



Division AERONAUTIQUE Présentation fiabilité prévisionnelle

F.BAYLE



La **fiabilité** est l'**aptitude** d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

La **fiabilité prévisionnelle** est une donnée d'entrée pour :

- La **sécurité** afin de quantifier
 - l'analyse des modes de défaillance (AMDEC).
 - l'occurrence d'un événement redouté (FTA).
- La **testabilité** afin de quantifier
 - le taux de couverture des tests en Vol (BITE).
 - le taux de fausse alarme.
- La **maintenabilité** afin de quantifier
 - le taux de couverture des tests au sol.
 - les coûts directs de maintenance (DMC).

La **fiabilité observée** permet :

- La détermination des coûts de garantie.
- La vérification de la tenue des objectifs de fiabilité.
- Le recalage des modèles de fiabilité prévisionnelle chez THAV depuis les années 1970.



Les exigences fiabilité d'un produit se traduisent pour :

■ la fiabilité prévisionnelle

- par un objectif de MTBF ⁽¹⁾.

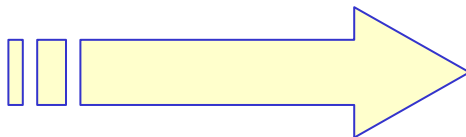
■ la fiabilité observée

- par un objectif de MTBUR ⁽²⁾ avec des coûts de garantie associés en cas de non tenue.
- Par un objectif de NFF ⁽³⁾.

Au sens ASW dans le contexte de suivi des pannes en utilisation :

- (1) MTBF = temps moyen net entre déposes non planifiées, justifiées et non induites.
- (2) MTBUR = temps moyen entre dépose non planifiées et non induites.
- (3) NFF = taux de dépose non planifiées et non justifiées.

$$MTBUR = MTBF \times (1 - NFF)$$



Nécessité d'estimer la fiabilité



Aux US

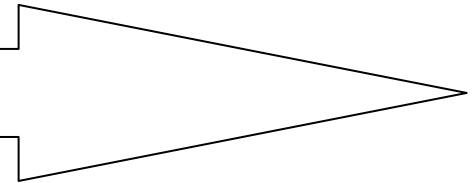
C'est dans les années 1950-1960 que la fiabilité a émergé en tant que discipline à part entière. C'est à cette époque que les Américains, les premiers, ont compris que la fiabilité représentait une limite à la complexité des systèmes...

Et c'est en 1962 que la première méthode de prévision de fiabilité est apparu sous la forme d'un "Military Handbook" MIL-HDBK-217.



1950
FIABILITE
1962

1962 (217)
PREVISION
1970 (RdF)



En FR

En France, 1962, c'est également l'année de la première manifestation tangible de prise de conscience du problème avec la création du Centre de Fiabilité du CNET, en même temps que le terme était accepté à l'Académie des Sciences française.

Mais il a fallut attendre 1970 pour qu'une méthode prévisionnelle voit le jour en France, Recueil de Fiabilité RdF 70.

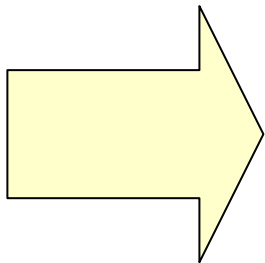


Constats de l'époque :

- Les équipements ont des pannes !
- Ces pannes d'équipements sont dues aux composants...
- Les pannes de composants sont statistiquement prévisibles !

Réactions de l'époque :

- Il faut construire une base de données sur les défaillances
- Effectuer des analyses statistiques
- Pour pouvoir quantifier (prévoir) les pannes

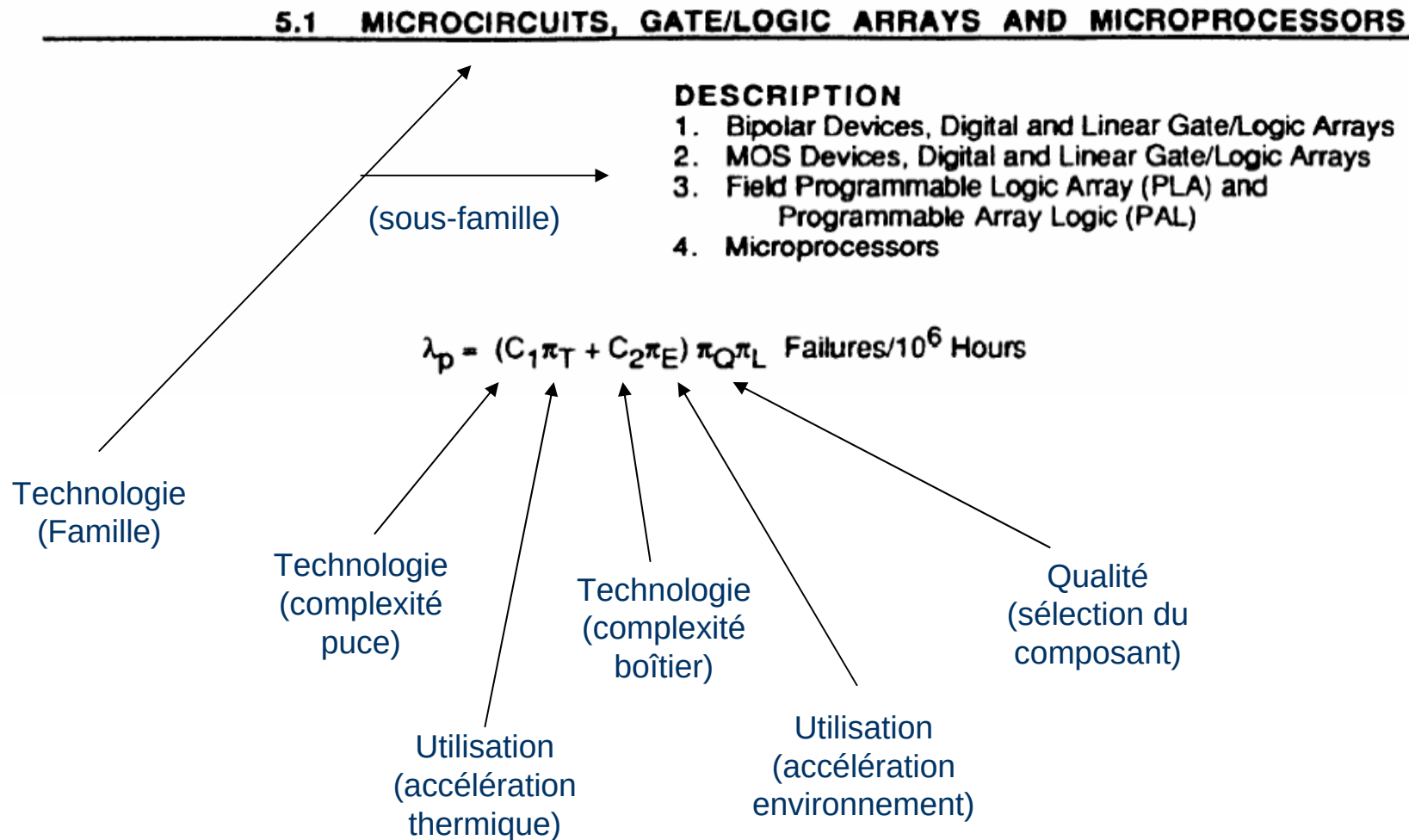


Le Retour d'Expérience (REX) était né...



- Modèles construits uniquement à partir du REX
- Pas de filtrage des pannes
- Applications à plus de 90% militaire
- Statistiques sur : *(donc modèles dépendant de...)*
 - technologie et complexité des composants
 - qualité des composants
 - utilisation des composants (stress, environnement, température)

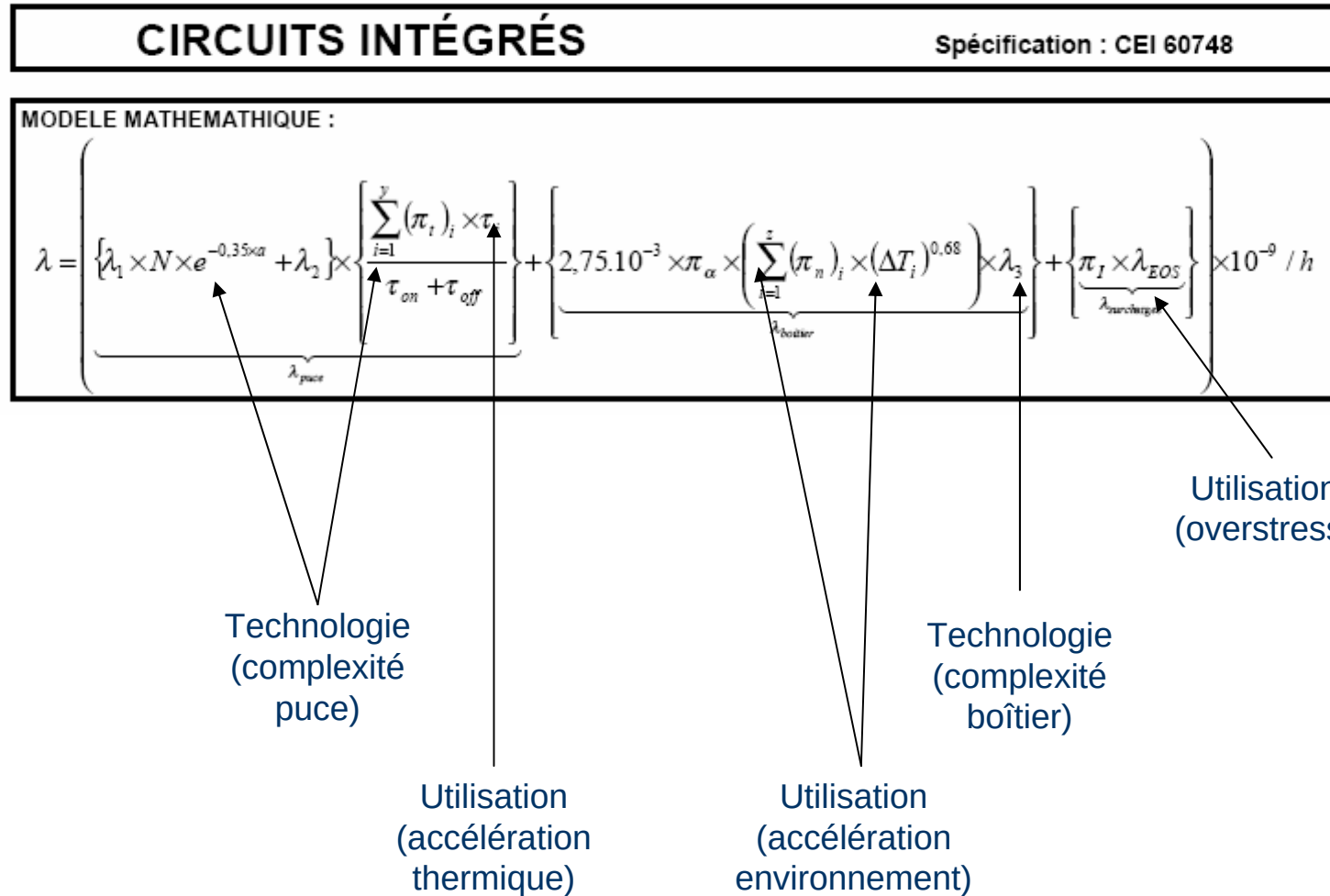
Exemple de modèle :





- Modèles construits uniquement à partir du REX
- Filtrage d'une partie des pannes (*processus: spécification, conception*)
- Applications à plus de 90% civiles
- Statistiques sur : (*donc modèles dépendant de...*)
 - technologie et complexité des composants
 - utilisation des composants (stress, environnement, température)
 - et, plus récemment, overstress EOS/ESD

Exemple de modèle :





1°) LA BASE DE DONNEES REX...

Dans les années 1970 :

Pannes composants	Pannes processus
187	13

Sur un Lambda total = 200, le composant était responsable de la quasi totalité des pannes (90 à 95%)

Il était donc possible de ramener le modèle sur le composant en négligeant le processus



Les taux de défaillance ont fondus, et maintenant :

Sur un Lambda total = 10, le composant n'est plus responsable que d'une minorité de pannes (20 à 40%)

Pannes composants	Pannes processus
3	7

Non seulement il n'est plus possible de négliger le processus

Mais il n'est pas possible de faire un modèle globale à partir des données composants

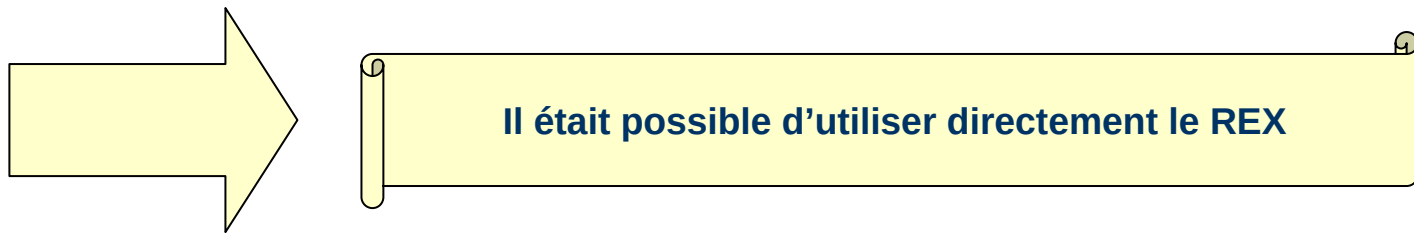


2°) L'EVOLUTION TECHNOLOGIQUE...

Dans les années 1970 :

Délai de 2 à 5 ans pour disposer d'un REX utilisable

Un composant était utilisé 10 ans avant obsolescence





Mais actuellement :

- Délai de 5 à 50 ans pour disposer d'un REX utilisable
- Certain composants ne sont utilisés que de 2 à 5 ans avant obsolescence





Et donc : la 217 comme le RDF :

- Proposent des modèles pour des composants qui n'existent plus !
- Ne donnent pas de modèles pour les composants récents !
- Prévoient beaucoup de pannes qui n'arrivent jamais !
- Et ne prévoient pas toujours celles qui arrivent réellement...



- CONSTAT -

- Le REX ne doit plus être la seule donnée d'entrée
- Le processus ne doit plus être négligé

- BESOIN -

- Couvrir les technologies récentes
- Intégrer rapidement les nouvelles technologies
- Adapté à toutes les applications (militaires ou civiles)
- Adapté à tous les composants (militaires ou civils)
- Sensible à toutes les contraintes d'utilisations
- Doit traiter les composants comme les COTS

Technologie

FIABILITE

Processus

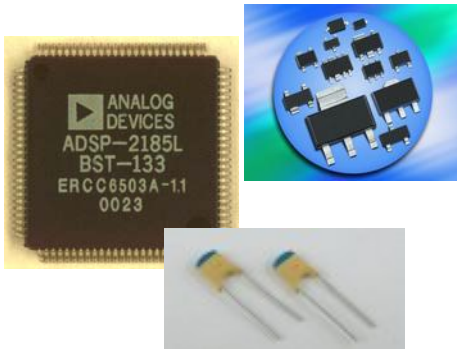
Utilisation

$$\lambda = \left(\sum \text{Physical_Contributors} \right) * \left(\prod \text{Process_Contributors} \right)$$

Composants

Cartes électroniques

Sous-ensembles



THALES



△ L'équation générale est :

$$\lambda = \lambda_{Physique} \cdot \pi_{Part_manufacturing} \cdot \pi_{Process}$$

$\lambda_{Physique}$ représente la contribution physique (technologie et contraintes)

$\pi_{Part_manufacturing}$ traduit la qualité et la maîtrise technique de fabrication de l'article

$\pi_{Process}$ traduit la qualité et la maîtrise technique du processus de développement, de fabrication et d'exploitation/maintenance du produit contenant l'article

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



Modèle physique

$$\lambda_{Physique} = \left[\sum_{Contributions_Physiques} (\lambda_0 \cdot \Pi_{accélération}) \right] \cdot \Pi_{induit}$$

 λ_0

est le taux de défaillance de base, également représentatif des caractéristiques de la technologie

 $\Pi_{accélération}$

est un facteur d'accélération traduisant la sensibilité à un contributeur physique : contraintes électriques, température, cyclage thermique, humidité, mécanique, chimique (contributions nominales spécifiées)

 Π_{induit}

représente la contribution des facteurs induits (aussi appelés surcharges accidentelles ou overstress), classiquement attendus dans une application donnée

Exemple modèle Circuits Intégrés

$$\lambda_{Physique} = \sum_i^{Phases} \left(\frac{t_{annuel}}{8760} \right)_i \cdot \left(\lambda_{0_{TH}} \cdot \Pi_{Therm} + \lambda_{0_{TCyBoitier}} \cdot \Pi_{TCyBoitier} + \lambda_{0_{TCyJoints_brasés}} \cdot \Pi_{TCyJoints_brasés} + \lambda_{0_{RH}} \cdot \Pi_{RH} + \lambda_{0_{méca}} \cdot \Pi_{méca} \right)_i \cdot \Pi_{Induit_i}$$

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



Construction du modèle basée sur :

- L'exploitation des résultats d'essais fiabilité des fabricants

Sigle	Signification	C.I.	Discrets	λ_0
HTOL	High Temperature Operating Life	X		$\Rightarrow \lambda_{0TH}$
HTRB	High Temperature Reverse Bias		X	$\Rightarrow \lambda_{0TH}$
HTGB	High Temperature Gate Bias		X	$\Rightarrow \lambda_{0TH}$
PCT ou AC	Pressure Cooker Test / Autoclave	X		$\Rightarrow \lambda_{0RH}$
TC / TS	Temperature Cycle / Thermal Shock	X	X	$\Rightarrow \lambda_{0TC \text{ boîtier}}$

- L'exploitation des essais de qualification et des résultats de simulation de report boîtiers (résultats partenaires et fabricants) $\Rightarrow \lambda_{0TC_joints \text{ brasés}}$
- L'utilisation des lois d'accélération classiques :
 (Arrhenius ($\Pi_{thermique}$), Peck modifié(Π_{RH}), Coffin Manson ($\Pi_{TCy_boîtier}$),
 Engelmeyer et Norriz-Landsberg ($\Pi_{TCy_joints \text{ brasés}}$), IPC-SM785 modifié ($\Pi_{Méca}$))
- L'exploitation des valeurs de résistances thermiques fabricants



Méthode

- **Décomposer le profil de mission en phases distinctes, à type et niveaux de contraintes constants.**

- **Recenser les contraintes physiques associées à chacune des phases**
 - **Contrainte thermique**
 - **Contrainte cyclage thermique**
 - **Contrainte mécanique**
 - **Contrainte humidité relative**
 - **Contrainte chimique**
 - **Contrainte induite**



Globalement, on observe une diminution dans le temps de la fiabilité observée. Cette évolution est due à un certain nombres de paramètres :

- ☐ non maturité du produit à sa mise en service (pannes de jeunesse).
 - problème de conception
 - problème de fabrication
- ☐ amélioration de la fiabilité intrinsèque des composants (loi de Moore pour les CI par exemple).
- ☐ meilleure qualité de l'environnement opérationnel que subit le produit.
- ☐ Meilleure maîtrise des sous –traitants.
- ☐



Indicateurs de fiabilité

Ces indicateurs sont :

- Chez l'équipementier, la fiabilité prévisionnelle du produit.
- Chez l'avionneur, le taux de dépose 1ere monte et la fiabilité observée.

Hypothèses de base

- Les pannes sont indépendantes entre elles (processus série).
- Le système est un système réparable
- Le processus de comptage des défaillances est un processus de Poisson homogène de densité de probabilité exponentielle d'intensité λ .
- Tous les produits sont semblables.
- La définition d'un produit est obtenue à partir de sa nomenclature (liste de composants qui le constituent). Les modèles de fiabilité prévisionnelle sont donc au niveau composants.
- Pour des raisons de coût et de statistique, la fiabilité observée est au niveau produit.



- **Pour la fiabilité prévisionnelle**

- Le taux de défaillance instantané est donné par :

$$\lambda = \sum_{i=1}^{Nb_Composant} \lambda_i$$

- Le MTBF est donné par : $MTBF = \frac{1}{\lambda}$

- **Pour la fiabilité observée**

- Le taux de défaillance est constant dans le temps
- L'estimateur de ce taux, par la méthode du maximum de vraisemblance, est défini par :

$$\lambda = \frac{\sum Pannes}{\sum heures_de_fonctionnement}$$

- Cet estimateur est borné par la loi du khi².



Sur le taux de défaillance :

- Le taux de défaillance observé d'un produit dans le temps est de manière globale décroissant dans le temps alors que le taux de défaillance prévisionnel est constant.
 - Ceci implique un besoin de recalculer les modèles régulièrement (gestion de configuration, crédibilité vis à vis du client, surcoût ...).
 - Prédiction de fiabilité pessimiste par définition (perte d'affaires, surdesign, perte de confiance du client, forfaits de réparation trop élevés)...
- Le taux de défaillance observé est au niveau équipement alors que les modèles sont au niveau composant.
 - Recalage des modèles difficiles.

Comment peut on prendre en compte cette croissance de fiabilité, comment peut on la projeter à la date de mise en service ?

Quels indicateurs peut-on mettre en place pour vérifier que cette croissance est bien effective, comment détecter au plus tôt toute anomalie, ... ?



Sur le taux de dépose 1ere monte :

- Le taux de dépose 1ere monte a lieu pendant la phase d'avionnage (intégration des équipements, essais au sol puis en vol avant certification). Cet indicateur a pour but de quantifier la qualité, la maturité des produits dès leur livraison chez le client.
- Il est défini par :

$$R1 = \left(\frac{\text{Nombre_de_produits_déposés}}{\text{Nombre_de_produits_livrés}} \right)_{6_mois_glissants}$$

L'objectif du taux de dépose 1ere monte est aujourd'hui de 0.5% de sorte que se pose aujourd'hui la question de sa pertinence.

Quelle est son incertitude et vers quelle valeur théorique minimale peut-on tendre ?

Comment peut-on vérifier l'efficacité des améliorations apporter ?



On appelle éléments contributeurs, toute entité ayant une influence sur le taux de défaillance d'un composant. Les éléments contributeurs des taux de défaillance des composants ont plusieurs origines :

- ❑ Les contraintes physiques ou « stressseurs » que subit le produit pendant sa vie opérationnelle (température, vibrations, humidité, ...).
- ❑ La conception (électronique, thermique et mécanique) du produit.
- ❑ La conception (technologie) et le processus de fabrication du composant.
- ❑ Certains paramètres intrinsèques du composant (Ers d'un condensateur, Rdson d'un Mos, tension directe d'une diode, ...).

Parmi toutes les contraintes physiques, certaines ont un rôle plus important du fait qu'elles ne peuvent pas « **ne pas exister physiquement** ».



SUJET N°2 : Contraintes physiques principales



Ce type de contraintes répond à la définition ci-dessus et on les nommera « **contraintes principales** ». Elles apparaissent opérationnellement généralement sous forme continue. On peut énumérer :

- La température, qu'elle soit constante ou variable dans le temps (cyclage thermique).
- L'humidité relative.
- La pression atmosphérique.

Pour les composants électroniques, généralement la pression atmosphérique n'a pas une grande influence sur le taux de défaillance.

Ces contraintes physiques cohabitent ensemble systématiquement bien que leur niveau puisse être très différent d'un lieu à un autre ou d'un instant à un autre.



Contrairement aux précédentes, ce type de contraintes physiques ne se retrouve pas systématiquement parmi les éléments contributeurs des taux de défaillance des composants. Elles apparaissent opérationnellement généralement sous forme discontinue voir discrète (foudre, ESD, ...).

Nous pouvons citer :

- ✓ Les vibrations et chocs mécaniques.
- ✓ Le cyclage et chocs thermiques.
- ✓ L'accélération .
- ✓ La pollution chimique (uniquement connecteur et circuit imprimés).
- ✓ Les surcharges électriques (pris en compte par l'induit).



❑ Taux de défaillance de base

- considéré comme constant alors que la durée de vie des porteurs augmentent et que celles des composants nouveaux à tendance à baisser. Il n'y a donc pas de prises en compte des composants à durée de vie limitée et de leur taux de défaillance équivalent pour un processus réparable.
- basé sur les données fabricants pour les composants actifs alors qu'il y a pas ou peu de pannes pendant les essais de fiabilité, ce qui entraîne une incertitude importante sur sa valeur.

❑ Lois d'accélération

- température : énergie d'activation considérée comme constante sur toute la plage de température. Pas de justification de la valeur. Comportement aux températures négatives.
- cyclage thermique : pas de prise en compte de l'effet de la pente de variation de la température.



❑ Contraintes physiques

- supprimer la contrainte température seule.
- rajouter l'effet de la température pour les vibrations.

❑ Profil de mission

- remplacer le découpage en phases avec stress constant par un profil unique avec stress variables dans le temps.

❑ Taux de défaillance de base

- réduire l'incertitude de ces taux voir utiliser un modèle à taux de défaillance croissant dans le temps (Weibull).

❑ Lois d'accélération

- température : faire des essais accélérés et vérifier la constance de l'énergie d'activation.
- cyclage thermique : prendre en compte l'effet de la pente par des essais
- proposer un modèle global