



GUIDE FOR DEFINING AND PERFORMING HIGHLY ACCELERATED TESTS

GUIDE POUR LA DÉFINITION ET LA CONDUITE D'ESSAIS AGGRAVÉS

Copyright © BNAE. All rights reserved.
Any complete or partial reproduction is
unlawful, except as may be expressly
permitted in writing by the publisher. The
same applies to translation, adaptation,
transformation or arrangement by any
technical means. Copies or reproductions
are only authorized and strictly reserved
for the private use and not intended for
collective use.

Copyright © BNAE. Tous droits réservés.
Toute reproduction intégrale ou partielle
est illicite sauf accord explicite écrit
accordé par l'éditeur. Il en est de même
pour la traduction, l'adaptation, la
transformation ou l'arrangement par un
procédé quelconque. Seules sont
autorisées les copies ou reproductions
strictement réservées à l'usage privé et
non destinées à une utilisation collective.

Edition A : 06/2005

BNAE would like to thank all the companies and organizations members of BNAE Committee and Working Group which have contributed to the preparation of this document.

Document BNAE 000 29 2005

Le BNAE remercie les sociétés et organismes membres de la Commission de Branche
et du Groupe de travail qui ont participé à l'élaboration de ce document.

GENERAL INSTRUCTIONS		Guide for defining and performing highly accelerated tests		Recommendation RG.Aéro 000 29 June 2005		A
CONTENTS						
					Page	
0	Foreword				2	
1	Subject of the recommendation				2	
2	Bibliography				2	
3	Scope of application of the recommendation				3	
4	Terminology				3	
5	Acronyms				5	
6	Highly accelerated test goals and principles				5	
6.1	General characteristics				5	
6.2	General principles of highly accelerated tests				6	
6.3	Example of the limitations of highly accelerated tests				8	
7	Industrial technical domains covered by highly accelerated tests				8	
8	Highly accelerated tests in the lifecycle and associated assembly levels				8	
9	Planning and management of highly accelerated tests				10	
9.1	Validation and Verification				10	
9.2	Planning of highly accelerated tests				11	
9.3	Management of highly accelerated tests				11	
10	General methodology for implementing highly accelerated tests				12	
10.1	Structure of the approach				12	
10.2	Analysis of product sensitive points				12	
10.3	Selection of applicable stresses				13	
10.4	Producing a test plan				14	
10.5	Tests performing				16	
10.6	Analysis of test results, corrective action and resumption of testing				17	
11	Building on and using experience				17	
11.1	Creating the database				17	
11.2	Inclusion in the company reference system				18	
11.3	Use of results for environmental stress screening				18	
11.4	Correlation with feedback				18	
11.5	Synthesis and impact on company culture				19	
12	Customer/supplier relations				19	
12.1	Prime contractor/supplier relations				19	
12.2	Supplier/test laboratory relations				20	
13	Profitability of highly accelerated tests				20	
13.1	General				20	
13.2	"Non-reliability" costs				21	
13.3	Expenses generated by the highly accelerated tests				23	
Annex A	Comparative characteristics of highly accelerated tests and reliability tests				24	
Annex B	Example of potential effectiveness table for stresses or loadings according to the nature of the product sensitive point				25	
Annex C	Highly accelerated tests implementation logic				26	
Annex D	Margin-related statistical considerations				28	
Annex E	Costed simulation of profitability of highly accelerated tests (classic case of a captive market)				29	
Approved by B.N.A.E. June 2005		This recommendation cancels and replaces the RG.Aéro 000 29 of August 2003				

© All rights reserved

Guide pour la définition et la conduite d'essais aggravés

Richtlinie für die Definition und das Durchführen bezüglich der verschleißbedingten Tests



Documents

Document Sharing Hub

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES		Guide pour la définition et la conduite d'essais aggravés	Recommandation RG.Aéro 000 29 Juin 2005	A
SOMMAIRE				
				Page
0	Avant-propos			2
1	Objet de la recommandation			2
2	Références bibliographiques			2
3	Domaine d'application de la recommandation			3
4	Terminologie			3
5	Acronymes			5
6	Objectifs et principes des essais aggravés			5
6.1	Caractéristiques générales			5
6.2	Principes généraux des essais aggravés			6
6.3	Exemple de limite des essais aggravés			8
7	Domaines techniques industriels couverts par les essais aggravés			8
8	Les essais aggravés dans le cycle de vie et niveaux d'assemblage associés			8
9	Planification et management des essais aggravés			10
9.1	Validation et Vérification			10
9.2	Planification des essais aggravés			11
9.3	Management des essais aggravés			11
10	Méthodologie générale de mise en œuvre des essais aggravés			12
10.1	Structure de la démarche			12
10.2	Analyses des points sensibles du produit			12
10.3	Sélection des contraintes applicables			13
10.4	Établissement du plan d'essai			14
10.5	Réalisation des essais			16
10.6	Exploitation des résultats d'essais, actions correctives et reprise des essais			17
11	Capitalisation et exploitation de l'expérience			17
11.1	Constitution de la base de données			17
11.2	Prise en compte dans le référentiel d'entreprise			18
11.3	Utilisation des résultats pour le déverminage			18
11.4	Corrélation avec le retour d'exploitation			18
11.5	Synthèse et impact sur la culture d'entreprise			19
12	Relations client/fournisseur			19
12.1	Relation donneur d'ordre/fournisseur			19
12.2	Relation fournisseur/laboratoire d'essais			20
13	Rentabilité des essais aggravés			20
13.1	Généralités			20
13.2	Coûts de "non fiabilité"			21
13.3	Dépenses générées par les essais aggravés			23
Annexe A	Caractéristiques comparatives des essais aggravés et des essais de fiabilité			24
Annexe B	Exemple de matrice d'efficacité potentielle des contraintes ou sollicitations selon la nature du point sensible du produit			25
Annexe C	Logique de mise en œuvre des essais aggravés			26
Annexe D	Éléments statistiques liés aux marges			28
Annexe E	Simulation chiffrée de rentabilité des essais aggravés (cas d'école d'un marché captif)			29
Approuvée par le B.N.A.E. Juin 2005		La présente recommandation annule et remplace la recommandation RG.Aéro 000 29 d'Août 2003		

0 Foreword

In an increasingly harsh economic context (tighter performance requirements, shorter development cycles, reduced cost of ownership, etc.), it is essential to ensure product maturity rapidly, and in any case by the time of commissioning.

It is with a view to remedying shortcomings in traditional development methods that "highly accelerated" tests have been developed. The main underlying principle behind this new type of test strategy is as follows: rather than reasoning in terms of conformity with a specification and simply performing conventional tests, we on the contrary attempt to push the product to its limits by applying environmental stresses and/or stimuli of levels higher than the specification. The aim is thus to take full advantage of current technologies, by eliminating defects which generate potential failures, as of the first prototypes.

A well-conducted accelerated test process should, in a relatively short time, lead to a significant increase in the robustness of a product, as early as the initial prototypes stage at the beginning of the development phase, thus accelerating early maturity of this product. Furthermore, identification of the margins available on a "mature" product helps design and size its future environmental stress screening profile more accurately, by increasing the severity of the loadings applied to just what is needed, leading to a particularly significant boost in the efficiency of this environmental stress screening process.

1 Subject of the recommendation

The purpose of the RG.Aéro 000 29 A, drafted for the "Procedures" Branch commission of the BNAE by the GT100-3 working group comprising representatives of the aeronautical, space and armaments industries (customers and suppliers), as well as representatives of laboratories specialising in testing, is to specify the targets assigned to the highly accelerated tests, their basic principle, their scope of application and their implementation procedures.

This recommendation is thus a methodological document aimed at facilitating drafting of the specification and then performance of highly accelerated tests by the program managers.

It is primarily intended for program managers, designers, test managers and RAMS experts.

2 Bibliography

At present, there are no documentary standards for highly accelerated tests. This recommendation thus relies on a number of documents which are not standards, which are of various origins and which are usually very recent, as well as on other more standard documents, but not specifically dedicated to highly accelerated tests:

RE.Aéro 703 06 A,	<i>Guidelines for reliability growth control</i>
RG.Aéro 000 27	<i>Guide to RAMS management</i>
RG.Aéro 000 33 A	<i>Programme management – FRACAS : Failure Reporting Analysis and Corrective Actions System</i>
Project ISdF 4/99	<i>Recommendations for the industrial use of highly accelerated tests</i>
ASTE	<i>The role of testing in reliability control, 1993</i>
Gregg K. Hobbs	<i>Accelerated Reliability Engineering – HALT and HASS</i> (John Wiley & Sons), 2000
<i>Strife Guide</i>	Study conducted by BULL as part of a Reliability Degree course – Angers University) (I. Maurier & G. Burgaud), 1991
Harry W. McLean	<i>HALT, HASS & HASA Explained: Accelerated Reliability Techniques</i> ASQ Quality Press (Milwaukee, Wisconsin)
NCMS Project No. 160301	<i>Environmental Stress Screening 2000</i> (National Center for Manufacturing Sciences), 1997

0 Avant-propos

Dans un contexte économique de plus en plus sévère (exigences accrues sur les performances, réduction des cycles de développement, réduction des coûts de possession, ...) il devient impératif d'assurer la maturité des produits dans des délais courts et dès leur mise en service.

C'est dans le but de pallier les insuffisances des méthodes de développement traditionnelles que les essais « aggravés » trouvent leur place. Le principe directeur de ce nouveau type de stratégie d'essais est le suivant : plutôt que raisonner en terme de conformité par rapport à une spécification et se limiter à des essais classiques, on va au contraire chercher à pousser le produit dans ses retranchements par l'application de contraintes d'environnement et/ou de stimuli à des niveaux supérieurs à la spécification. L'objectif est ainsi de tirer le meilleur parti des technologies du moment en tendant vers l'état de l'art par l'élimination, dès la réalisation des premiers prototypes, des défauts générateurs de défaillances potentielles.

La pratique bien conduite d'essais aggravés doit permettre, en un minimum de temps, d'augmenter de manière très sensible la robustesse d'un produit dès la réalisation des premiers prototypes en début de phase de développement, et donc d'accélérer la maturation précoce de ce produit. De plus, la connaissance des marges disponibles sur un produit rendu ainsi « mature » contribue à dimensionner son futur profil de déverminage de manière plus adaptée en augmentant au juste nécessaire la sévérité des sollicitations appliquées, ce qui conduit à améliorer très sensiblement l'efficacité de ce déverminage.

1 Objet de la recommandation

La RG.Aéro 000 29 A, élaborée dans le cadre de la Commission de Branche « Procédures » du BNAE par le groupe de travail GT100-3 composé de représentants de l'industrie aéronautique, spatiale et de l'armement (clients et fournisseurs) ainsi que de représentants des laboratoires spécialisés dans les essais, a pour objet de préciser les objectifs assignés aux essais aggravés, leur principe de base, leur domaine d'application et leurs modalités de mise en œuvre.

La présente recommandation constitue à ce titre un document méthodologique visant à faciliter l'élaboration de la spécification puis la mise en œuvre d'essais aggravés par les responsables de programmes.

Elle est destinée de manière privilégiée aux responsables de programmes, aux concepteurs, aux responsables des essais et aux experts de la sûreté de fonctionnement.

2 Références bibliographiques

Il n'existe pas actuellement de documents normatifs en matière d'essais aggravés. Cette recommandation s'appuie donc sur un certain nombre de documents non normatifs, d'origine diverse et le plus souvent très récents, et aussi sur d'autres documents à caractère plus normatif mais non dédiés spécifiquement aux essais aggravés :

RE.Aéro 703 06 A,	<i>Guide pour le pilotage de la croissance de fiabilité</i>
RG.Aéro 000 27,	<i>Guide pour la maîtrise de la sûreté de fonctionnement</i>
RG.Aéro 000 33 A,	<i>Logique de traitement des incidents</i>
Projet ISdF 4/99,	<i>Recommandations dans l'usage industriel des essais hautement accélérés</i>
ASTE,	<i>Le rôle des essais dans la maîtrise de la fiabilité</i> , 1993
Gregg K. Hobbs,	<i>Accelerated Reliability Engineering – HALT and HASS</i> (John Wiley & Sons), 2000
<i>Guide du Strife</i> ,	Étude réalisée chez BULL dans le cadre d'un stage de DESS de Fiabilité – Université d'Angers (I. Maurier & G. Burgaud), 1991
Harry W. McLean,	<i>HALT, HASS & HASA Explained: Accelerated Reliability Techniques</i> ASQ Quality Press (Milwaukee, Wisconsin)
Projet NCMS n° 160301,	<i>Environmental Stress Screening 2000</i> (National Center for Manufacturing Sciences), 1997

3 Scope of application of the recommendation

This recommendation concerns all programs, in particular aeronautical, space and armaments programs. It primarily concerns the industrial firms in charge of designing, developing and producing components built for these programs, but also their customers who, in drafting contractual clauses, may require that their suppliers implement highly accelerated tests.

The recommendation applies to all types of equipment used in systems developed in these programs, whatever their nature (electronic, electromechanical, mechanical, electro-hydraulic, electro-pneumatic, etc.) and whatever their size, from "low-level" subassemblies (PCBs, mechanical assemblies, connectors, etc.), up to components or component groups.

4 Terminology

Most of the terminology used in this recommendation conforms to that used in the two recommendations RE.Aéro 703 06 and RG.Aéro 000 27. For the other terms, it relies on those used in other documents, such as draft ISdF 4/99, although incorporating a number of amendments contributed by working group GT100-3.

4.1

step stressing

gradual step-wise increase in the level of stress applied to a product

4.2

hard failure

failure which does not disappear on returning to a lower stress level and which can only be eliminated by repair

4.3

soft failure

failure appearing after a certain given stress level, which disappears when the stress falls back below this level

4.4

chargeable defect

fault or weakness inherent in the design of a product or its manufacturing processes and the elimination of which, presumed to be economically feasible, leads to an improvement in its operating and/or destruction margins. This type of defect, which is always the result of a deviation from standard best practices, is not by definition related to the resistance limit imposed by the technologies used.

4.5

latent defect

a defect which originally exists in the equipment but has not yet been precipitated and is thus as yet undetectable by conventional performance checks on this equipment

4.6

patent defect

defect in a component which, after being precipitated, has become detectable by conventional performance checks. A patent defect thus stems from a latent defect which has evolved following application of appropriate stresses (e.g. temperature, vibrations, etc.) and which thus becomes detectable by a performance check.

4.7

environmental stress screening (ESS)

set of production process tasks consisting in applying to the equipment concerned, within the limits permitted by its design, particular environmental stresses in order – during manufacturing – to reveal and eliminate the largest possible number of defects which, in all probability, would have appeared once utilisation had begun (teething troubles)

3 Domaine d'application de la recommandation

Cette recommandation intéresse tous les programmes et notamment les programmes aéronautiques, spatiaux et d'armement. Elle concerne d'abord les industriels ayant en charge la conception, le développement ou la production des matériels réalisés au titre de ces programmes, mais aussi les donneurs d'ordre qui, dans l'établissement des clauses contractuelles, peuvent être amenés à exiger de leurs fournisseurs la mise en œuvre d'essais aggravés.

La recommandation s'applique à tout type de matériels utilisés dans les systèmes développés dans ces programmes, quelle que soit leur nature (électronique, électromécanique, mécanique, électro-hydraulique, électro-pneumatique, ...) et quelle que soit leur taille, depuis les sous-ensembles de « bas niveau » (cartes électroniques, assemblages mécaniques, connectique, ...) jusqu'aux équipements ou groupes d'équipements.

4 Terminologie

La terminologie de plusieurs termes utilisés dans cette recommandation est en général conforme à celle qui est utilisée dans les deux recommandations RE.Aéro 703 06 et RG.Aéro 000 27. Pour d'autres termes, elle s'appuie sur la terminologie utilisée dans d'autres documents, tel le projet ISdF 4/99, moyennant certains amendements provenant du groupe de travail GT100-3.

4.1

contrainte échelonnée

augmentation progressive, par paliers, du niveau de contrainte appliqué à un produit

4.2

défaillance irréversible

défaillance qui ne disparaît pas en revenant à un niveau de contrainte inférieur et dont la suppression ne peut résulter que d'une réparation

4.3

défaillance réversible

défaillance apparaissant au-delà d'un certain niveau d'une contrainte donnée et qui disparaît lorsque la contrainte revient en dessous de ce niveau

4.4

défaut assignable

défaut ou faiblesse inhérent(e) à la conception d'un produit ou à ses procédés de fabrication, et dont la suppression, supposée économiquement faisable, se traduit par une amélioration de ses marges de fonctionnement et/ou de destruction. Ce type de défaut, qui résulte toujours d'une déviation par rapport aux règles de l'art, n'est pas lié, par définition, à la limite de résistance imposée par les technologies utilisées.

4.5

défaut latent

défaut existant au départ dans un matériel mais non encore précipité et de ce fait encore non détectable par les contrôles classiques de performance de ce matériel

4.6

défaut patent

défaut dans un matériel devenu détectable, après avoir été précipité, par les contrôles classiques de performance. Un défaut patent provient donc d'un défaut latent qui a évolué consécutivement à l'application de contraintes adaptées (ex : température, vibrations, ...) et qui, de ce fait, devient détectable par un contrôle de performance.

4.7

déverminage

ensemble de tâches du processus de production consistant à appliquer au matériel concerné, dans les limites permises par la conception, des contraintes d'environnement particulières dans le but de faire apparaître et d'éliminer en cours de fabrication, le plus grand nombre de défauts qui, selon toute probabilité, se seraient manifestés en début d'utilisation (défauts précoces)

4.8

accelerated test

a test, the aim of which is to predict the behaviour and/or lifetime of a product in its operational conditions of use, by subjecting it to stresses harsher than the values expected during its lifespan profile. Contrary to highly accelerated testing, a "conventional" accelerated test (time/stress exchange) always relies on one or more analytical lifetime and damage models.

4.9

highly accelerated test

test during which the product or some of its component parts are subjected to environmental and/or operating stresses that are increased progressively to values far in excess of the specified values, up to the operating and/or destruction limits of the product

NOTE The rise in exposure time or number of cycles, whether or not associated with a combination of certain stresses raised to values close to or equal to the specification (or stresses whose nature is not specified) may meet the same targets as those of the highly accelerated tests, as defined in this document.

4.10

reliability

ability of a product to perform a required function, in given conditions, for a given time interval. This characteristic is generally expressed by a probability.

4.11

destruction limit

level of stress above which the product will suffer irreversible damage and will no longer be in conformity with nominal performance once the stress level is returned to below the specified value (notion of irreversibility)

4.12

operating limit

stress level above which the product no longer functions nominally. When the stress is returned to below this level, product performance returns to nominal (notion of reversibility).

4.13

fundamental limit

resistance limit determined by the technology of a product or particular component, with respect to a given stress (temperature, vibration, electrical voltage, etc.). This limit, whether or not destructive, is an absolute barrier and cannot therefore be attributed to a chargeable defect.

Example: melting temperature of a plastic, maximum junction temperature of a semiconductor, yield strength of a material, etc.

4.14

operating margin

for a given stress, difference between the operating limit and the specification

4.15

destruct limit

for a given stress, difference between the destruct limit and the specification

4.16

maturity

attainment of a product status for which its functional and operational performance can be considered stabilised with respect to the specifications

NOTE Maturity is the result of a gradual process of eliminating chargeable defects still present in the product and the associated processes. This process is called maturing.

4.17

precipitation

transformation, using appropriate stresses, of a latent defect (not yet detectable) into a patent defect (detectable)

4.18

robustness

property of a product indicating reduced sensitivity of its performance to changes in the environmental stresses to which it is subjected, to dispersions of its components and to drifts of its manufacturing processes. Robustness to a large extent is the result of action taken to obtain sufficient operating margins while at the same time reducing all forms of variability.

4.8

essai accéléré

essai dont l'objectif est de prédire le comportement et/ou la durée de vie d'un produit dans ses conditions d'utilisation opérationnelle, en le soumettant à des contraintes plus sévères que les valeurs attendues au cours de son profil de vie. Contrairement à l'essai aggravé, un essai accéléré « classique » (échange temps/contrainte) s'appuie toujours sur un ou plusieurs modèles analytiques de durée de vie et d'endommagement.

4.9

essai aggravé (synonyme : essai hautement accéléré)

essai dans lequel le produit ou certains de ses éléments constitutifs sont soumis à des contraintes d'environnement et/ou de fonctionnement augmentées de façon progressive à des valeurs bien supérieures aux valeurs spécifiées, et ce jusqu'aux limites de fonctionnement et/ou de destruction du produit

NOTE L'accroissement du temps d'exposition, du nombre de cycles, associés ou non à la combinaison de certaines contraintes portées à des valeurs voisines ou égales à la spécification (ou de contraintes dont la nature n'est pas spécifiée) peut répondre aux mêmes objectifs que ceux des essais aggravés tels que définis dans le présent document.

4.10

fiabilité

aptitude d'un produit à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. Cette caractéristique est généralement exprimée par une probabilité.

4.11

limite de destruction

niveau de contrainte au-dessus duquel le produit souffrira de dommages irréversibles au point de ne plus retrouver la conformité aux performances nominales une fois la contrainte ramenée sous la valeur spécifiée (caractère d'irréversibilité)

4.12

limite de fonctionnement nominal

niveau de contrainte au-dessus duquel le produit ne fonctionne plus nominalement. Quand on redescend en dessous de ce niveau, les performances du produit redeviennent nominales (caractère de réversibilité).

4.13

limite technologique

limite de résistance imposée par la technologie d'un produit ou d'un composant particulier, vis-à-vis d'une contrainte donnée (température, vibration, tension électrique, etc.). Cette limite, destructive ou non, constitue une barrière infranchissable et n'est donc pas imputable à un défaut assignable.

Exemple : température de fusion d'un matériau plastique, température maximum de jonction d'un semi-conducteur, limite d'élasticité d'un matériau, etc.

4.14

marge de fonctionnement

pour une contrainte donnée, écart entre la limite de fonctionnement nominal et la spécification

4.15

marge de destruction

pour une contrainte donnée, écart entre la limite de destruction et la spécification

4.16

maturité

atteinte de l'état d'un produit pour lequel ses performances fonctionnelles et opérationnelles peuvent être considérées comme stabilisées au regard des spécifications

NOTE La maturité résulte d'un processus d'élimination progressive des défauts assignables encore présents dans le produit et dans les procédés associés. Ce processus est appelé maturation.

4.17

précipitation

transformation, à l'aide de contraintes adaptées, d'un défaut latent (non encore détectable) en un défaut patent (détectable)

4.18

robustesse

propriété d'un produit se traduisant par une sensibilité réduite de ses performances aux dérives possibles des contraintes d'environnement auxquelles il est soumis, aux dispersions de composants le constituant et aux dérives de ses processus de fabrication. La robustesse résulte en large partie des actions visant à obtenir à la fois des marges de fonctionnement suffisantes et à réduire toutes les formes de variabilité.

4.19

reliability, availability, maintainability, safety / RAMS

range of capabilities of a product enabling it to achieve specified functional performance, at the required time, for the required duration, without damage to itself or its environment

5 Acronyms

- **CDR:** Critical Design Review.
- **EMC:** Electromagnetic Compatibility.
- **ESS:** Environmental Stress Screening.
- **FMECA:** Failure Mode Effects and Criticality Analysis.
- **FRACAS:** Failure Reporting and Corrective Action System.
- **MTBF:** Mean Time Between Failures.
- **PCB:** Printed Circuit Board.
- **PDR:** Preliminary Design Review.
- **PRA:** Preliminary Risk Analysis.
- **RS:** Requirements Specification.
- **RTV:** Rapid Temperature Variation.
- **TTM:** Time To Market.

6 Highly accelerated test goals and principles

6.1 General characteristics

A highly accelerated test is a test in which the product or some of its component parts are subjected to environmental and/or operating stresses which are gradually raised to values in excess of the specified values, until the product operating and/or destruction limits are reached.

The primary purpose of highly accelerated tests is to contribute to:

- improving the robustness of the product, by eliminating the weaknesses inherent in the product design and/or processes, and in the technologies used,
- obtaining products that are mature as of the first production article,
- improving the reliability and lifespan of the product in service,
- reducing development times and costs,
- specifying optimal environmental stress screening.

Attaining these goals involves:

- detecting chargeable defects as early as possible (so that they can be corrected), as these defects are inherent in design errors or insufficient control of the manufacturing processes,
- exploration of the operating limits, once chargeable defects have been eliminated so that, whenever applicable, they can be pushed back through new design choices, when the margins in relation to the specified operating range appear inadequate.

Instead of reasoning in terms of conformity with the specification, which is a poor way of reflecting the product's real lifespan profile, we will on the contrary look to push the product to breaking point (often up to failure), using environmental stresses or various stimuli at levels far in excess of the specifications, in order to reveal, identify, then correct the chargeable defects still present. This implies on the one hand exploration of the available margins, and on the other, improving these margins through appropriate action on the design of the product itself or its manufacturing processes (see Annex D).

4.19

sûreté de fonctionnement

ensemble des aptitudes (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité / FMDS) d'un produit lui permettant de disposer des performances fonctionnelles spécifiées, au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et pour son environnement

5 Acronymes

- **AMDEC (FMECA)** : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
- **APR** : Analyse Préliminaire des Risques
- **CDR** : Critical Design Review (revue critique de conception)
- **CEM** : Compatibilité Electro-Magnétique
- **LTI** : Logique de Traitement des Incidents
- **MTBF** : Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement
- **PDR** : Preliminary Design Review (revue de conception préliminaire)
- **STB** : Spécification technique de besoin
- **TTM** : Time To Market (date de mise sur le marché)
- **VRT** : Variation Rapide de Température

6 Objectifs et principes des essais aggravés

6.1 Caractéristiques générales

Un essai aggravé est un essai dans lequel le produit ou certains de ses éléments constitutifs sont soumis à des contraintes d'environnement et/ou de fonctionnement qui sont augmentées de façon progressive à des valeurs supérieures aux valeurs spécifiées, et ce jusqu'aux limites de fonctionnement et/ou de destruction du produit.

La vocation des essais aggravés est essentiellement de contribuer à :

- améliorer la robustesse du produit en éliminant les faiblesses inhérentes à la conception du produit et/ou des procédés ainsi qu'aux technologies utilisées,
- obtenir des produits matures dès le premier article de série,
- améliorer la fiabilité et la durée de vie du produit en exploitation,
- réduire les délais et les coûts de développement,
- définir un déverminage optimal.

L'obtention de ces objectifs passe par :

- la détection au plus tôt (pour pouvoir les corriger) des défauts assignables, ces défauts étant inhérents à des erreurs de conception ou à une maîtrise insuffisante des procédés de fabrication,
- l'exploration des limites de fonctionnement une fois supprimés les défauts assignables afin, le cas échéant, de les repousser par de nouveaux choix de conception lorsque les marges par rapport au domaine d'utilisation spécifié apparaissent insuffisantes.

Au lieu de raisonner en terme de conformité par rapport à la spécification qui reflète difficilement le profil de vie réel du produit, on va au contraire chercher à pousser le produit dans ses retranchements (souvent jusqu'à défaillance), à l'aide de contraintes d'environnement ou de stimuli divers et variés à des niveaux allant bien au-delà de la spécification, de manière à révéler, identifier puis corriger les défauts assignables encore présents. Cela implique, d'une part l'exploration des marges disponibles et, d'autre part, l'amélioration de ces marges par des actions appropriées sur la conception du produit lui-même ou de ses procédés de fabrication (cf. Annexe D).

Owing to the adopted definition for the highly accelerated test, the following characteristics of this type of highly accelerated test can be identified:

- **A highly accelerated test is a proactive type of test:** we here understand that a highly accelerated test must be considered as a tool to support the design of the product and its processes and that it normally leads to engineering activities aimed at understanding the failure mechanisms observed, in order to provide the corrections felt to be economically feasible and which will enable them to be eliminated or at least delay their evolution. The highly accelerated test is "proactive" in that it encourages these engineering actions at the earliest in development.
- **A highly accelerated test is not a conformity test:** through the desire to explore the margins and expand them if necessary, the highly accelerated test looks above all to reveal the product defects which generate failures when working beyond the specifications. It is therefore the opposite of a conformity test, which simply aims to ensure that the product's performance is correct when it is subjected to the specific operating and environmental conditions.
- **A highly accelerated test must not be confused with an ordinary margins verification test:** a margins verification test in fact simply aims to ensure that product performance remains correct when the stress values are raised to predetermined values above the specified values, whatever the initially adopted margin. Consequently, the margins verification test consists in practice in applying an extra coefficient to certain specified stresses (referred to as the "regulation coefficient" in certain mechanical professions). It is similar to a conformity test, even if it deals with performance conformity in operating conditions which are outside the specified range. The highly accelerated test, for its part, establishes operating and/or destruction margins for the product.
- **A highly accelerated test must not be confused with a "conventional" accelerated lifespan test:** the purpose of an accelerated lifespan test is in fact to predict the evolution of the behaviour of a product in its operational conditions of use, by subjecting it to stresses that are harsher than the values expected during its lifespan profile. To do this, the accelerated test relies on analytical product failure mode acceleration models, which is not the case with the highly accelerated test.
- **A highly accelerated test has no predictive goal:** as the highly accelerated test works outside the specified domains, the analytical acceleration models can no longer apply to the domains explored. Furthermore, it is very hard to involve the "time" factor given the very short duration of the test. The result is that as things currently stand, the highly accelerated test cannot be used to estimate product reliability or lifetime characteristics in the specified conditions of use.

Annex A specifies the characteristics of a highly accelerated test versus a growth, validation and reliability qualification test.

6.2 General principles of highly accelerated tests

As a design tool, the highly accelerated test aims – through application of stresses going beyond the specification or simply not specified – to stimulate all the weak points in the product design during development and in its manufacturing processes. Revealing these weak points is thus an opportunity to improve the product or processes, more quickly than with a traditional approach, leading to an expansion of the operating margins and thus greater reliability.

It is important to understand that in a highly accelerated test, the stresses applied are chosen so as to actively stimulate the defects and weak points of the product and its processes, and are not therefore designed to simulate the conditions of use of the product during its lifespan profile. These stresses are applied either alone or combined, well past the values expected during the lifespan of the product, until they reach the fundamental resistance limit set by the technology. This implies gradually eliminating the various barriers preventing this limit from being reached and which are due to the existence of any weak points still present (chargeable defects). An essential goal of the highly accelerated test is precisely to reveal the existence of these chargeable defects, even when they lead to a malfunction of the product used beyond its qualification conditions.

Among the reasons which justify the desire to correct chargeable defects which only trigger malfunctions in out-of-specification product operating conditions, we could mention:

- the experience built up by companies that use highly accelerated tests shows that most malfunctions detected during these tests end up being detected in the field, if the chargeable defects revealed by these tests are not eliminated,

De par la définition retenue de l'essai aggravé, les caractéristiques suivantes de ce type d'essai aggravé peuvent être mises en évidence :

- **Un essai aggravé est un essai de type proactif** : il faut entendre ici qu'un essai aggravé doit être considéré comme un outil d'aide à la conception du produit et de ses procédés et qu'il débouche normalement sur des activités d'ingénierie visant à comprendre les mécanismes de défaillances observés afin d'apporter les corrections jugées économiquement faisables qui permettront de les supprimer ou d'en retarder l'évolution. L'essai aggravé est «proactif» en ce sens qu'il favorise ces actions d'ingénierie très tôt dans le développement.
- **Un essai aggravé n'est pas un essai de conformité** : en effet, de par la volonté de vouloir explorer les marges et de les étendre si besoin, l'essai aggravé cherche avant tout à voir se révéler des défauts du produit qui génèrent des défaillances lorsque l'on travaille au-delà de la spécification. C'est donc tout le contraire d'un essai de conformité, lequel vise uniquement à s'assurer que les performances du produit sont satisfaites lorsque l'on soumet celui-ci aux conditions spécifiées d'utilisation et d'environnement.
- **Un essai aggravé ne se confond pas avec un essai de simple vérification de marges** : en effet, un essai de vérification de marges ne vise qu'à s'assurer que les performances d'un produit restent satisfaites lorsque les valeurs des contraintes sont portées à des valeurs prédéterminées au-delà des valeurs spécifiées, et cela quelle que soit la marge retenue au départ. En conséquence, l'essai de vérification de marges consiste en pratique à appliquer à certaines contraintes spécifiées un coefficient majorant (parfois appelé, dans certains métiers de la mécanique, « coefficient réglementaire »). Il reste dans la lignée des essais de conformité, même s'il s'agit d'une conformité des performances dans des conditions d'utilisation sortant du domaine spécifié. L'essai aggravé, quant à lui, permet d'établir les marges de fonctionnement et/ou de destruction du produit.
- **Un essai aggravé ne se confond pas avec un essai accéléré « classique » de durée de vie** : en effet, un essai accéléré de durée de vie a pour objectif de prédire l'évolution du comportement d'un produit dans ses conditions d'utilisation opérationnelle, en le soumettant à des contraintes plus sévères que les valeurs attendues au cours de son profil de vie. Pour ce faire, l'essai accéléré s'appuie sur des modèles analytiques d'accélération des modes de défaillance du produit, ce qui n'est pas le cas de l'essai aggravé.
- **Un essai aggravé n'a pas d'objectif prédictif** : en effet, l'essai aggravé travaillant hors des domaines spécifiés, les modèles analytiques d'accélération peuvent ne plus s'appliquer dans les domaines explorés. De plus, il est très difficile de faire jouer le facteur « temps » compte tenu de la brièveté de l'essai. Il en résulte que l'essai aggravé ne permet pas, dans l'état de l'art actuel, d'estimer les caractéristiques de fiabilité ou de durée de vie du produit dans les conditions d'utilisation spécifiées.

L'Annexe A précise les caractéristiques d'un essai aggravé vis-à-vis d'un essai de croissance, de validation et de qualification de fiabilité.

6.2 Principes généraux des essais aggravés

En tant qu'outil de conception, l'essai aggravé vise à stimuler, par l'application de contraintes allant au-delà de la spécification ou non spécifiées, tous les points faibles de la conception d'un produit en cours de développement et de ses procédés de fabrication. La mise en évidence de ces points faibles constitue ainsi une opportunité pour apporter, dans des délais plus rapides que dans l'approche traditionnelle, des améliorations sur le produit ou sur les procédés se traduisant par un élargissement des marges de fonctionnement et donc par un accroissement de fiabilité.

Il importe de comprendre que, dans un essai aggravé, les contraintes appliquées sont choisies de manière à stimuler activement les défauts et les points faibles du produit et de ses procédés, et ne sont donc pas destinées à simuler les conditions d'utilisation du produit au cours de son profil de vie. Ces contraintes sont appliquées de manière unitaire ou de manière combinée, bien au-delà des valeurs attendues au cours du profil de vie, jusqu'à atteindre la limite de résistance imposée par la technologie. Cela suppose l'élimination progressive des différentes barrières qui empêchent d'atteindre cette limite et qui sont dues à l'existence de points faibles encore présents (défauts assignables). Un objectif essentiel de l'essai aggravé est précisément de révéler l'existence de ces défauts assignables, même lorsque ceux-ci se traduisent par un dysfonctionnement du produit utilisé au-delà de ses conditions de qualification.

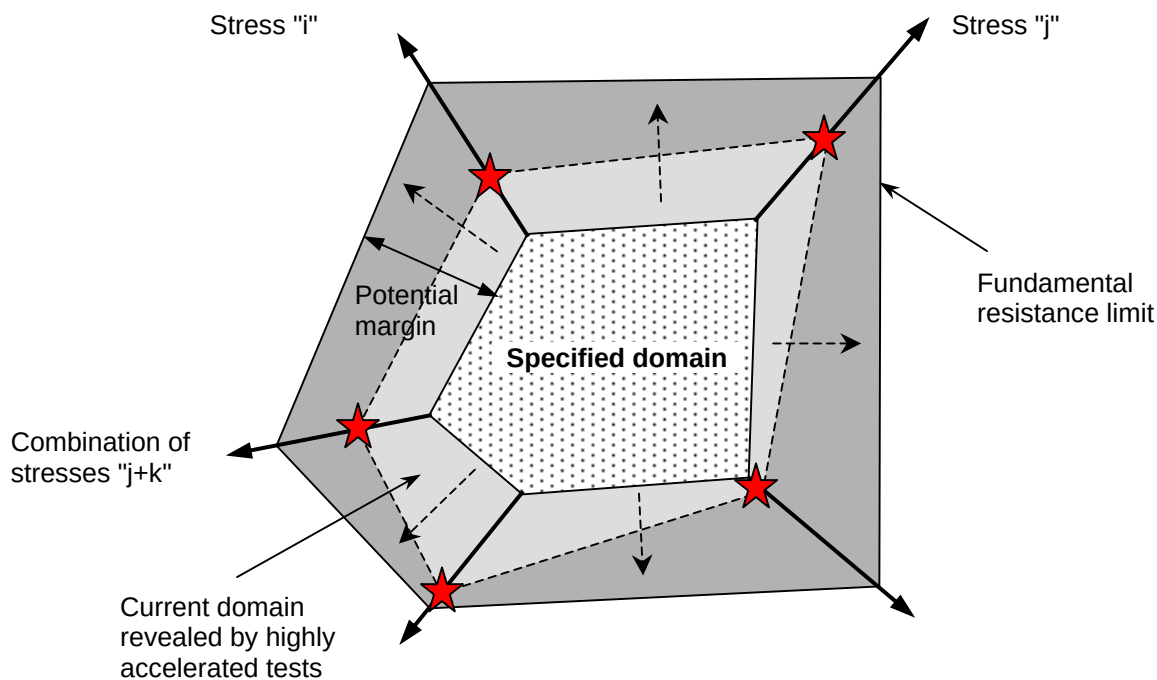
Parmi les raisons qui justifient la volonté de vouloir corriger les défauts assignables qui ne provoquent des dysfonctionnements que dans des conditions de fonctionnement du produit hors spécification, on peut citer :

- l'expérience capitalisée par les entreprises pratiquant les essais aggravés montre que la plupart des dysfonctionnements constatés au cours de ces essais finissent par se révéler sur le terrain, dès lors que les défauts assignables révélés par ces essais n'ont pas été supprimés.

- there is often a considerable gap between the specification conditions and the actual conditions of use of a product, in particular if there is a wide variety of a product usage. Consequently, certain lifespan profile situations, sometimes very short, require the product to operate in severity conditions far beyond the specified coverage.
- experience shows that chargeable defects can often be easily located and can be eliminated or attenuated both easily and economically (e.g.: insufficient component size, inadequately tightened screw, components mounted on vibrating parts of a PCB, PCB inadequately secured in a unit subject to vibration, weakness of a mechanical link, etc.).

Owing to its damaging nature, the principle of the highly accelerated test is thus a cultural sea-change in relation to the traditional approach, the main aim of which is to ensure the conformity of product performance in the specified conditions. As shown in Figure 1, the aim is now no longer simply to show that the product is in conformity, but to prove that exploration has been conducted beyond the specified frontier, in order to clean the product of obstacles limiting its potential robustness, that corresponding to the resistance limit set by the technology.

NOTE It is important to note that performing a highly accelerated test should not lead to over-sizing. The ultimate purpose of the highly accelerated test is to track down and eliminate chargeable defects, those which by their very principle are the result of non-compliance with or ignorance of the state of the art rules of good practice (in design and manufacture). These actions are therefore dedicated to eliminating chargeable defects, contributing to improving the operating margins and obtaining potential margins. Generally speaking, one does not attempt to push back the fundamental limits of the components and/or materials, which would call into question the design choices (product and/or processes), entailing significant additional investment and time.



 Specified domain: described in the product specification.

 Domain revealed by the highly accelerated tests: this corresponds to the real limits of the product, as revealed by the highly accelerated tests. The stars bordering this domain correspond to chargeable defects detected, causing the product to cease to function at this stress level.

 Technological domain: this corresponds to the ideal product, designed and produced without error, but which represents the fundamental limit, and defines the potential margin with respect to the specification.

 Growth in margin by gradually increasing the stresses and correcting the chargeable defects revealed

 Chargeable defect (to be detected and eliminated)

Figure 1 – Exploration of margins using a highly accelerated test

- il y a souvent une forte distorsion entre les conditions de la spécification et les conditions réelles d'utilisation d'un produit, notamment dans le cas où la variabilité d'usage du produit est importante. En conséquence, certaines situations du profil de vie, parfois très brèves, amènent le produit à devoir fonctionner dans des conditions de sévérité allant bien au-delà de la couverture spécifiée.
- l'expérience montre aussi que les défauts assignables sont souvent facilement localisables et peuvent être supprimés ou atténués de manière simple et économique (ex : insuffisance de gabarit d'un composant, insuffisance de serrage d'une vis, composants montés sur des ventres vibratoires d'un circuit imprimé, circuit imprimé fixé de manière inadéquate dans un boîtier soumis à vibrations, faiblesse d'une liaison mécanique, etc.).

Le principe des essais aggravés, de par son caractère endommageant, constitue donc un véritable changement de culture par rapport à l'approche traditionnelle, qui a pour vocation essentielle de s'assurer du respect des performances du produit dans les conditions spécifiées. Ainsi que le montre la Figure 1, l'objectif ne se limite plus, à présent, à montrer que l'on est conforme, mais que l'on a réalisé une exploration au-delà de cette frontière spécifiée de manière à débarrasser le produit des obstacles qui limitent sa robustesse potentielle, celle qui correspond à la limite de résistance imposée par la technologie.

REMARQUE Il importe de voir que la réalisation d'un essai aggravé ne doit pas conduire à faire du surdimensionnement. En effet, l'essai aggravé se traduit, in fine, par le dépistage et la suppression des défauts assignables, ceux qui par principe même résultent d'un non respect ou d'une non connaissance des règles de l'art (en conception et en fabrication). Ce sont donc ces actions dédiées à la suppression des défauts assignables qui concourent à l'amélioration des marges de fonctionnement et à l'obtention des marges potentielles. D'une manière générale, on ne cherche pas à repousser les limites technologiques des composants et/ou des matériaux, ce qui entraînerait une remise en cause des choix conceptuels (produit et/ou procédés) se traduisant par un complément d'investissement et de temps important.

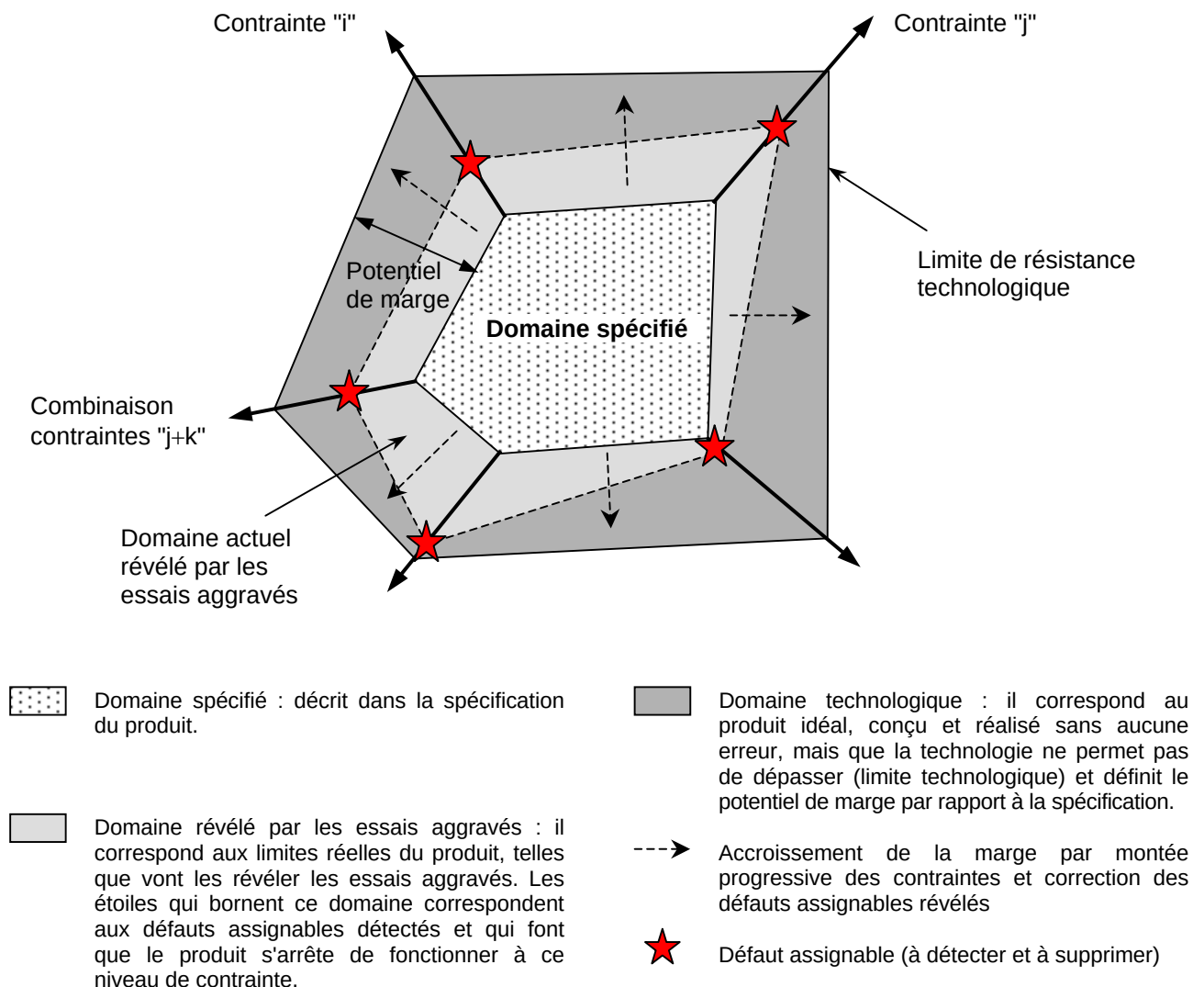


Figure 1 – L'exploration des marges par l'essai aggravé

6.3 Example of the limitations of highly accelerated tests

Despite its efficiency and speed, the highly accelerated test method does, nevertheless, have its limitations, and these may, in certain cases, require it to be supplemented by prior specific testing or security checking of product components.

In practice, and independently of the parameters that highly accelerated tests do not address by their very nature (such as ESDs, sealing, etc.), they provide relatively little information about the robustness of products that change over time as a result of internal physico-chemical reactions.

Take, for example, the issue of electromigration in ceramic condensers.

This effect causes condensers ultimately to fail as a result of short-circuiting, which may take 2 weeks or 2 years to occur, depending on the design of the product, the manufacturing process and the conditions under which it is used.

Highly accelerated testing of a new product cannot always reveal this type of fault, because at the time of testing, the ceramic condenser complies fully with its specification and these tests only marginally accelerate the latent electromigration effect.

In this example, prior "batch reliability" security checking of the condensers supplied would considerably reduce the risk involved. Such prior reliability checking could involve specific humidity/temperature testing of ceramic condensers, using tests that it may be impossible to apply to the finished product.

On the basis of this example, it is the feedback of experience that will enable manufacturers to decide whether the highly accelerated tests they have installed in their development and mass production processes are sufficient. If not, they must design, evaluate and implement additional filters to achieve the desired degree of robustness.

7 Industrial technical domains covered by highly accelerated tests

The highly accelerated tests apply to all industrial domains.

From the technical viewpoint, highly accelerated tests are appropriate both to electrical and electromechanical equipment and to primarily mechanical components.

In the first case, that of electronic or electromechanical systems, they often consist in applying temperature, vibration and electrical stimuli stresses.

In the second case, the mechanical case, they relate directly to the robustness characteristic well-known to mechanics and which itself relies on the "safety coefficient" concept. Thus, in a purely mechanical context, a static highly accelerated test can consist in subjecting a component or assembly to a rising static stress until, for example, the part deforms or breaks. A dynamic highly accelerated test can consist in subjecting the component or assembly to repeated stress cycles (traction/compression cycles, repeated shocks, etc.) to generate cumulative damage once again leading to deformation or breakage. In this latter case, the highly accelerated nature can apply to various types of criteria: the stress level, the number of cycles, the length of the loadings, the combination of stresses, and so on.

In short, highly accelerated tests can apply to all equipment categories, provided that the most pertinent stresses (mechanical, climatic, electrical, etc.) are used, with respect to the expected failure modes on this equipment.

8 Highly accelerated tests in the lifecycle and associated assembly levels

To ensure optimum efficiency, the highly accelerated tests must be integrated as far upstream as possible into the product lifecycle, as of the program feasibility phase, at the time the initial design choices are being made.

6.3 Exemple de limite des essais aggravés

Malgré son efficacité et sa rapidité, la méthode des essais aggravés présente toutefois des limites qui peuvent contraindre, dans certains cas, à la compléter par des tests spécifiques ou par des actions de sécurisation amont des composants du produit.

En effet, et indépendamment des paramètres que les essais aggravés ne couvrent pas par nature (comme les ESD, l'étanchéité,...), ils ne fournissent que peu d'informations sur la robustesse d'un produit qui évolue dans le temps à cause de réactions physico-chimiques internes.

Citons à titre d'exemple le cas du phénomène d'électromigration dans les condensateurs céramique.

Ce phénomène conduit les condensateurs à un mode de panne final qui est le court-circuit, en un temps qui peut aller de 15 jours à 2 ans selon la conception du produit, le procédé de fabrication et les conditions d'utilisation.

L'application d'essais aggravés sur un produit neuf ne pourra pas révéler systématiquement ce type de défaut puisqu'au moment de son application le condensateur céramique est conforme à sa spécification et que ces essais n'accélèrent que de manière marginale le phénomène d'électromigration latent.

Dans ce cas, par exemple, une sécurisation amont de type « fiabilisation de lots » des condensateurs approvisionnés permettra de réduire considérablement le risque encouru, cette fiabilisation amont pouvant faire intervenir le test humidité/température spécifique aux condensateurs céramique et qui peut être inapplicable au produit fini lui-même.

A partir de cet exemple, c'est donc par le retour d'expérience que l'industriel jugera si les essais aggravés qu'il a placés dans ses processus de développement et de fabrication série sont suffisants. Dans la négative il lui faudra imaginer, évaluer, puis mettre en œuvre des filtres complémentaires pour atteindre le niveau de robustesse recherché.

7 Domaines techniques industriels couverts par les essais aggravés

Les essais aggravés s'appliquent à tous les domaines industriels.

Du point de vue technique, les essais aggravés conviennent aussi bien aux matériels électroniques et électromécaniques qu'aux matériels à dominante mécanique.

Dans le premier cas, celui de l'électronique ou de l'électromécanique, ils consistent souvent à appliquer des contraintes en température, des sollicitations vibratoires et des stimuli électriques.

Dans le second cas, celui de la mécanique, ils découlent directement de la caractéristique de robustesse bien connue des mécaniciens et qui s'appuie elle-même sur le concept de « coefficient de sécurité ». Ainsi, dans un contexte purement mécanique, un essai aggravé peut consister, en statique, à soumettre un matériau ou un assemblage à une contrainte statique de valeur croissante jusqu'à, par exemple, l'obtention de la déformation ou de la rupture. En dynamique, l'essai aggravé peut consister à soumettre le matériau ou l'assemblage à des cycles répétitifs de sollicitations (cycles de traction/compression, chocs répétitifs...) de manière à générer du dommage cumulé allant là encore jusqu'à déformation ou rupture. Dans ce dernier cas, l'aggravation peut s'appliquer sur différents types de critères : le niveau des sollicitations, le nombre de cycles, la durée des sollicitations, la combinaison des contraintes, etc.

En résumé, les essais aggravés peuvent s'appliquer à toutes les catégories de matériels, sous réserve de faire appel aux contraintes (mécaniques, climatiques, électriques, ...) les plus pertinentes vis-à-vis des modes de défaillance attendus sur ces matériels.

8 Les essais aggravés dans le cycle de vie et niveaux d'assemblage associés

Afin d'avoir l'efficacité la meilleure, les essais aggravés doivent être intégrés le plus en amont possible dans le cycle de vie du produit, dès la phase de faisabilité du programme, au moment où s'effectuent les choix initiaux de conception.

During the definition phase, the highly accelerated tests can be implemented on test vehicles to validate the technological choices and/or processes, and then on the first mock-ups or prototypes once available, down to basic subassembly level (board, module, etc.), if the level of testability so allows. The purpose of these first highly accelerated tests is to reveal and correct the design weaknesses. As the development cycle progresses, more advanced highly accelerated tests linked to the degree of complexity of the current levels of assembly, are envisaged. Their goals are: to identify operating margins, to estimate the degree of maturity of the product and/or its manufacturing processes.

There are four advantages in beginning the highly accelerated tests at a low level of assembly, as soon as testability makes it possible:

- Corrections are easy to make;
- It is often easier to stimulate low-level assemblies, by applying high stresses, than a complete system;
- Defect monitoring is all the easier, the less complex the level of assembly of the entity tested;
- It is possible to work on homogeneous technologies.

For each phase in a highly accelerated test, the number of examples under test will depend on the nature of the highly accelerated tests planned (analysis of a design parameter, validation of operating margins, identification of inadequacies in the manufacturing processes, etc.) and on the economic context.

The main goals of the highly accelerated tests at each of the various steps in the lifecycle are mentioned below:

a) Feasibility:

Feasibility corresponds to a technical and industrial analysis with regard to the specified targets. At this stage, a product design orientation file is produced, and risks are examined, in order to eliminate unacceptable risks and draw up a plan of action (to be taken into account as of the definition phase). At this point, the highly accelerated tests to be performed during the definition phase are scheduled.

b) Definition (preliminary design):

After the feasibility analysis and the preliminary risks have been identified, the highly accelerated tests help to ratify the product configuration used as the reference for development launch. When performed on basic sub-assemblies or on an existing product, they contribute to validating a design mode or a technological choice, to clearing risks related to the initial design choices, to requesting additional definition work, to proposing plans of action for the subsequent phases.

c) Development:

At the beginning of the development phase, the highly accelerated tests performed on low-level assembly prototypes enable inadequacies to be highlighted and corrected in terms of the electrical, mechanical and sometimes software design.

However, when no functional performance is yet measurable, this becomes a limitation of the highly accelerated tests at this level of assembly. In this case, the highly accelerated tests process can only be initiated at higher levels of assembly.

As the development phase progresses, other prototypes corresponding to more complex levels of assembly become available: sets of interconnected boards, unit components in a system, assembly of mechanical parts, etc. A cycle of highly accelerated tests can be performed at this level on one or more examples, in order to reveal insufficient operating margins of the new assemblies thus created. The quantity and nature of these tests also depend on technological innovations employed and the persistence of the risks, on the checks needed to prepare for running qualification, control of the series production resources, and the need for preparing the environmental stress screening profile applicable to industrialisation and production.

Subject to feasibility, when the first examples of the complete product are available (component or system), in a configuration representative of the production item, a new cycle of highly accelerated tests, tailored to this configuration, can again be run, in order to:

- identify insufficient margins on the interconnections and modules,
- highlight weak points in the manufacturing and assembly processes,

according to the representativeness of the sample of the examples chosen.

Furthermore, the Highly Accelerated tests facilitate Verification and Validation stage in the design cycle.