Sol ; protégé
Modéré	300	0,4	1,5	Sol ; non protégé
Sévère	3000	4	40	Sol ; mobile ; défavorable

Tableau 3-a-2 : Substances à activité chimique

Qualificatifs utilisés dans le tableau 3b	Brouillard salin	SO ₂	H ₂ S	C ₁	NO ₂	Exemples d'environnement
		(proportion en 10 ⁻⁹)				
Faible	(faible)*	30	7	7	50	Sol ; protégé
Modéré	(modéré)*	100	70	70	300	Sol ; non protégé
Sévère	(sévère)*	400	400	70	500	Bateau ; défavorable

* Il n'existe pas de chiffre

Tableau 3-b : Caractéristiques typiques des différents environnements retenus (substances à activités mécanique et chimique, et conditions climatiques).

	Importance de l'activité des substances de l'environnement			Taux d'humidité relative %	Température moyenne °C	Variations rapides de température
	Substances à activité mécanique	Substances à activité chimique				
		Substances gazeuses	Substances fluides			
	(importance selon le tableau 3-a-1)	(importance selon le tableau 3-a-2)	(pas de critère précis de l'importance)			
Sol ; fixe ; protégé	faible	faible	très faible	40 à 70	+5 à +45	très faibles
Sol ; fixe ; non protégé	modérée	modérée	très faible	5 à 100	-40 à +45	faibles
Sol ; mobile ; favorable	modérée	modérée	très faible	5 à 100*	-40 à +45	faibles
Avion ; favorable	faible	faible	très faible	5 à 100	-40 à +45	faibles
Avion ; légèrement défavorable	faible	faible	très faible	5 à 100	-40 à +45	faibles
Bateau ; favorable	très faible	faible	très faible	5 à 100	-40 à +45	faibles
Sol ; mobile ; défavorable	sévère	modérée	faible	5 à 100	-40 à +70	modérées
Avion ; défavorable	sévère	modérée	sévère	5 à 100	-65 à +85	sévères
Bateau ; défavorable	modérée	sévère	sévère	10 à 100	-40 à +70	sévères
Avion ; très défavorable	sévère	modérée	sévère	5 à 100	-65 à +85	sévères
Satellite ; lancement	modérée	modérée				

* 40 à 70 pour l'environnement ferroviaire

Tableau 4 : Valeurs du facteur π_E (principaux types d'environnement).

	Satellites sur orbite	Sol ; fixe ; protégé	Sol ; fixe ; non protégé	Sol ; mobile ; favorable	Avion ; favorable	Bateau ; favorable	Sol ; mobile ; défavorable	Bateau ; défavorable	Avion ; très favorable	Satellite ; lancement
Circuits intégrés	0,5	0* 0,5*	2,5	4	5	6	8	12		
Circuits hybrides	0,5	1	2,5	4	5	6	8	12		
Dispositifs actifs peu fragiles	0,5	1	2,5	4	5	6	8	12		
Optoélectronique ; sans fibre	0,5	1	2,5	5	6,5	8	12	15		
Dispositifs actifs fragiles	0,5	1	3	7	8,5	10	15	20		
Optoélectronique ; avec fibre	0,5	1	3	10	11	12	20	**		
Résistances agglomérées	0,5	1	2,5	4	5,5	7	8	12		
Résistances pavés ; MELF	0,5	1	2,5	4	5,5	7	8	12		
Résistances à couches ; faible dissipation	0,5	1	2,5	4	5,5	7	8	12		
Résistances à couches ; forte dissipation	0,5	1	2,5	4	5,5	7	8	12		
Résistances bobinées ; faible dissipation	*0,5	1	2,5	6	7	8	15	20		
Résistances bobinées ; forte dissipation	0,5	1	2,5	6	7	8	15	20		
Condensateurs en céramique	0,5	1	2,5	4	5,5	7	8	12		
Condensateurs au tantale, et aluminium (solide)	0,5	1	2,5	4	5,5	7	10	12		
Condensateurs à film	0,5	1	2,5	5	6,5	8	12	15		
Condensateurs au mica	0,5	1	2,5	5	6,5	8	12	15		
Condensateurs au tantale et aluminium (liquide)	0,5	1	2,5	6	8	10	15	20		
Accumulateurs, piles	0,5	1	2,5	6	8	10	15	20		
Fusibles	0,5	1	2,5	4	5	6	10	12		
Connexions, cartes imprimées	0,5	1	2,5	3	4,5	6	6	12		
Connecteurs coaxiaux et rectangulaires	0,5	1	2,5	4	5,5	7	7	15		
Connecteurs pour circuits imprimés	0,5	1	3	4	5,5	7	6	15		
Supports de composants	0,5	1	3	7	8,5	10	15	20		
Afficheurs à cristaux liquides	0,5	1	3	4	5,5	7	6	15		
Voyants à diode électroluminescente	0,5	1	2,5	5	6,5	8	12	15		
Inductances et transformateurs	0,5	1	3	6	7	8	8	20		
Condensateurs variables	0,5	1	3	7	9,5	12	20	25		
Potentiomètres	0,5	1	3	7	9,5	12	10	30		
Relais	0,5	1	3	8	11,5	15	8	35		
Claviers, commutateurs	0,5	1	3	8	11,5	15	8	35		
Composants piezoélectriques	0,5	1	4	12	13,5	15	20	25		
Composants passifs pour microondes (ferrites)	0,5	1	4	12	13,5	15	20	25		
Thermistances ; varistances	0,5	1	4	12	13,5	15	20	25		

Notes : *0 pour le fonctionnement permanent
*0,5 pour le fonctionnement intermittent
** non applicable

4. CHOIX DU TYPE D'ENVIRONNEMENT POUR UNE APPLICATION DONNEE

Le type d'environnement correspondant au matériel dont on calcule la fiabilité ne coïncide pas forcément avec les types d'environnement du tableau 4. On peut alors prendre une valeur du facteur π_E correspondant au type d'environnement le plus proche ou prendre une valeur intermédiaire.

A cet effet on s'inspirera des conditions d'environnement données dans les tableaux 2 et 3 en remarquant que les contraintes qui ont le plus d'influence sur le facteur π_E sont surtout les contraintes mécaniques (chocs et vibrations).

L'humidité a aussi de l'importance, mais son influence est moindre.

Première méthode : choix du type d'environnement le plus proche

Exemple :

Un type d'environnement peut être défini comme "sol ; fixe ; protégé" (utilisation du sol à poste fixe ; matériel non protégé contre les intempéries) mais avec des vibrations importantes du type "sol ; mobile".

On prendra le facteur π_E du type d'environnement "sol ; mobile ; favorable" (ou "sol ; mobile ; défavorable").

Cette méthode peut donner des valeurs trop fortes ou trop faibles : il peut alors être justifié de prendre des valeurs intermédiaires (ci-après).

Deuxième méthode : choix d'un type d'environnement intermédiaire

Exemple :

Les conditions d'environnement sont intermédiaires entre celles du type "sol ; fixe ; non protégé" et celles du type "sol ; mobile ; favorable". On prendra la valeur moyenne (en arrondissant à l'unité ou la demi-unité la plus proche).

Le tableau 5 donne, à titre indicatif, les valeurs de facteur π_E que l'on peut prendre pour les deux types d'environnement suivants (figurant dans le tableau 1).

"Avion ; légèrement défavorable"

"Avion ; défavorable"

Tableau 5 : Valeurs proposées à titre indicatif pour le facteur π_E correspondant aux deux types d'environnement intermédiaires figurant dans le tableau 1 mais non dans le tableau 4.

Type d'environnement	Valeur du facteur π_E à prendre (Arrondir à l'unité ou à la demi-unité la plus proche)
Avion ; légèrement défavorable	$\frac{2}{3} \times [(\text{facteur } \pi_E \text{ pour "Avion ; favorable"}) + (\text{facteur } \pi_E \text{ pour "Avion très défavorable"})]$
Avion ; défavorable	$\frac{1}{2} \times [(\text{facteur } \pi_E \text{ pour "Avion ; favorable"}) + (\text{facteur } \pi_E \text{ pour "Avion très défavorable"})]$

5. LES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT ELECTRIQUE

La fiabilité dépend également beaucoup des conditions d'environnement électrique (surcharges de tension ou surcharges d'intensité).

C'est notamment le cas des composants montés dans les circuits de liaison entre une carte électronique et l'extérieur (un autre équipement surtout s'il est placé à distance).

Il convient, avant tout de protéger convenablement les composants exposés (par un réseau de protection comprenant des composants conçus pour résister aux surcharges). Mais on constate souvent que la fiabilité des composants exposés et protégés, n'est pas aussi bonne que la fiabilité des composants placés "au coeur" d'un matériel. On a donc tenu compte des conditions d'environnement électrique pour la famille des circuits intégrés (sachant qu'il s'agit de l'effet de surcharges résiduelles après un réseau de protection), ainsi que pour les diodes.

On pourra également tenir compte de l'influence de l'environnement électrique pour d'autres familles (certains composants actifs et même passifs).

LES FACTEURS D'INFLUENCE DE QUALITE

1. - SIGNIFICATION DU FACTEUR DE QUALITE

Une bonne fiabilité de composants et d'équipements ne s'obtient pas sans efforts (de la part du fabricant mais aussi des clients). Ce sont ces efforts que l'on prend en compte par le facteur de qualité.

Les dispositions à prendre pour obtenir une bonne fiabilité sont en général intégrées dans la conception et la production des composants. Certaines d'entre elles sont par ailleurs indispensables pour obtenir un bon rendement de production. Cette intégration explique que la nécessité d'un facteur de qualité soit parfois controversée puisque la fiabilité d'un produit est étroitement liée à sa fabrication.

Cependant les dispositions prises peuvent être plus ou moins efficaces du point de vue de la fiabilité ; elles peuvent être reconnues ou non par le service officiel de qualité (service national de la qualité) ou par un client et être éventuellement complétées - Ceci justifie l'introduction d'un facteur de qualité. Toutefois il a été admis dans ce recueil que l'amplitude des variations du facteur de qualité sont relativement faibles avec les productions actuelles, notamment pour les circuits intégrés.

2. - ELEMENTS DU FACTEUR DE QUALITE

2.1. Rappel

Il est connu que les défaillances de composants sont dues à des défauts internes associées ou non à une évolution avec le temps (dégradation)*. Ces défauts sont la conséquence d'accidents, de perturbations, d'écarts, de modifications dans les diverses étapes de la production (matériaux, processus, nettoyages, stockages, entretien des installations, sous-traitances, incidents sur les moyens de production ou sur leur environnement).

On sait qu'il existe deux méthodes générales en fiabilité :

- La tolérance aux risques
- La réduction des risques

Ces deux méthodes sont complémentaires et doivent être appliquées l'une et l'autre.

2.2. Description des deux méthodes (tolérance, réduction) pour les composants.

2.2.1. La tolérance aux risques : pour les composants, on l'obtient par le choix de structures internes de composants et de processus de fabrication qui soient le moins sensibles possible aux écarts de production ou d'environnement.

Ce choix doit être fait par le fabricant au cours du développement d'un composant, par les clients (on rejette une famille ou un modèle de composant au profit d'une autre, par le biais d'une liste de composants préférés) ainsi que par les experts du système officiel de qualité (CECC).

2.2.2. La réduction des risques : pour les composants c'est la réduction des risques associés aux perturbations évoquées plus haut. Les méthodes pour minimiser ces risques sont connues ; elles doivent être toutes appliquées (pilotage des processus, existence de nombreuses boucles de réaction entre les processus et le produit, maîtrise des modifications, maîtrise des interventions sur les équipements de production, propriété généralisée...).

Les boucles de réaction sont établies entre des caractéristiques critiques d'un processus et une caractéristique indicatrice d'un composant terminé ou non (ou une combinaison de caractéristiques). Les caractéristiques choisies ou leur combinaison doivent être des indicateurs de fiabilité (caractéristique mécanique ou chimique d'un élément interne, courant résiduel des dérives d'une caractéristique d'un composant après un essai d'endurance)**.

* Sauf pour les défaillances pendant la période d'usure, (pour les composants dont la durée de vie est limitée : les familles correspondantes sont indiquées dans ce recueil).

** Grâce aux indicateurs de fiabilité, un essai d'endurance permet de détecter des écarts de fabrication avant que des anomalies de fiabilité des composants produits ne soient observées en exploitation (même en tenant compte du retard des résultats des essais).

Les boucles longues passent par des essais d'endurance du composant terminé et les plus longues passent par le traitement des anomalies en exploitation.

L'analyse statistique facilite la réalisation des boucles de réaction : la technique de la maîtrise statistique de processus (SPC) apporte les outils nécessaires pour établir des boucles et l'automatisation des calculs rend possible l'utilisation de ces outils.

L'existence d'une boucle de réaction ne suffit pas pour que celle-ci soit considérée comme un facteur d'influence de la fiabilité : il est nécessaire que la caractéristique surveillée soit un indicateur de fiabilité. En effet beaucoup de boucles ont essentiellement pour but de maintenir des caractéristiques de fonctionnement du composant dans des limites déterminées. Il faut donc s'assurer que les principaux risques de défaillance ont été effectivement pris en compte et que les grandeurs surveillées sont de bons indicateurs de fiabilité.

2.3. Remarques

2.3.1. L'apprentissage

Au cours des premiers mois d'une production nouvelle, on observe que la fiabilité s'améliore. Autrement dit l'efficacité d'un système de maîtrise de la qualité ne dépend pas seulement de sa constitution, mais de l'expérience acquise au cours d'une période d'apprentissage. Dans ce recueil on n'a tenu compte de cette période d'apprentissage que pour les circuits intégrés : en pratique un composant n'est réellement mis dans le commerce qu'après une certaine période de maturité ce qui justifie notre position.

Mais, pour des produits nouveaux encore peu connus, l'utilisateur du recueil devra lui même adopter une valeur plus forte du facteur de qualité, surtout pour les premiers mois de fonctionnement.

2.3.2. L'organisation de la qualité et la certification

Le système complet de la maîtrise de la qualité comprend essentiellement la maîtrise de la production. Mais il comprend aussi des dispositions plus générales liées à l'organisation de la qualité chez le fabricant. Ceci justifie l'utilisation de la certification de cette organisation mais une telles certification n'est pas suffisante puisqu'elle ne porte que sur une partie du système de maîtrise de la qualité.

2.3.3. Les différences entre les lots de production

Une production de composants est faite lot par lot (lots de matériaux, de traitements) et de façon collective. Autrement dit, les écarts de fabrication portent plutôt sur l'ensemble d'un lot : de ce fait la notion de lot doit être conservée dans une boucle de réaction.

Par ailleurs si l'on souhaite minimiser l'existence de risque de défaillance des composants fabriqués (cas de la "qualité renforcée"), il est nécessaire de qualifier complètement chaque lot (avec essais d'endurance choisis pour leur efficacité).

2.3.4. L'influence de la qualité π_q et l'influence de la constitution technique d'un composant (π_T)

Le choix de constitutions internes "robustes" est un premier élément indispensable (2.2.) : il est pris en compte dans le facteur de qualité. Toutefois, pour certaines familles de composants on a fait apparaître un facteur π_T prenant en compte certaines particularités de la constitution interne lorsque ces particularités sont importantes.

3. - PRESENTATION DES DIFFERENTES VALEURS DU FACTEUR π_q ADOPTÉES DANS LE RECUEIL

3.0. Principes adoptés - Remarques préliminaires

3.0.1. Principes adoptés

Dans ce recueil, les valeurs des facteurs π_q ne sont pas groupées selon des classes*, à l'exception de la classe "qualité renforcée".

* Le système CECC ne comprend pas de classes de fiabilité. La "qualité renforcée" du présent recueil correspond en fait au système européen pour l'espace SCC de l'ESA. L'harmonisation des deux systèmes SCC et CECC est prévue. Les autres classes du système CECC correspondent plutôt à des différences de tolérances. Il existe des classes de déverminage pour les semi-conducteurs. Ce recueil a pris en compte le déverminage pour les circuits intégrés de production récente (voir 3.3).

En effet l'utilisateur de composants doit participer à la construction d'une bonne fiabilité et connaître la nature des composants : ce recueil a été conçu comme une aide à la conception.

Ce recueil prend en compte quelques tâches essentielles à exécuter, sachant que le système de qualité normal en Europe est l'admission à la marque NF/CECC (selon l'expression adoptée en France).

3.0.2. Vocabulaire

Par convention, on a utilisé les trois termes suivants : suivi, qualification, évaluation.

a) - Le suivi d'une production :

- Le suivi par le fabricant comprend toutes les opérations faites au jour le jour pour surveiller une fabrication. C'est l'application des dispositions énumérées en 2.2.2.

- Le suivi par le service officiel (SNQ) comprend l'examen des résultats de la surveillance du fabricant (par exemple l'analyse statistique des processus, des résultats d'essais exécutés au cours des semaines précédentes) ainsi que le traitement des anomalies.

- Le suivi par ce client est forcément plus restreint (contrôle d'entrée, essais d'endurance périodiques)

b) - La qualification comprend toutes les tâches qui sont exécutées une première fois par un service indépendant du fabricant : ces tâches constituent la condition préalable à l'utilisation régulière du composant (c'est-à-dire la condition préalable à l'admission à la marque dans le cas du système officiel de qualité ou préalable à l'introduction dans une liste préférentielle, dans le cas d'un client).

Ces tâches ont deux buts essentiels :

- l'examen détaillé du composant, la recherche des risques de défaillances (essais d'endurance, analyse de construction).

- l'examen détaillé des lignes de fabrication et des méthodes de suivi.

Remarque : Les tâches analogues sont exécutées par le fabricant avant la mise dans le commerce d'un composant. Mais c'est la reconnaissance par un service indépendant qui est prise en compte ici.

c) - L'évaluation technique

Par cette expression ("évaluation technique") on désigne essentiellement des opérations d'examen d'aptitude du produit à tolérer les risques (voir en 3.3.)

Ces opérations peuvent être les seules à être exécutées (s'il n'y a pas de qualification ni de suivi reconnus), ou au contraire être un complément au système de qualification et de suivi.

3.0.3 Dans ce recueil on a décomposé le facteur π_q en trois parties : ce procédé a paru le plus simple pour prendre en compte trois éléments d'influence fondamentaux qui interviennent séparément :

- un "sous facteur" π_{q1} prenant en compte l'influence du système d'assurance de qualité de base (CECC).

- un "sous facteur" π_{q2} prenant en compte l'influence d'une évaluation technique.

- un "sous facteur" π_{q3} prenant en compte l'influence d'un suivi complémentaire lorsqu'il est nécessaire.

On a adopté la relation suivante :

$$\pi_q = \pi_{q1} \times \pi_{q2} \times \pi_{q3}$$

3.1. - Le facteur π_{q1} : Qualification et suivi de base - Signification

Facteur π_{q1} : Les tableaux donnant les valeurs du facteur π_{q1} dans les pages de ce recueil peuvent se résumer par le tableau ci-dessous

Qualification et suivi de base		π_{q1}		
Désignation synthétique adoptée dans le recueil	Désignation complète ou signification	circuits intégrés	composants actifs (sauf circuits intégrés)	composants passifs et électromécaniques
Qualité renforcée	Assurance renforcée de la qualité	0,7	0,2	0,1
CECC ou équivalent	Admission à la marque (CECC/JTE) ou Qualification et suivi par le client	1	1	1
Ni CECC ni équivalent	Aucune reconnaissance du système d'assurance de qualité du fabricant ni par le service national de qualité ni par un client	1,3	2	2

A - CECC OU EQUIVALENT

Sous cette dénomination on désigne une première qualification et un suivi qui sont exécutés soit par le service officiel de qualité c'est-à-dire par le service national de la qualité ou SNQ -c'est le sens du terme "CECC" dans le titre- soit, à défaut, par un client pour son propre compte -c'est le sens du terme "équivalent".

A1. Cas du service officiel de qualité ("CECC")

L'admission à la marque* résulte de plusieurs opérations exécutées en France par le Service national de qualité (SNQ) selon des documents de référence préparés par des groupes de travail et l'Union Technique (JTE) et par le comité de composants européen (CECC).

Ces opérations comprennent une qualification préalable et un suivi selon le paragraphe 3.0.1. c'est-à-dire :

a - l'agrément du fabricant (de l'organisation de la qualité et de ses moyens de production). La norme ISO 9000 est l'une des bases de cet agrément ; la certification d'entreprise selon la norme ISO 9000 constitue d'ailleurs une première partie de cet agrément.**

b - l'agrément du produit et des processus de fabrication.

Il existe actuellement plusieurs variantes :

- l'agrément du produit proprement dit qui comprend principalement une série d'essais d'endurance et de vérification de caractéristiques selon des spécifications CECC. Par "produit" on désigne ici un modèle représentatif d'une famille de composants (les modèles pouvant être groupés). Par ailleurs un essai sur le produit fini peut être remplacé par une vérification en cours de fabrication si l'équivalence est admise.

- l'agrément de savoir faire est une extension de l'agrément précédent aux composants à la demande (notamment les circuits intégrés hybrides et monolithiques).

* L'admission à la marque est désignée aussi par "contrôle de conformité de la qualité", "droit d'usage de la marque NF". Noter que l'expression "conformité" est parfois utilisée abusivement (existence de documents seulement).

** Il faut donc noter que la certification selon ISO 9000, ne constitue qu'une partie de l'agrément d'un fabricant, cet agrément n'étant lui-même qu'une partie très incomplète de l'admission à la marque puisque le produit et sa production ne sont pas examinés en détail.

L'association pour les essais est plus poussée : les essais peuvent porter sur des "témoins" (ou "véhicules de test") dont la constitution est représentative d'une filière technique. Par ailleurs on prend en compte la constitution interne et les processus de fabrication d'une façon plus régulière.

- l'agrément technologique est une extension de l'agrément de savoir faire à tous les produits avec une prise en compte plus approfondie de la constitution interne et des processus de fabrication.

c - Le suivi des fabrications par le Service National de qualité.

C'est en fait le suivi de la surveillance effectuée par le fabricant lui-même : il est effectué à l'occasion de visites ou de traitement d'anomalies (observées sur des essais ou en exploitation chez un client). En cas d'anomalie importante il y a suspension de la marque. (En France les composants ou leur emballage portent une marque caractéristique NF ou CECC. Cette marque n'est plus portée s'il y a suspension : les acheteurs doivent donc vérifier la présence de la marque).

A2 . "Equivalent" c'est-à-dire qualification et suivi par un client

Les principes sont les mêmes que pour l'admission à la marque (qualification et suivi) mais les tâches correspondantes sont simplifiées, surtout pour le suivi.

- La qualification peut comprendre des essais d'endurance efficaces pour les produits nouveaux et des examens des chaînes de fabrication *.

- Le suivi se limite au contrôle d'entrée et éventuellement, à des essais périodiques d'endurance, ainsi qu'au traitement des anomalies en exploitation.

On a admis que la simplification pouvait être compensée par le traitement régulier des anomalies mais chaque utilisateur de composants devra estimer lui-même l'efficacité de son système de qualité de composants et, éventuellement prendre une valeur particulière intermédiaire entre 1 et la valeur pour "ni CECC ni équivalent".

B - NI CECC, NI ÉQUIVALENT

On désigne ainsi le cas où un composant n'est pas pris en charge par le système CECC et où l'acheteur du composant n'a pas qualifié le composant ni mis en place un suivi de la qualité, (l'acheteur étant ici le constructeur du matériel auquel s'applique la prévision de fiabilité).

Dans ce cas, la fiabilité des composants achetés peut être très bonne mais l'absence de reconnaissance se traduit par une baisse de confiance (la fiabilité peut être irrégulière d'un lot à l'autre) que l'on traduit dans ce recueil par une valeur du facteur π_{q1} de 2 (en général).

C - QUALITÉ RENFORCÉE (OU ASSURANCE RENFORCÉE DE LA QUALITÉ)

L'assurance renforcée de la qualité correspond au cas où un utilisateur souhaite obtenir des composants ayant un taux de défaillance nettement meilleur qu'avec le suivi normal de la qualité ("CECC ou équivalent").

Certains fabricants proposent des programmes de fiabilité à leurs clients. Par ailleurs "l'assurance renforcée de qualité" existe dans le système CECC. Mais il est important que le client participe à la construction de la fiabilité dans ces programmes. En effet les principes sont les mêmes que pour une production normale (2.2) mais on doit prendre en compte tous les risques connus (au lieu de se limiter aux

* Eventuellement, l'auteur de la prévision établit la liste des composants à qualifier avant leur achat

Facteur π_{q1} (suite)

plus gros). La maîtrise des fabrications doit être poussée et deux techniques sont particulièrement importantes :

- le choix de modèles ou de familles de composants ayant une constitution tolérant les écarts de production et dont les processus de fabrication sont eux-mêmes tolérants. Le client a ici un rôle important. On doit rejeter des familles qui seraient acceptées normalement.
- la qualification poussée de chaque lot par des essais d'endurance spécifiques.

Le traitement unitaire (examens, application de contraintes...) est un complément utile pour certaines familles. On peut espérer rejeter des composants risquant d'avoir une défaillance de jeunesse.

Il est à noter que la méthode de la fiabilité prouvée n'est plus possible avec les composants actuels dont la fiabilité naturelle est trop bonne pour être prouvée, même par des essais accélérés.

On a obtenu avec les méthodes rappelées plus haut (prise en compte de tous les risques, choix d'une constitution technique et de processus tolérant les écarts, qualification complète des lots) des résultats très intéressants sur des répéteurs de télécommunications immergés (0 défaillance, soit de $1 \times 10^{-11}/h$ à $5 \times 10^{-10}/h$ selon les familles).

Les valeurs proposées ici pour le facteur π_{q1} constituent l'estimation la plus vraisemblable d'après le jugement des experts et d'après les résultats précédents, sachant qu'il n'est pas possible d'obtenir des résultats d'exploitation ni d'essais.

On n'a pas cherché à établir des correspondances avec les classes des spécifications MIL ou ESA : en effet une telle correspondance ne serait possible que pour un seul jeu de conditions de fonctionnement puisque les lois d'accélération retenues ne sont pas les mêmes.

Remarque importante - Il est clair que la proportion de défaillances non intrinsèques de tels composants (c'est-à-dire les défaillances dues à des erreurs de conception, à des surcharges, à des erreurs de choix) risque d'être prépondérante si on ne réduit pas également de façon rigoureuse ces risques de défaillances. Autrement dit, la fiabilité des équipements ne serait pas améliorée.

3.2. Le facteur π_{q2} : Evaluation techniqueFacteur π_{q2}

Le tableau ci-dessous apparait sur les pages du recueil

Qualification et suivi de base	π_{q2}
Avec évaluation	1
Sans évaluation	2

La signification de l'évaluation technique a été donnée en 3.0.2.c.

Le facteur π_{q2} prend en compte l'influence du choix d'un type de composant (ou d'une famille) après une évaluation technique. On fait cette évaluation technique pour estimer les risques de défaillance associés et on rejette les produits qui présentent trop de risques.

Cette évaluation est plus ou moins complète selon l'expérience de l'expert (analyse de la constitution, caractérisation électrique). On peut, dans les cas extrêmes, se borner à reconnaître la technique de constitution (cas où celle-ci est très connue et où les risques associés sont très faibles).

Deux cas sont possibles :

Premier cas : le produit est pris en charge par le système CECC ou a été qualifié par un client.

L'évaluation technique est alors un complément à la qualification : en effet, même si celle-ci a été approfondie, il peut se faire que la tolérance du produit vis à vis des écarts de fabrication n'ait pas été prise en compte par la qualification.

Facteur π_{q2} (suite)

Il convient donc d'effectuer une évaluation technique complémentaire ou de s'assurer que la qualification a bien pris ces risques en compte (on peut alors prendre $\pi_{q2} = 1$).

Deuxième cas : le produit n'a pas été qualifié de façon détaillée ni par le CECC ni par un client : une évaluation technique efficace (mais pouvant être abrégée comme il est indiqué plus haut) permet d'éliminer des produits à risque et de prendre $\pi_{q2} = 1$.

3.3. - Le facteur π_{q3} : Suivi complémentaireFacteur π_{q3}

Le tableau ci-dessous reproduit les tableaux qui figurent dans les pages de quelques familles

Suivi complémentaire		π_{q3}	
		première année * de fonctionnement	Années suivantes
Sous-famille (désignée)	Avec essai complémentaire de suivi	1	1
	Sans essai complémentaire de suivi	3 à 10	1 à 10
Autres		1	1

* Il s'agit de la première année d'utilisation. Dans le cas d'un fonctionnement intermittent, on prendra également une année d'utilisation (pour simplifier, on ne donne pas la durée en heures dans ce cas).
Pour certaines familles, on ne distingue pas la première année de fonctionnement.

Il peut arriver que l'on soit obligé de retenir une famille (ou une sous-famille) qui présente des risques malgré une bonne maîtrise de production. Il est alors nécessaire d'effectuer sur chacun des lots correspondant à l'opération critique, un essai rapide d'endurance par prélèvement permettant de rejeter ou d'accepter les lots.

Les familles de composants correspondantes sont les photocoupleurs, les diodes de faible puissance, les modules LASER, les diodes de réception d'optoélectronique, les condensateurs en céramique de découplage, les condensateurs au tantale pour montage en surface et les circuits intégrés.

Parfois ce facteur π_{q3} ne s'applique qu'à une sous-famille (qui est alors indiquée).

Deux valeurs différentes de π_{q3} peuvent être indiquées : pour la première année et pour les années suivantes (en effet, les défaillances correspondantes sont souvent des défaillances de jeunesse).

Lorsque le risque est devenu un peu moins fort grâce à une maîtrise renforcée du processus critique de fabrication, il est possible d'espacer l'essai complémentaire qui devient alors un essai de surveillance : c'est le cas des photocoupleurs (un essai d'intermittences chaque mois).

Avec les productions actuelles convenablement maîtrisées un traitement unitaire (ou déverminage) n'est plus utile (un tel traitement comprend essentiellement un fonctionnement sous contraintes, pendant quelques dizaines d'heures ; le but est d'éliminer les pièces qui auraient eu une défaillance précoce). Pour qu'un tel traitement de déverminage soit utile il faut que la maîtrise de la production soit réellement insuffisante, que les contraintes appliquées soient spécifiques des défauts redoutés et que les composants ne subissent aucune surcharge pendant le traitement.

Un tel traitement a été jugé efficace pour les circuits intégrés dont la production est récente (pendant les 18 premiers mois de production).

Il appartient à l'utilisateur de choisir les épreuves de déverminage les plus aptes à transformer en défaillances les défauts internes les plus redoutés (selon l'expérience acquise sur les lots précédemment achetés).

DÉFINITIONS

1. - Définition de la température ambiante

- 1-1 On peut proposer deux définitions qui ne font certainement qu'approcher la réalité
- a . La température ambiante est la température qui existerait à l'endroit du composant si celui-ci se dissipait pas.
 - b. En pratique, la température ambiante est la température au voisinage du composant, là où le gradient de température s'annule (c'est à dire au delà de la couche limite, par exemple à une distance de 5 mm à 10 mm du composant).
- 1-2 On peut citer une méthode proposée parfois : on mesure la température de l'air à mi chemin entre le composant et un composant voisin.
- 1-3 Il est très important de bien distinguer la température ambiante d'un composant et la température ambiante d'un équipement (par exemple la température d'une salle).
- 1-4 Dans les définitions ci-dessus de la température ambiante, on ne fait intervenir que la température de l'air. Toutefois il est extrêmement important de tenir compte du rayonnement des composants voisins lorsque ceux-ci dissipent beaucoup d'énergie, surtout lorsque le composant en question est sensible à la température (condensateur à l'aluminium, à électrolyte liquide par exemple).

2. - Définition de la température de jonction (rappel)

Le température de jonction est définie page M 4 pour les circuits intégrés, pages D 2 et D 3 pour les transistors et diodes, pages OP 3 et OP 5 pour les diodes électroluminescentes et les diodes LASER.

CONDENSATEURS

(sans l'influence du processus de report sur une carte, voir page CH2 pour les boîtiers montés en surface)

CONDENSATEURS

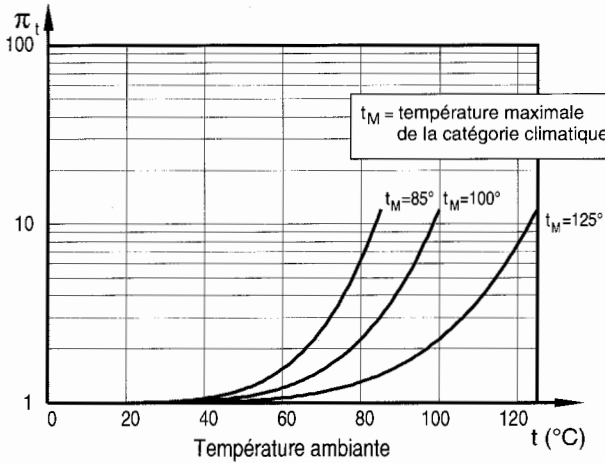
(sans l'influence du processus de report sur une carte, voir page CH2 pour les boîtiers montés en surface)

	<i>Pages</i>
Au papier ou au plastique	C2
Mica	C3
Céramique type I	C4
Céramique type II	C5
Tantale liquide	C6
Tantale solide	C7
Aluminium liquide	C8 et C9
Aluminium solide	C10
Variables	C11

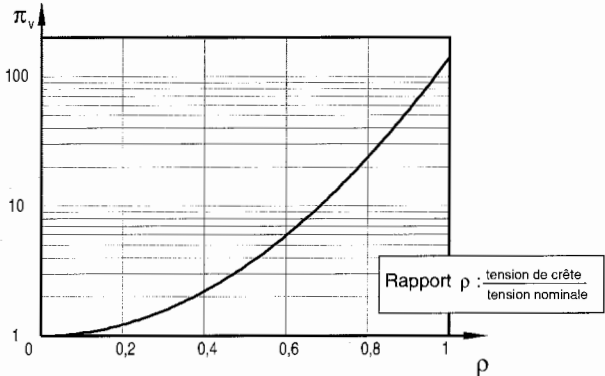
CONDENSATEURS AU PAPIER, AU PLASTIQUE
 (CATÉGORIES CLIMATIQUES : 85°C ; 100°C ; 125°C)
CONDENSATEURS D'ANTIPARASITAGE AU PAPIER, AU PLASTIQUE

$$\lambda = 0,25 \cdot \pi_t \cdot \pi_v \cdot \pi_C \cdot \pi_E \cdot \pi_q \cdot 10^9 / h$$

$$\pi_q = \pi_{q1} \cdot \pi_{q2}$$



Influence de la température selon la catégorie climatique



Facteur de tension π_v en fonction du rapport ρ : $\rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$
 Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

Expressions mathématiques de π_t , π_v et π_C

$$\pi_t = e^{2,5 \left(\frac{t}{t_M} \right)^5} \quad t_M = \text{température maximale de la catégorie climatique}$$

$$\pi_v = e^{\left(\frac{\rho}{0,45} \right)^2} \quad \rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$$

Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

$$\pi_C = 1,4 C^{0,12} \quad (C \text{ en } \mu\text{F})$$

Spécifications

NFC 83 151	NFC 83 153	NFC 83 156	NEC 93 190
CECC 30 401	CECC 30 501	CECC 31 201	CEI 384 14
Modèle CPM	Modèle CKM	Modèle PP	Modèle CX *

* antiparasitage

Renseignements nécessaires

Température ambiante	t	} π_t
Température maximale de la catégorie climatique	t_M	
Tension continue appliquée	} π_v	}
Valeur de crête de la tension alternative appliquée		
Tension nominale		
Capacité (condensateurs pour antiparasitage) C		π_C
Environnement		π_E
Résultats de qualification et suivi		π_q

Qualification et suivi de base

Qualité renforcée (avec $\pi_{q2} = 1$)	π_{q1}
CECC ou équivalent	0,1
Ni CECC, ni équivalent	1
	2

Evaluation technique

Avec évaluation	π_{q2}
Sans évaluation	1
	2

Influence de la capacité

Condensateurs pour antiparasitage	π_C
0,01 μF	0,8
0,1 μF	1,1
0,47 μF	1,3
1 μF	1,4
Autres condensateurs	1

Environnement

Satellite sur orbite	π_E
Sol ; fixe ; protégé	0,5
Sol ; fixe ; non protégé	1
Sol ; mobile ; favorable	2,5
Avion ; favorable	} 5
Bateau ; favorable	
Sol ; mobile ; défavorable	6,5
Bateau ; défavorable	8
Avion ; défavorable	12
Satellite ; lancement	15

Répartition des défauts

Courts-circuits	10%
Circuits ouverts	90%

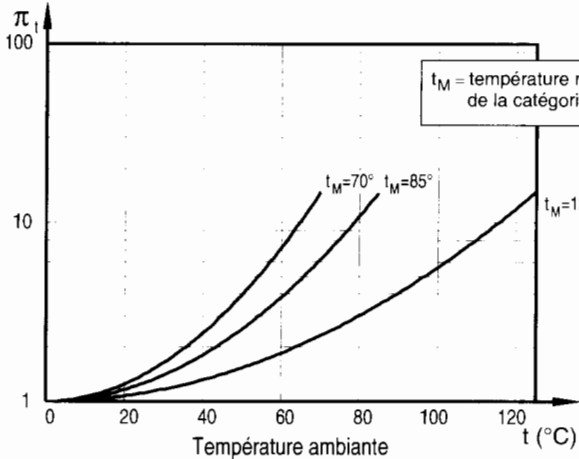
NOTE : Limitation du courant alternatif

- Condensateurs pour tension continue :
 - Respecter les valeurs spécifiées si elles existent
 - A défaut, limiter l'échauffement à 10°C
- Condensateurs pour tension alternative :
 - Respecter la valeur maximale spécifiée du courant alternatif

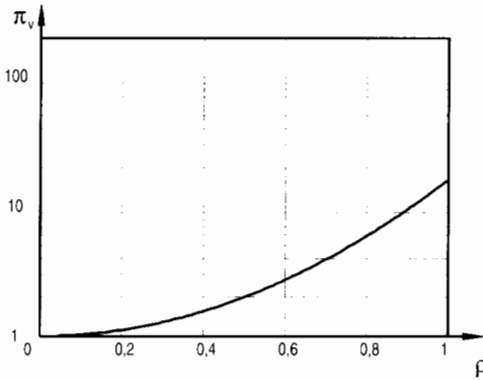
CONDENSATEURS FIXES AU MICA
MOULÉS OU TREMPÉS
 (CATÉGORIES CLIMATIQUES : 70°C ; 85°C ; 125°C)

$$\lambda = 0,5 \cdot \pi_t \cdot \pi_v \cdot \pi_C \cdot \pi_B \cdot \pi_E \cdot \pi_q \cdot 10^{-9} / h$$

$$\pi_q = \pi_{q1} \cdot \pi_{q2}$$



Influence de la température selon la catégorie climatique



Rapport ρ : $\frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$

Facteur de tension π_v en fonction du rapport $\rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$
 Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

Expressions mathématiques de π_t , π_v et π_C

$$\pi_t = e^{2,7 \left(\frac{t}{t_M}\right)^2} \quad t_M = \text{température maximale de la catégorie climatique}$$

$$\pi_v = e^{\left(\frac{\rho}{0,6}\right)^2} \quad \rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$$

Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

$$\pi_C = 0,45 C^{0,14} \quad (C \text{ en } \mu F)$$

Spécifications

NFC 83 120
 CECC 30 301
 Modèle CA

Renseignements nécessaires

Température ambiante	t	} π_t
Température maximale de la catégorie climatique	t_M	
Tension continue appliquée	}	} π_v
Valeur de crête de la tension alternative appliquée		
Tension nominale	C	} π_C
Capacité		
Boîtier		π_B
Environnement		π_E
Résultats de qualification et suivi		π_q

Qualification et suivi de base

Qualité renforcée (avec $\pi_{q2} = 1$)	π_{q1}
CECC ou équivalent	0,1
Ni CECC, ni équivalent	1
	2

Evaluation technique

Avec évaluation	π_{q2}
Sans évaluation	1
	2

Boîtier

Moulé	π_B
Trempe	1
	3

Capacité

4,7 pF	π_C
470 pF	0,6
0,0047 μF	1,1
0,01 μF	1,5
0,015 μF	1,6
	1,7

Environnement

Satellite sur orbite	π_E
Sol ; fixe ; protégé	0,5
Sol ; fixe ; non protégé	1
Sol ; mobile ; favorable	} 2,5
Avion ; favorable	
Bateau ; favorable	} 5
Sol ; mobile ; défavorable	
Bateau ; défavorable	6,5
Avion ; défavorable	8
Satellite ; lancement	12
	15

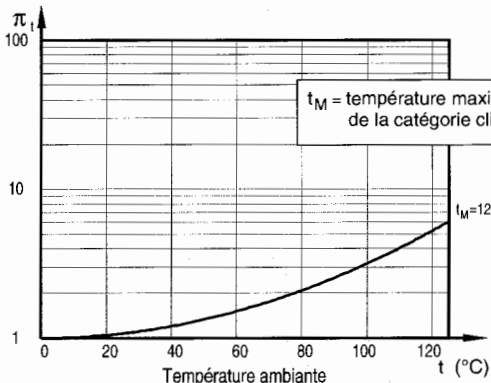
Répartition des défauts

Courts-circuits	40%
Circuits ouverts	40%
Dérives	20%

CONDENSATEURS AU TANTALE ÉLECTROLYTE LIQUIDE

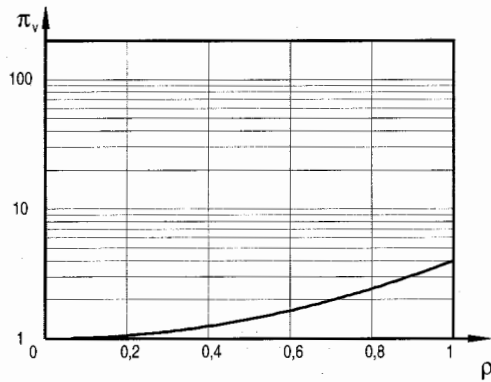
$$\lambda = 3 \cdot \pi_t \cdot \pi_v \cdot \pi_C \cdot \pi_E \cdot \pi_q \cdot 10^9 / h$$

$$\pi_q = \pi_{q1} \cdot \pi_{q2}$$



t_M = température maximale de la catégorie climatique

Influence de la température selon la catégorie climatique



Rapport ρ : $\frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$

Facteur de tension π_v en fonction du rapport ρ : $\frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$
Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

Expressions mathématiques de π_t , π_v et π_C	
$\pi_t = e^{1,8 \left(\frac{t}{t_M}\right)^2}$	t_M = température maximale de la catégorie climatique
$\pi_v = e^{\left(\frac{\rho}{0,85}\right)^2}$	$\rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$
Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative	
$\pi_C = 0,82 C^{0,066} \quad (C \text{ en } \mu\text{F})$	

Spécifications

NFC 83 112
CECC 30 202
Modèle CT

Renseignements nécessaires

Renseignements nécessaires	pour
Température ambiante	t
Température maximale de la catégorie climatique	t_M
Tension continue appliquée	}
Valeur de crête de la tension alternative appliquée	
Tension nominale	}
Capacité	
Environnement	π_E
Résultats de qualification et suivi	π_q

Qualification et suivi de base

Qualification et suivi de base	π_{q1}
Qualité renforcée (avec $\pi_{q2} = 1$)	0,1
CECC ou équivalent	1
Ni CECC, ni équivalent	2

Evaluation technique

Evaluation technique	π_{q2}
Avec évaluation	1
Sans évaluation	2

Influence de la capacité

Influence de la capacité	π_C
3,3 μF	0,9
20 μF	1
1000 μF	1,3
2200 μF	1,4

Environnement

Environnement	π_E
Satellite sur orbite	0,5
Sol ; fixe ; protégé	1
Sol ; fixe ; non protégé	2,5
Sol ; mobile ; favorable	}
Avion ; favorable	
Bateau ; favorable	}
Sol ; mobile ; défavorable	
Bateau ; défavorable	10
Avion ; défavorable	15
Satellite ; lancement	20

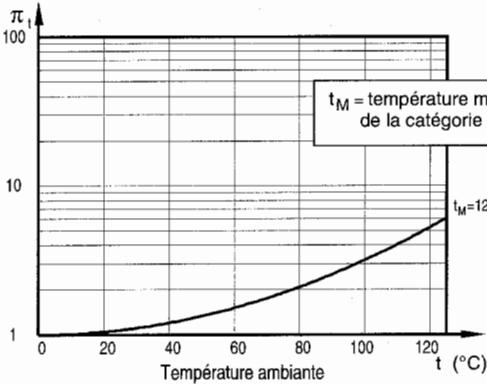
Répartition des défauts

Courts-circuits	80%
Circuits ouverts	20%

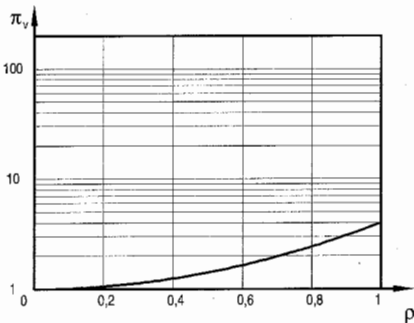
CONDENSATEURS AU TANTALE ÉLECTROLYTE SOLIDE

$$\lambda = 4 \cdot \pi_t \cdot \pi_v \cdot \pi_R \cdot \pi_B \cdot \pi_C \cdot \pi_E \cdot \pi_q \cdot 10^9 / h$$

$$\pi_q = \pi_{q1} \cdot \pi_{q2} \cdot \pi_{q3}$$

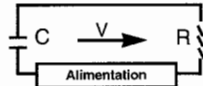


Influence de la température selon la catégorie climatique



Facteur de tension π_v en fonction du rapport $\rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$

Influence de la résistance de charge	π_R
a) Tenue sur impédance nulle garantie par la spécification (ou essai en courant ondulé)	1
b) Autres cas : selon la valeur de R/V (ohms/volt)	
R/V ≥ 3	1
2	1,5
1	3
0,8	4,5
0,6	6
0,4	9
0,2	12
0,1	15



R = résistance équivalente du circuit vue aux bornes du condensateur

Expressions mathématiques de π_t , π_v et π_C

$$\pi_t = e^{1,8 \left(\frac{t}{t_M}\right)^2} \quad t_M = \text{température maximale de la catégorie climatique}$$

$$\pi_v = e^{\left(\frac{\rho}{0,85}\right)^2} \quad \rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$$

Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

$$\pi_C = C^{0,12} \quad (C \text{ en } \mu\text{F})$$

Spécifications

NFC 83 112 CECC 30 201 Modèle CTS	NFC 83 113 CECC 30 801 Modèle CTC
---	---

Renseignements nécessaires

Température ambiante	t	}	π_t
Température maximale de la catégorie climatique	t_M		
Tension continue appliquée	}	π_v	
Valeur de crête de la tension alternative appliquée			
Tension nominale			
Capacité	C	π_C	
Boîtier		π_B	
Environnement		π_E	
Résultats de qualification et suivi		π_q	

Qualification et suivi de base

Qualité renforcée (avec $\pi_{q2} = \pi_{q3} = 1$)	π_{q1}
CECC ou équivalent	0,1
Ni CECC, ni équivalent	1
	2

Evaluation technique

Avec évaluation	π_{q2}
Sans évaluation	1
	2

Suivi complémentaire

Boîtiers pour le report en surface (CMS)	π_{q3}
avec essai de lot (10 pièces; 260°C)	1
sans essai de lot	2
Autres boîtiers	1

Influence du boîtier

Boîtier métallique étanche	π_B
Boîtier moulé ; pavé	1
Boîtier en forme de goutte	3
	5

Influence de la capacité

0,1 μF	π_C
150 μF	0,75
330 μF	1,8
1000 μF	2
	3

Environnement

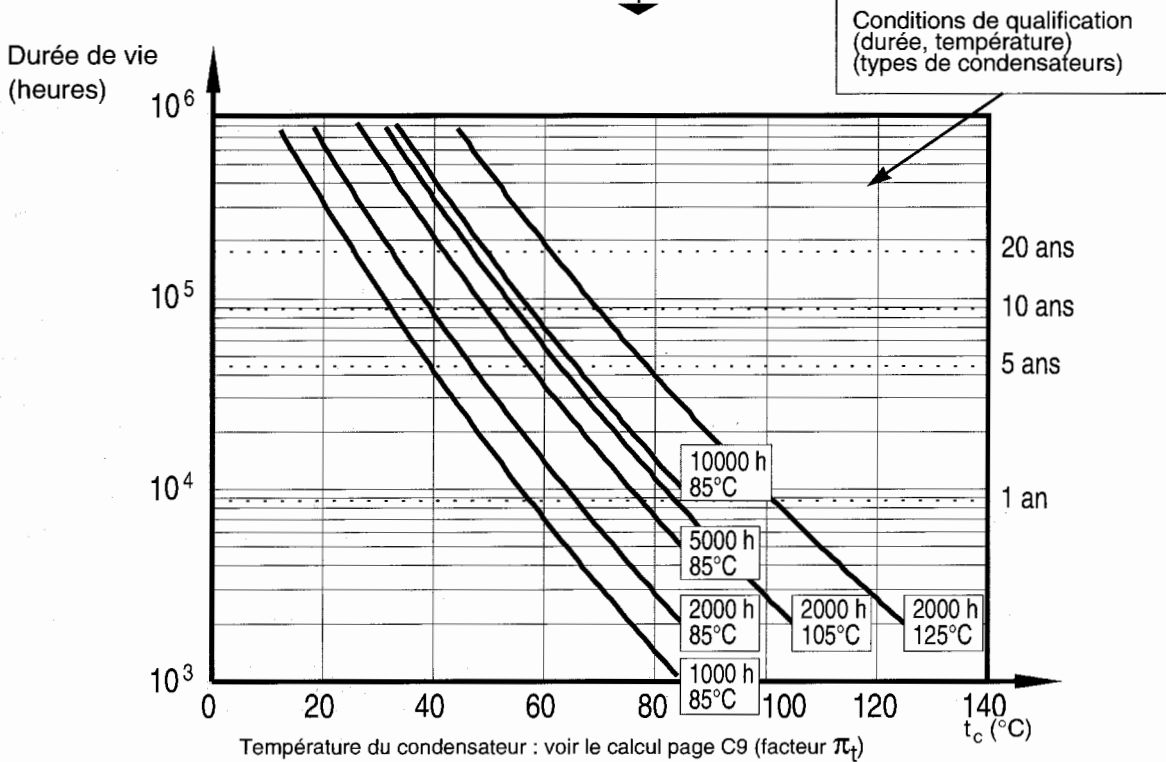
Satellite sur orbite	π_E
Sol ; fixe ; protégé	0,5
Sol ; fixe ; non protégé	1
Sol ; mobile ; favorable	2,5
Avion ; favorable	}
Bateau ; favorable	
Sol ; mobile ; défavorable	4
Bateau ; défavorable	5,5
Avion ; défavorable	7
Satellite ; lancement	10
	12

Répartition des défauts

Courts-circuits	80%
Circuits ouverts	20%

CONDENSATEURS A L'ALUMINIUM
(ÉLECTROLYTE LIQUIDE)
DURÉE DE VIE

Le taux de défaillance des condensateurs électrolytiques à l'aluminium ne peut être considéré comme constant que pendant une durée de fonctionnement inférieure à la durée indiquée.



Durée de vie des condensateurs électrolytiques à l'aluminium (électrolyte liquide) en fonction de la température de fonctionnement et des conditions de qualification.

Attention :

La durée de vie des condensateurs à l'aluminium (liquide) est limitée et très sensible à la température.

**CONDENSATEURS A L'ALUMINIUM
(ÉLECTROLYTE LIQUIDE)
(CATÉGORIES CLIMATIQUES : 85°C ; 105°C ; 125°C)**

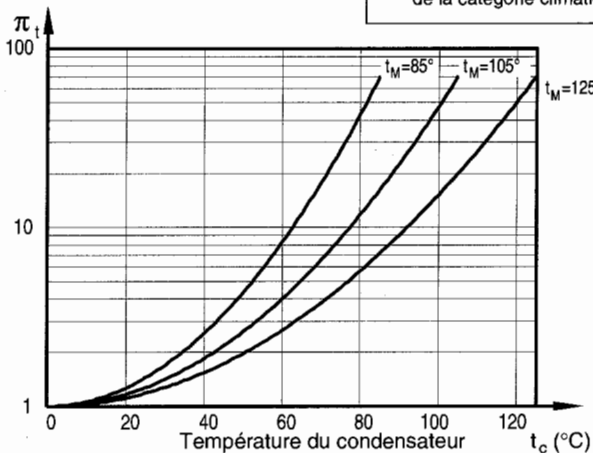
Spécifications

NFC 83 110
CECC 30 301
Modèle CO

$$\lambda = 10 \cdot \pi_t \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_F \cdot \pi_E \cdot \pi_q \cdot 10^9 / h$$

$$\pi_q = \pi_{q1} \cdot \pi_{q2}$$

t_M = température maximale de la catégorie climatique



Influence de la température selon la catégorie climatique

Température du condensateur : t_c

Attention :

La température du condensateur peut être différente de la température ambiante si le condensateur est traversé par du courant (en impulsions notamment) ou s'il est chauffé par un composant voisin dissipant de l'énergie :

- Mesurer la température du boîtier.
- A défaut :
 - Tenir compte de la dissipation des composants voisins
 - Tenir compte de l'élévation de température Δt due au courant le traversant par

$$\Delta t = 20 \left(\frac{\text{valeur efficace réelle du courant}}{\text{valeur efficace maximale du courant sinusoïdal}} \right)^2$$

Influence de la température selon la catégorie climatique

Modèle (Conditions de qualification, 0 défaut)		π_T
Température	Durée	
85°C	1000 h ou 2000 h	1
85°C 105°C 125°C	5000 h ou 10000 h 2000 h 2000 h	0,5

Expression mathématique de π_t

$$\pi_t = e^{4,25 \left(\frac{t}{t_M} \right)^2}$$

t_M = température maximale de la catégorie climatique

Renseignements nécessaires

Renseignements nécessaires	pour
Température ambiante	π_t
Température maximale de la catégorie climatique	
Limite maximale de la valeur efficace du courant sinusoïdal	π_A, π_t
Valeur de crête des impulsions	
Forme d'onde du courant	π_F
Conditions d'essai (durée de vie)	π_T
Environnement	π_E
Résultats de qualification et suivi	π_q

Qualification et suivi de base

Qualification et suivi de base	π_{q1}
Qualité renforcée (avec $\pi_{q2} = 1$)	0,1
CECC ou équivalent	1
Ni CECC, ni équivalent	2

Evaluation technique

Evaluation technique	π_{q2}
Avec évaluation	1
Sans évaluation	2

**Valeur de crête des impulsions
(régime en impulsions)**

Valeur de crête des impulsions (régime en impulsions)	π_A						
Rapport : valeur de crête des impulsions / valeur efficace maximale du courant sinusoïdal	<table border="0"> <tr> <td>$\leq 1,5$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1,5 à 2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>2 à 3</td> <td>10</td> </tr> </table>	$\leq 1,5$	1	1,5 à 2	3	2 à 3	10
$\leq 1,5$	1						
1,5 à 2	3						
2 à 3	10						

Forme d'onde de courant

Forme d'onde de courant	π_F
Sinusoïdale	1
Non sinusoïdale	5

Environnement

Environnement	π_E
Satellite sur orbite	0,5
Sol ; fixe ; protégé	1
Sol ; fixe ; non protégé	2,5
Sol ; mobile ; favorable	6
Avion ; favorable	
Bateau ; favorable	
Sol ; mobile ; défavorable	8
Bateau ; défavorable	10
Avion ; défavorable	15
Satellite ; lancement	20

Répartition des défauts

Selon la tension nominale	Répartition des défauts	
	< 350 v	≥ 350 v
Courts-circuits	30%	50%
Circuits ouverts	30%	0%
Dérives	40%	50%

CONDENSATEURS A L'ALUMINIUM (ÉLECTROLYTE SOLIDE)

$$\lambda = 0,75 \cdot \pi_t \cdot \pi_v \cdot \pi_E \cdot \pi_q \cdot 10^9 / h$$

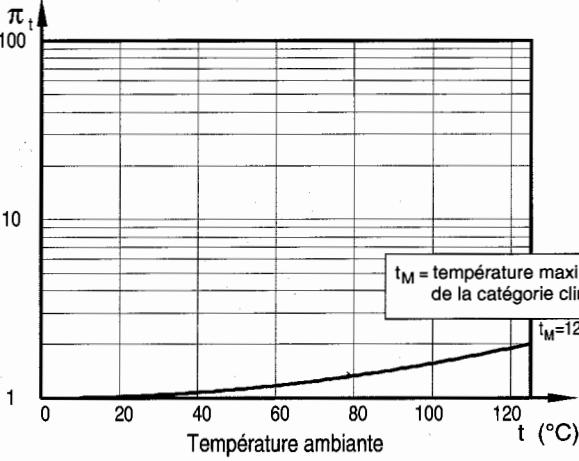
$$\pi_q = \pi_{q1} \cdot \pi_{q2}$$

Spécifications

NFC 83 110
CECC 30 302
Modèle COS

Renseignements nécessaires

	pour	
Température ambiante	t	} π_t
Température maximale de la catégorie climatique	t_M	
Tension continue appliquée		} π_v
Valeur de crête de la tension alternative appliquée		
Tension nominale		
Environnement		π_E
Résultats de qualification et suivi		π_q



t_M = température maximale de la catégorie climatique
 $t_M=125^\circ$

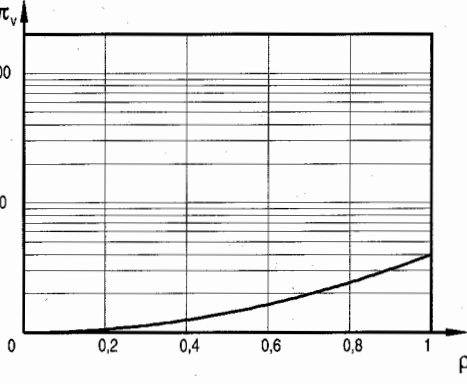
Influence de la température selon la catégorie climatique

Qualification et suivi de base

	π_{q1}
Qualité renforcée (avec $\pi_{q2} = 1$)	0,1
CECC ou équivalent	1
Ni CECC, ni équivalent	2

Evaluation technique

	π_{q2}
Avec évaluation	1
Sans évaluation	2



Rapport ρ : $\frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$

Environnement

	π_E
Satellite sur orbite	0,5
Sol ; fixe ; protégé	1
Sol ; fixe ; non protégé	2,5
Sol ; mobile ; favorable	} 4
Avion ; favorable	
Bateau ; favorable	} 5,5
Sol ; mobile ; défavorable	
Bateau ; défavorable	7
Avion ; défavorable	10
Satellite ; lancement	12

Facteur de tension π_v en fonction du rapport ρ : $\frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$
Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

Expressions mathématiques de π_t et π_v

$$\pi_t = e^{0,7 \left(\frac{t}{t_M} \right)^2}$$

$$\pi_v = e^{\rho^2}$$

t_M = température maximale de la catégorie climatique
 $\rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$

Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

Répartition des défauts

Courts-circuits	10%
Circuits ouverts	90%

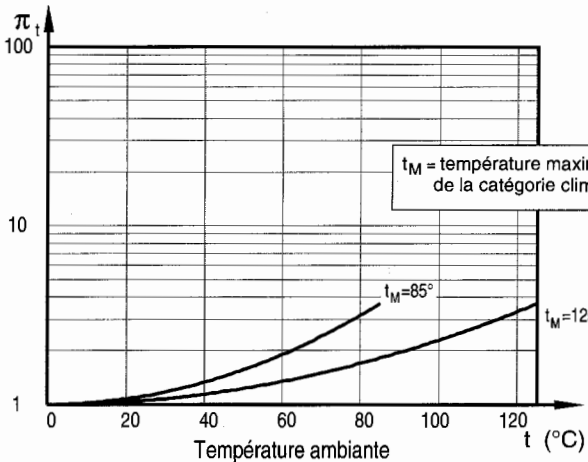
CONDENSATEURS VARIABLES
DISQUES (DIÉLECTRIQUE : CÉRAMIQUE)
(CATÉGORIES CLIMATIQUES : 85°C et 125°C)

Spécifications
CCTU 03 03 Modèle VD

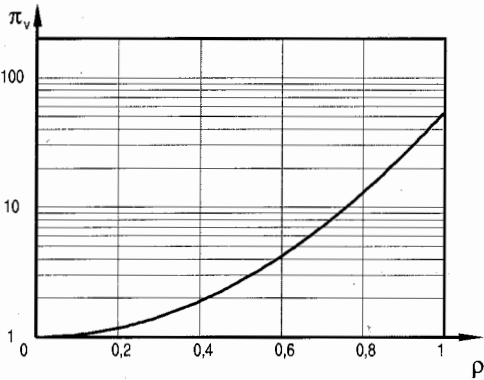
$$\lambda = 4,5 \cdot \pi_t \cdot \pi_v \cdot \pi_E \cdot \pi_q \cdot 10^9 / h$$

$$\pi_q = \pi_{q1} \cdot \pi_{q2}$$

Renseignements nécessaires	pour
Température ambiante	t
Température maximale de la catégorie climatique	
Tension continue appliquée	t _M
Valeur de crête de la tension alternative appliquée	
Tension nominale	
Environnement	π _E
Résultats de qualification et suivi	π _q



Influence de la température selon la catégorie climatique



Facteur de tension π_v en fonction du rapport ρ : $\rho = \frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$
 Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

Qualification et suivi de base	π _{q1}
Qualité renforcée (avec π _{q2} = 1)	0,1
CECC ou équivalent	1
Ni CECC, ni équivalent	2

Evaluation technique	π _{q2}
Avec évaluation	1
Sans évaluation	2

Environnement	π _E
Satellite sur orbite	0,5
Sol ; fixe ; protégé	1
Sol ; fixe ; non protégé	3
Sol ; mobile ; favorable	7
Avion ; favorable	
Bateau ; favorable	
Sol ; mobile ; défavorable	9,5
Bateau ; défavorable	12
Avion ; défavorable	20
Satellite ; lancement	25

Expressions mathématiques de π_t et π_v

$$\pi_t = e^{1,3 \left(\frac{t}{t_M}\right)^2}$$

t_M = température maximale de la catégorie climatique

$$\pi_v = e^{\left(\frac{\rho}{0,5}\right)^2}$$

ρ = $\frac{\text{tension de crête}}{\text{tension nominale}}$

Tension de crête = tension continue + valeur de crête de la tension alternative

Répartition des défauts

Courts-circuits	40%
Circuits ouverts	10%
Dérives	50%