

ISTIA - ECOLE D'INGENIEURS Université d'Angers

Automatique & Génie Informatique

Ingénierie de l'Innovation

Qualité & Sûreté de Fonctionnement

5 ans pour réaliser votre projet !

▣ Habilité par la CTI



▣ Labellisée EUR-ACE



université
angers



www.istia.univ-angers.fr





□ L'ISTIA c'est :

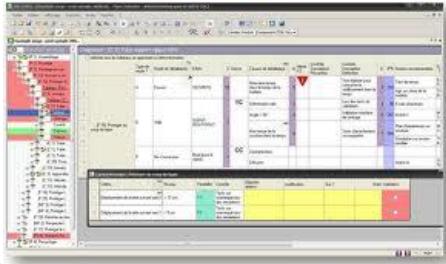
- 15-30 ans d'expérience métiers (MST, IUP, DESS, Licence, Master)
- 600 étudiants en 2012 – 2013
- Plus de 2500 diplômés
- 170 intervenants professionnels
- 51 Enseignants et Enseignants-Chercheurs et 23 personnels Administratifs et Techniques
- 3 sites de formation (Angers, Casablanca et Tanger)
- 1 laboratoire de recherche (LARIS) et 1 équipe du LAMPA
- 12 mois de stage (dont 3 à l'étranger) avec suivi et visite

□ Formation d'ingénieurs en 5 ans

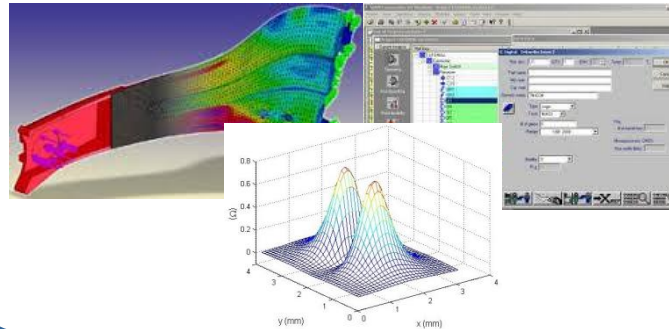
- Cycle préparatoire commun et intégré à l'école (2 ans)
- Cycle ingénieur (3 ans), 3 options :
 - **AGI : Automatique et Génie Informatique**
 - **IdI : Ingénierie de l'Innovation**
 - **QSF : Qualité et Sûreté de fonctionnement**



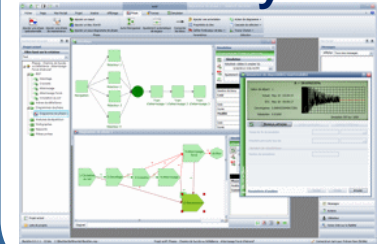
Analyse des Risques



Fiabilité composant



Fiabilité Système



Reliability Center

Fiabilité REX



Essai de fiabilité



Fiabilité des systèmes à LED



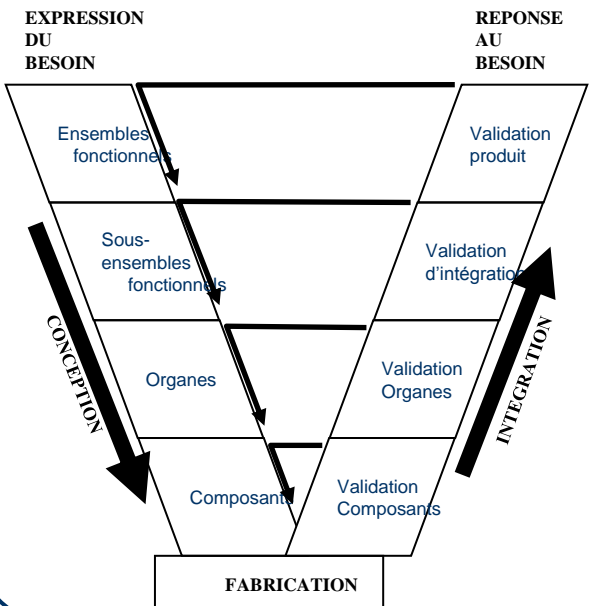
Fabrice Guérin

fabrice.guerin@univ-angers.fr

Situations à risque

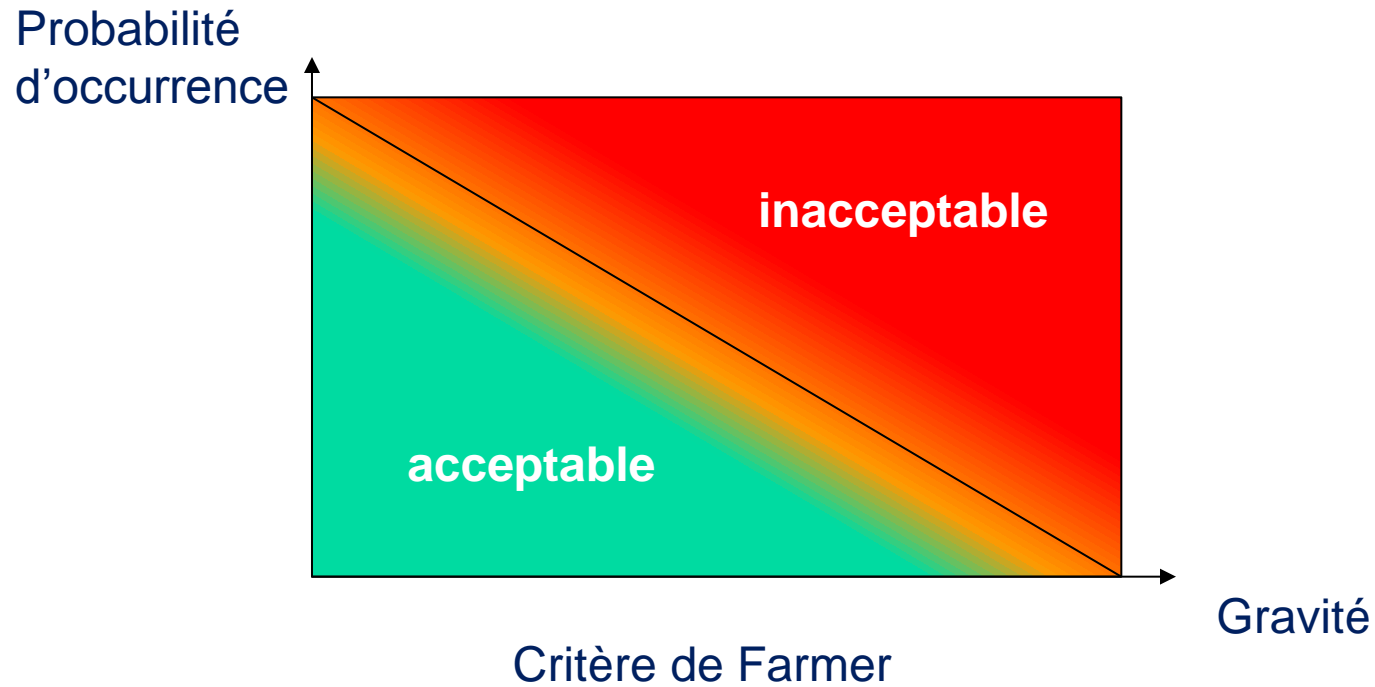


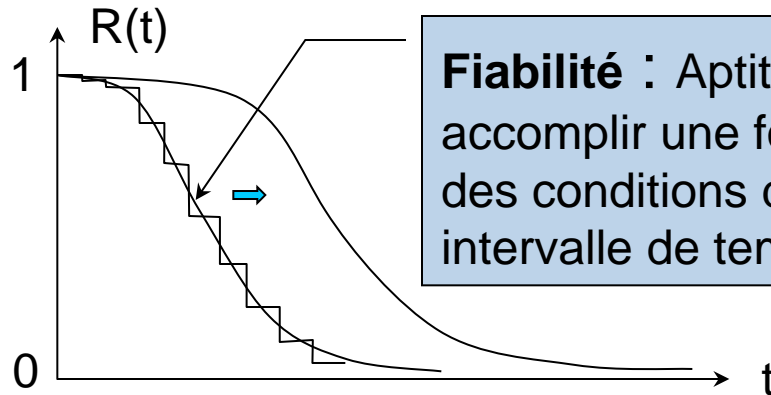
Prise en compte dans le cycle de développement





Définition du risque acceptable





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

Fiabilité prévisionnelle :

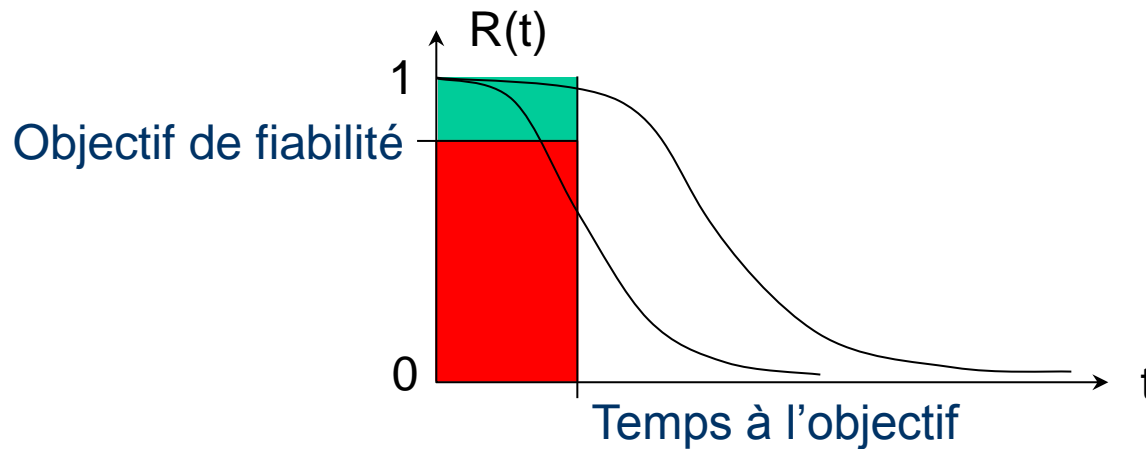
- déceler les risques potentiels
- modéliser le système
- améliorer la conception
- ...

Fiabilité expérimentale :

- déceler les défauts de conception et de fabrication
- estimer les lois de fiabilité
- améliorer la conception
- ...

Fiabilité opérationnelle :

- exploiter les données d'exploitation
- analyser les défaillances
- faire évoluer la conception
- ...



Le profil de mission est constitué de 2 composantes :

- Phases d'utilisation : cycle de vie du produit composé de plusieurs phases pendant lesquelles le produit rend service.
- Environnement de fonctionnement (climatique, mécanique, ...)



■ Donner des repères sur les démarches de fiabilisation d'équipements à mettre en œuvre

- Comprendre les enjeux de la fiabilité
- Modéliser un équipement à base de LED
- Caractériser la fiabilité par les essais
- Qualifier un équipement

- ① Introduction
- ② Quelques notions sur la fiabilité
- ③ Analyse des Risques
- ④ Conception par la fiabilité
- ⑤ Essais de robustesse
- ⑥ Essais de qualification
- ⑦ Références bibliographiques

Quelques notions sur la fiabilité



SENS LARGE : Étudier dans le temps le comportement des fonctions des systèmes, en particulier les défaillances qui peuvent apparaître.

Elle inclut leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise.

Norme X 60-010 : Ensemble des aptitudes d'un bien qui lui permettent de remplir une fonction requise au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui même et son environnement.

La Sûreté de fonctionnement se caractérise généralement par les quatre attributs suivants :

-Fiabilité	}	F.M.D.S
-Maintenabilité		
-Disponibilité		
-Sécurité		

La sûreté de fonctionnement est une notion générale sans caractère quantitatif contrairement à ses attributs, c'est un des aspects de la Qualité lié au temps. Elle est apparue dans les années 40, dans le cadre de l'armement. La plupart des méthodes ont été développées dans les années 60 AMDEC, Arbre de défaillances,...), elles ont été progressivement appliquées dans l'aéronautique et le nucléaire. L'extension de cette approche aux transports puis aux PME date des années 70.

- **Fiabilité** : Aptitude d'une entité S à accomplir une fonction requise, dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné

$$R(t) = \text{prob}(S \text{ fonctionne sur } [0, t]) \in [1,0]$$

- **Maintenabilité** : Aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, dans des conditions données d'utilisation, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec les procédures et les moyens prescrits.

$$M(t) = \text{prob}(S \text{ réparée sur } [0, t]) \in [0,1]$$

- **Disponibilité** : Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné (ou pendant un intervalle de temps donné), en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.

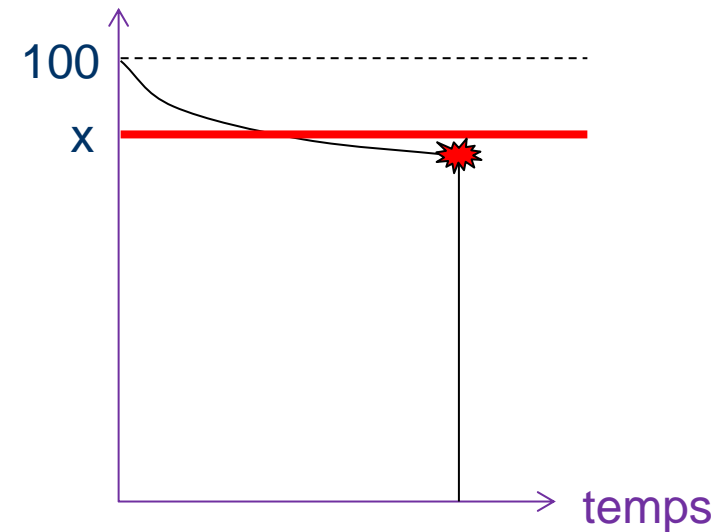
$$A(t) = \text{prob}(S \text{ fonctionne à l'instant } t)$$

- **Sécurité** : Aptitude d'un produit à respecter, pendant toutes les phases de sa vie, un niveau acceptable de risques d'accidents susceptibles d'occasionner une agression du personnel, une dégradation majeure du produit ou de son environnement.

DEFAILLANCE : cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise

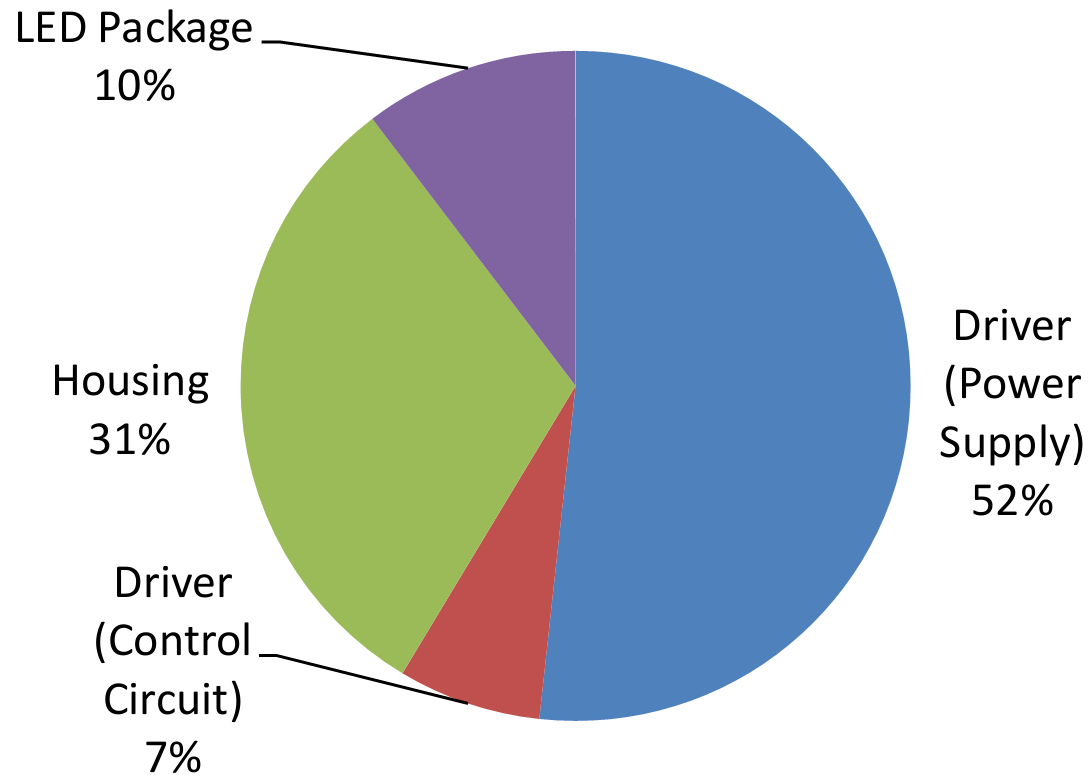


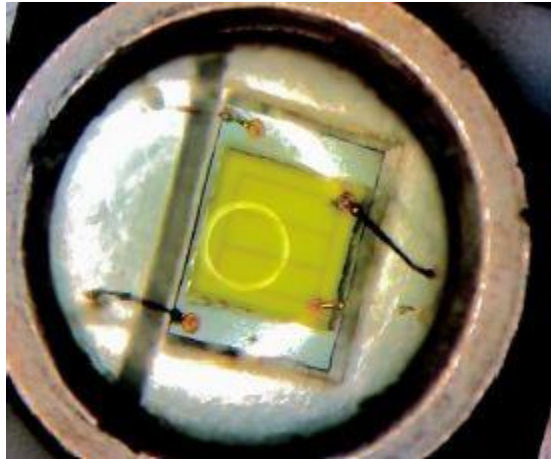
Intensité
lumineuse
relative (%)



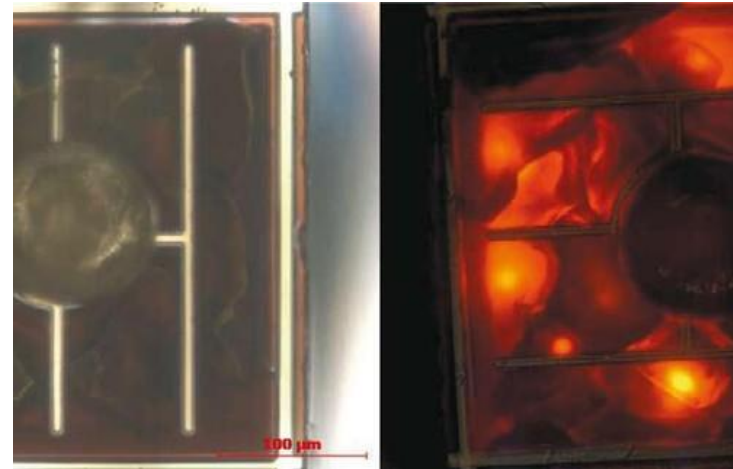
CAUSE DE DEFAILLANCES : circonstances liées à la conception, fabrication ou utilisation ayant entraîné la défaillance.

MECANISME DE DEFAILLANCE : processus physique, chimique,... ayant entraîné la défaillance.





Echauffement des connexions



Corrosion de la surface



Bonding cassé



1) OBJECTIFS DE L'ETUDE

Analyse du besoin, Paramètres FMDS, Système, Niveau de détail

2) ANALYSE FONCTIONNELLE

Analyse fonctionnelle externe et interne, Fonctions principales et de contraintes.

3) CONCEPTION, BUREAU D'ETUDES

Choix d'une solution, Définition technique du système (schémas, composants), Facilité de la maintenance.

4) IDENTIFICATION DES RISQUES POTENTIELS

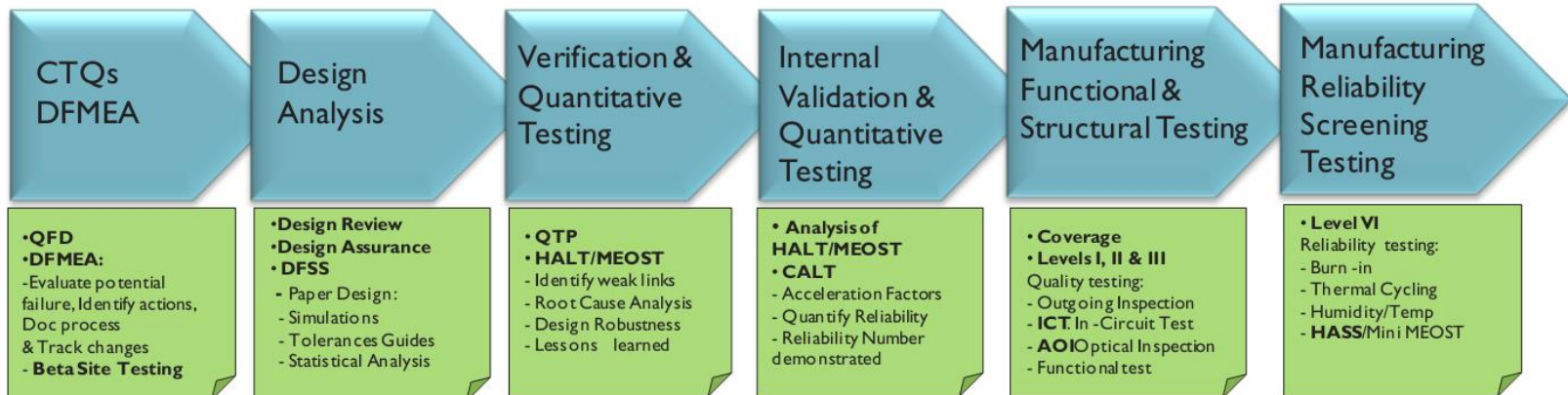
- Méthodes inductives (AMDEC, APR, Arbre d'évènements, HAZOP, HACCP,...)
- Méthode déductive : Arbre de défaillance

5) MODELISATION DU SYSTEME

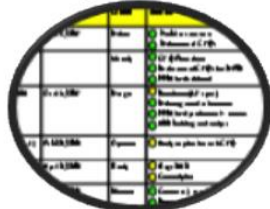
Fiabilité prévisionnelle : diagramme de fiabilité, MARKOV, Réseaux de PETRI, comparaison aux objectifs

6) ESSAIS DE VALIDATION SUR PROTOTYPES, SUR PRESERIE

Structuration d'une étude : Processus Philips



Voice of the Customer

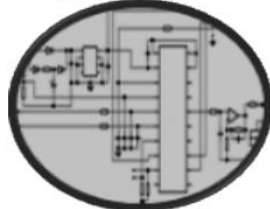


Implementation Plans



Beta Site Testing

Design Verification



Paper Design & Simulation

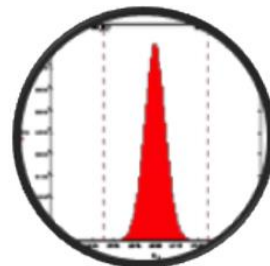


Design Reviews

Time Compression



MEOST/HALT



Accelerated Software Profiles

Manufacturing Test

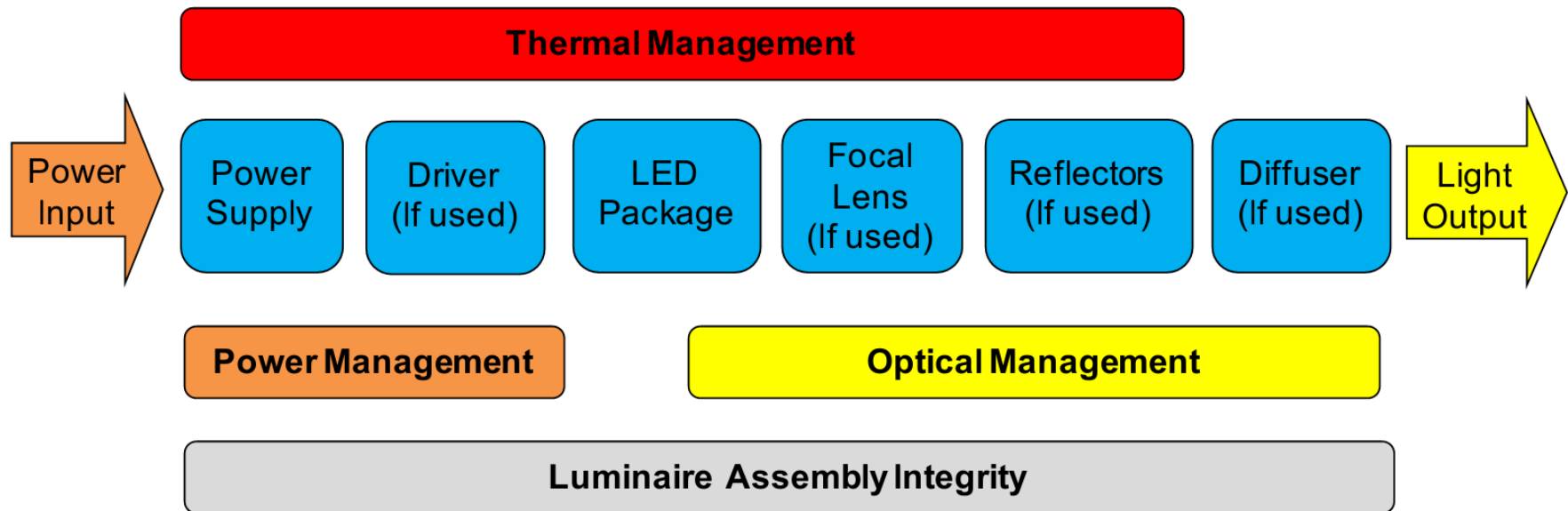


In-Circuit Test

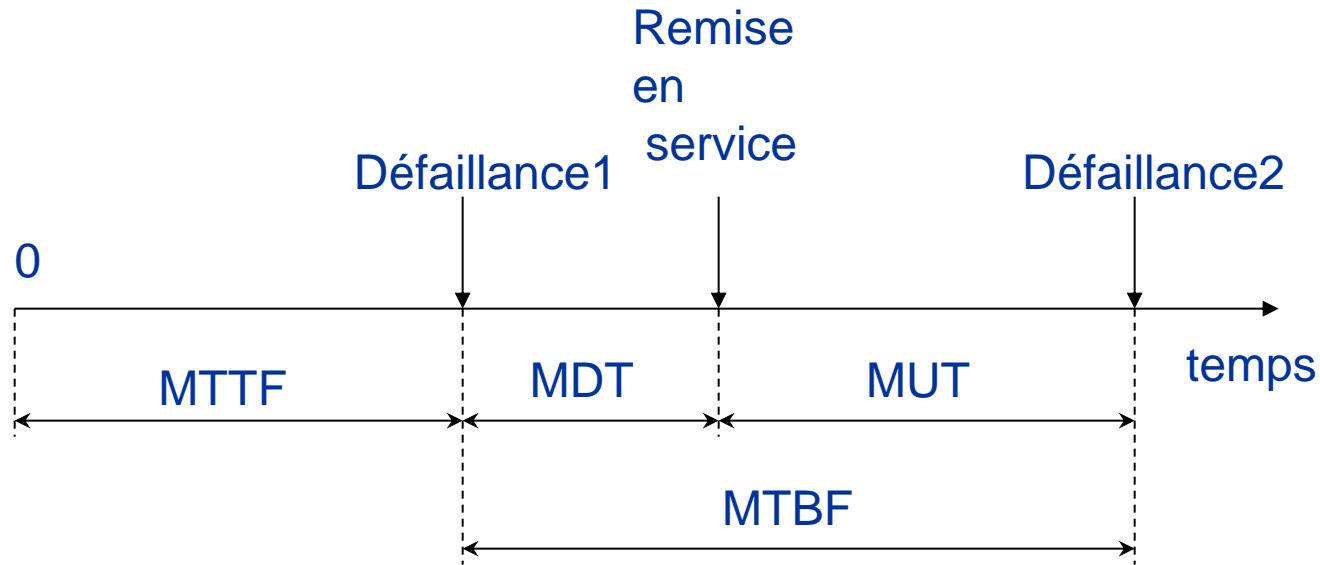


Outgoing QC

SSL Reliability Management (luminaire design, components, final assembly and test)



REPRESENTATION DU MTTF, MUT, MDT, MTBF

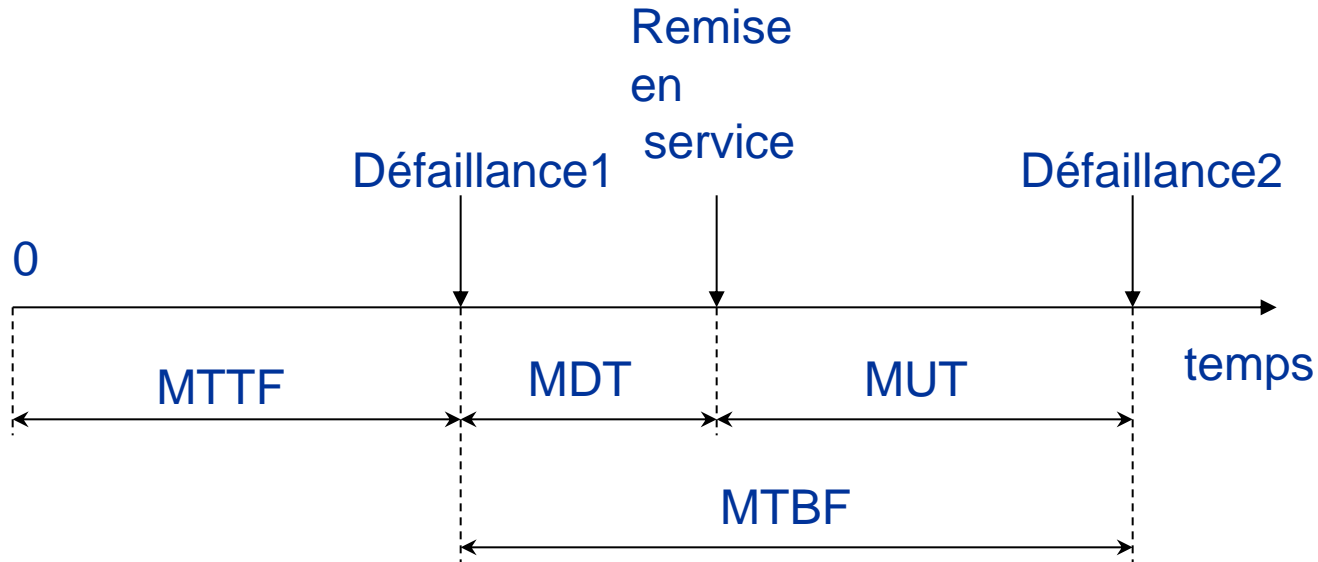


MTTF : Temps moyen de fonctionnement avant la première panne
Mean Time To Failure

MTTR : Temps moyen de réparation
Mean Time To Repair

MUT : Temps moyen de fonctionnement après réparation
Mean Up Time

REPRESENTATION DU MTTF, MUT, MDT, MTBF



MDT : Temps moyen d'indisponibilité (détection, réparation, remise en service)
Mean Down Time

MTBF : Temps moyen entre 2 défaillances consécutives
Mean Time Between Failure

MTBUR : Temps moyen entre déposes non programmées par la maintenance
Mean Time Between unscheduled remove (spécifique à l'aéronautique)

$$\text{MTTF} = \frac{\text{temps cumulés de fonctionnement jusqu'à la 1}^{\text{ère}} \text{ défaillance}}{\text{nombre de 1}^{\text{ères}} \text{ défaillances}}$$

$$\text{MUT} = \frac{\text{temps cumulés de fonctionnement après la 1}^{\text{ère}} \text{ défaillance}}{\text{nombre d'intervalles entre 2 défaillances successives}}$$

$$\text{MTBF} = \frac{\text{temps cumulés après la 1}^{\text{ère}} \text{ défaillance}}{\text{nombre total de défaillances après la 1}^{\text{ère}}}$$

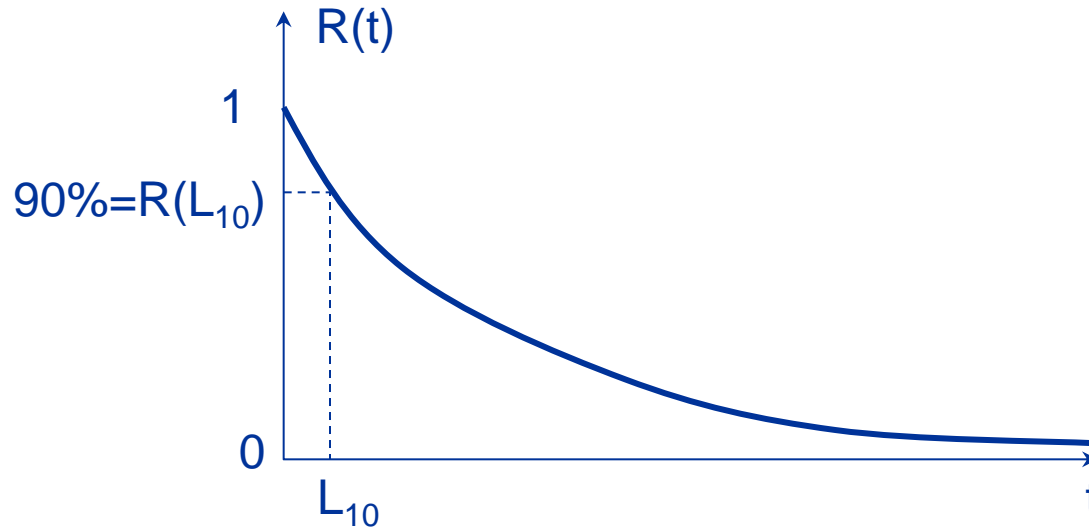
$$\text{MDT} = \frac{\text{temps cumulés d'arrêts}}{\text{nombre total de défaillances après la 1}^{\text{ère}}}$$

$$\text{MTBF} = \text{MUT} + \text{MDT}$$

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{MUT}}{\text{MTBF}}$$



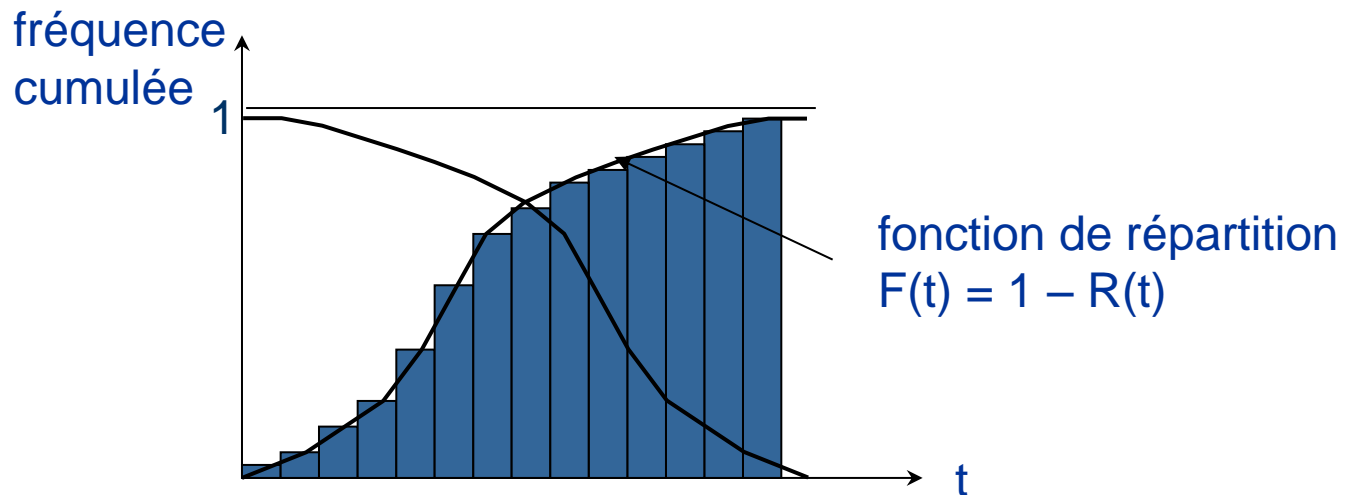
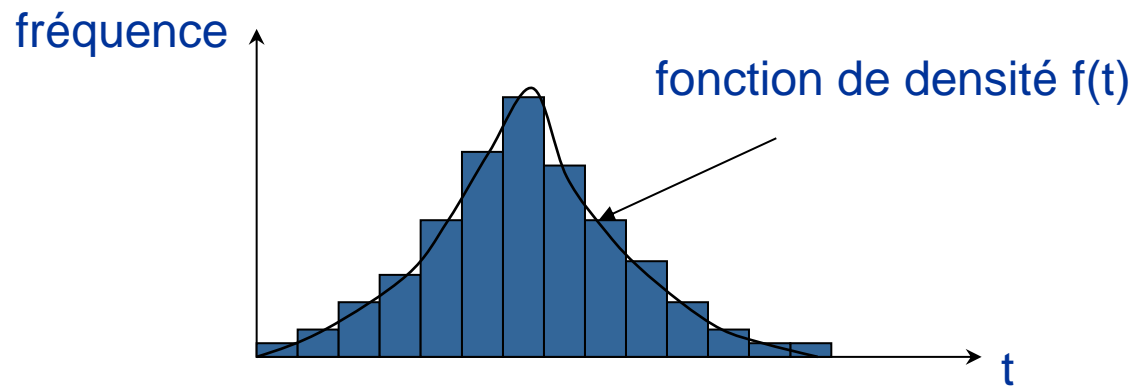
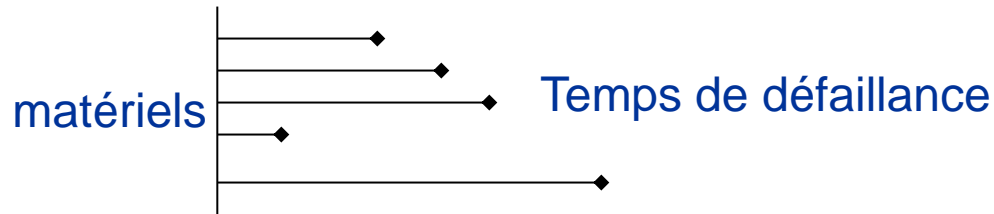
Rappel : $R(t) = \text{prob}(S \text{ fonctionne sur } [0, t]) \in [1,0]$



- $1-R(t)$: fonction de répartition $F(t)$
- t peut être exprimé par : heure de vol, distance parcourue, km, nombre de cycles,...
- Estimation de la fiabilité à l'instant t : $\hat{R}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$

$n(t)$: nombre de systèmes défectueux entre 0 et t

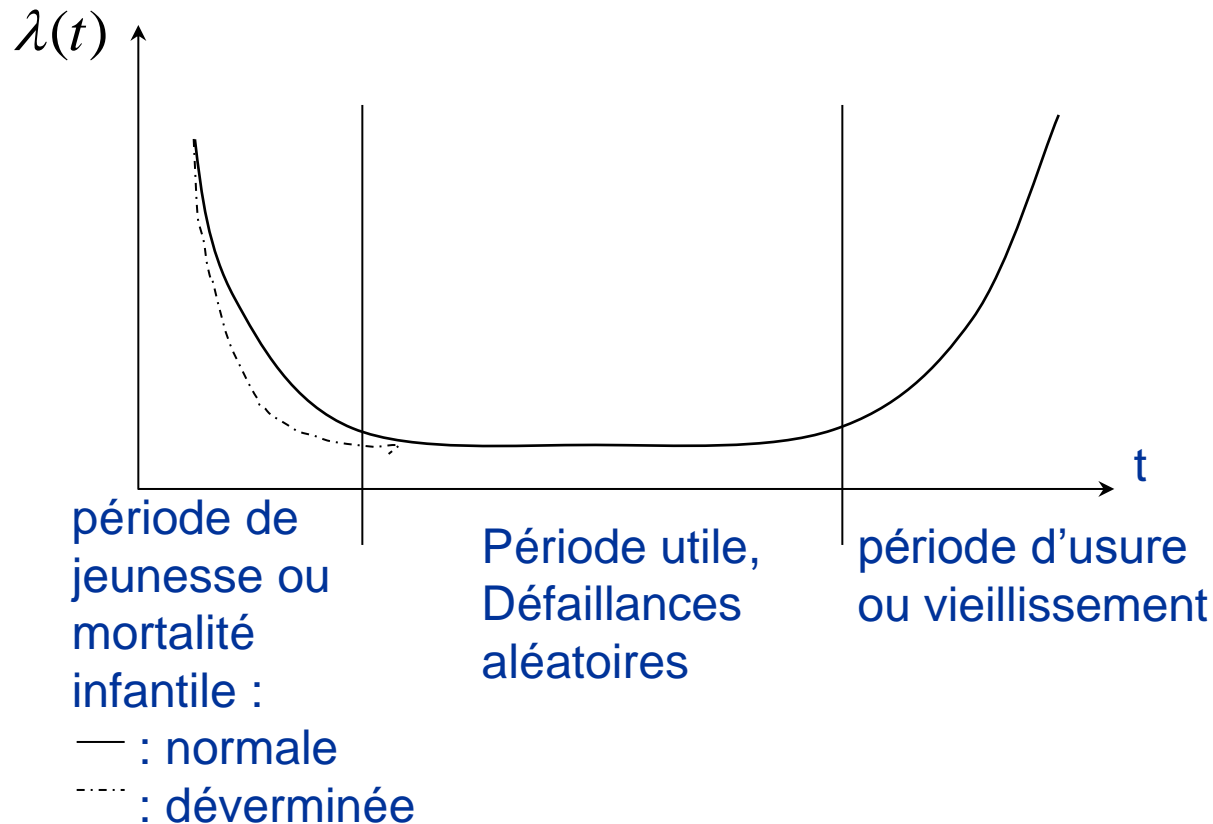
N_0 : nombre de systèmes à l'instant $t=0$



$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t R(t)}$$

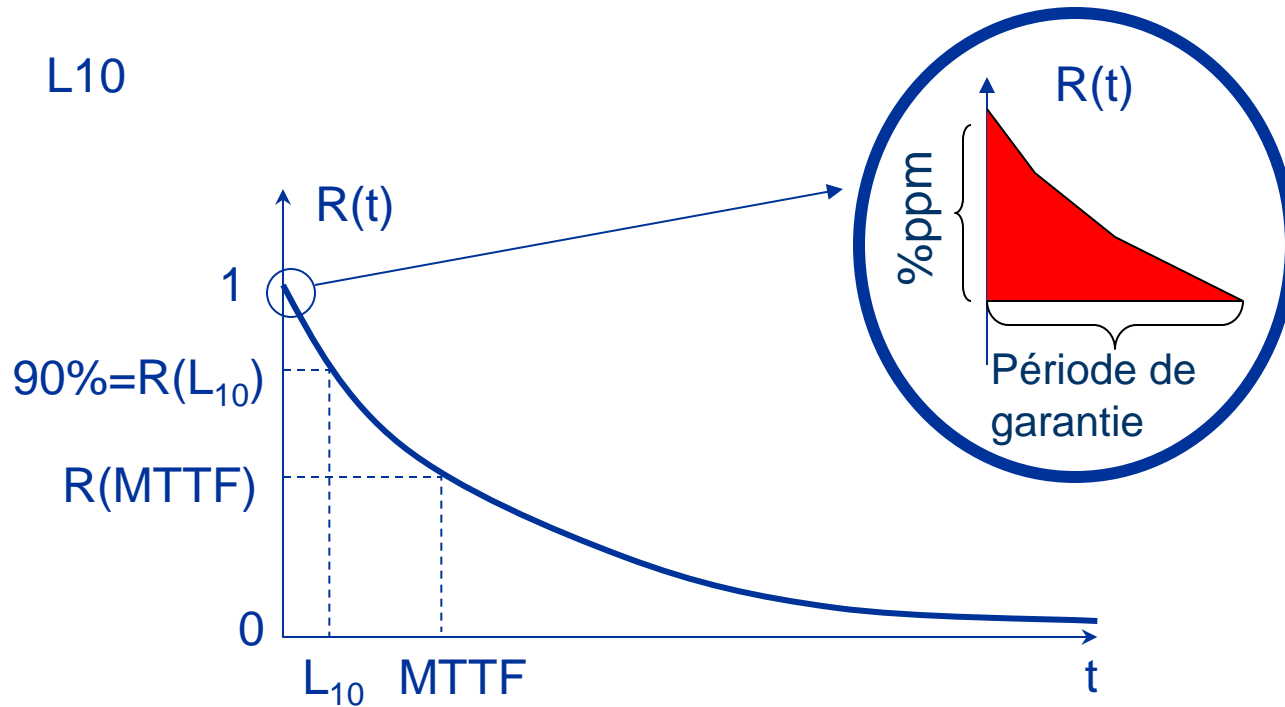
taux de défaillance instantané

$(\lambda(t)\Delta t)$ représente la probabilité pour qu'un système n'étant pas défaillant à t le soit à $t + \Delta t$



Exigences de fiabilité utilisées dans les contrats

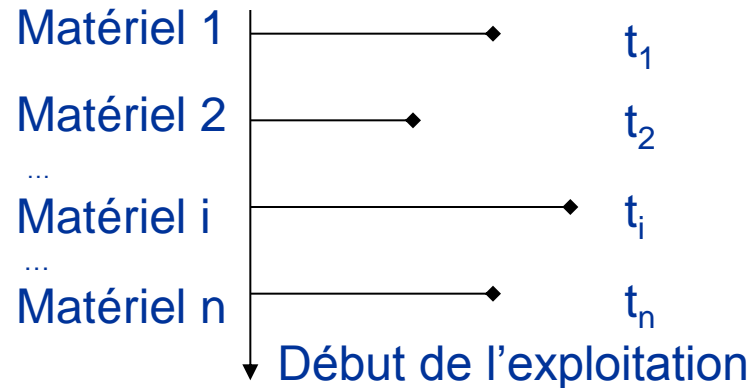
1. Taux de ppm maximal observé dans la période de garantie
2. MTTF
3. L10





Lois utilisées en fiabilité

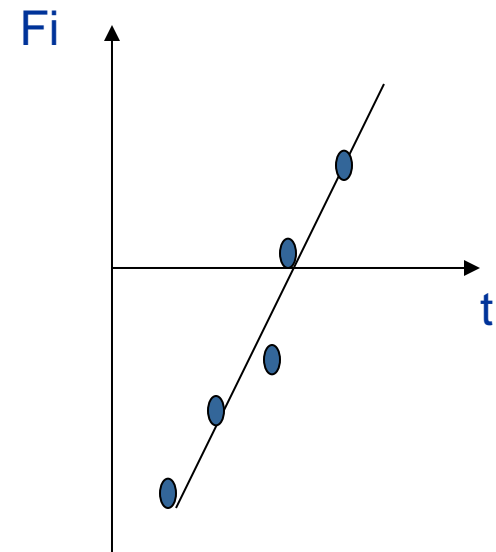
Le retour d'expérience permet l'obtention d'un tableau de valeurs (chronologie des défaillances).



Soit $T = \{t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_n\}$

Le calcul des fréquences cumulées se fait par :

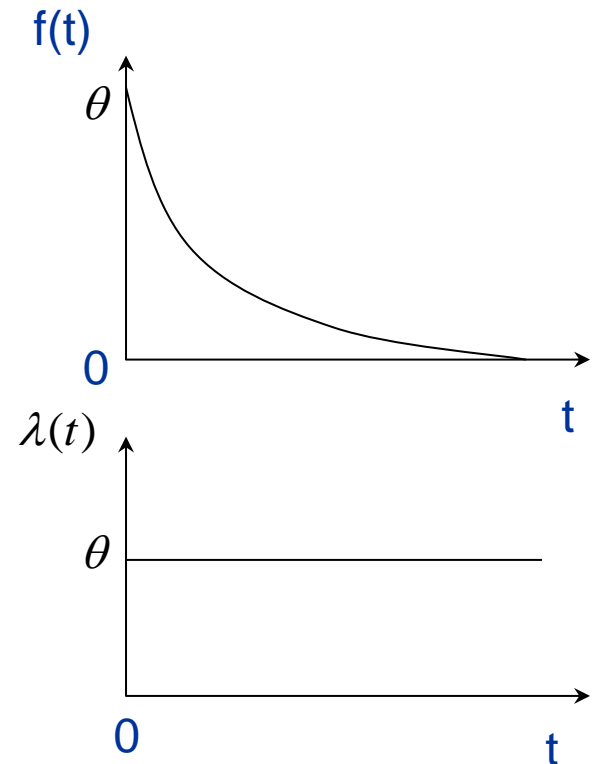
Taille échantillon	Fréquence cumulée
$N > 50$	$F_i = \frac{i}{n}$
$20 < N < 50$	$F_i = \frac{i}{n+1}$
$N < 20$	$F_i = \frac{i-0,3}{n+0,4}$



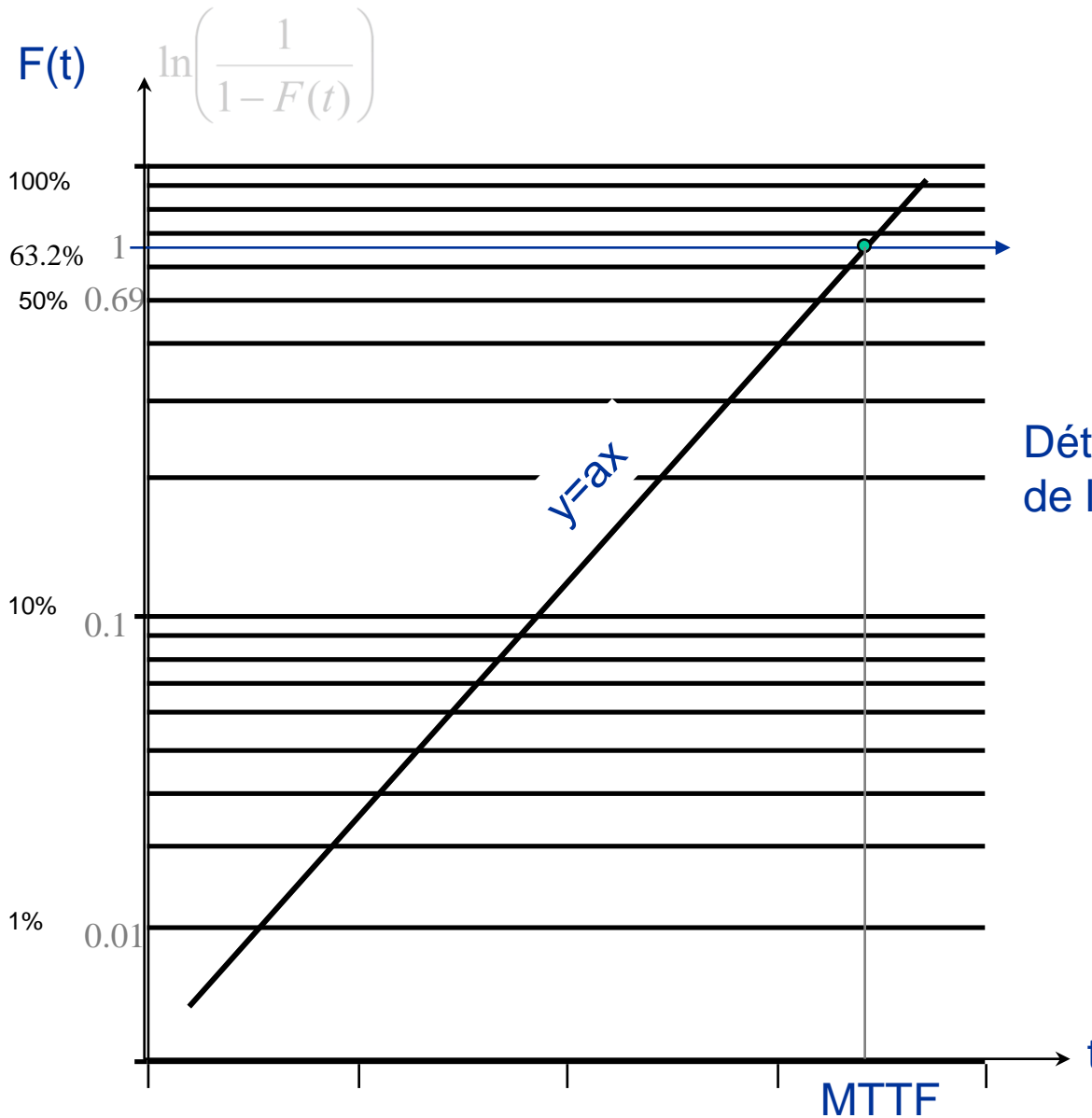


C'est la loi la plus populaire car la plus simple, mais qui suppose un taux de défaillance constant.

- Fonction de répartition : $F(t) = 1 - e^{-\theta t}$
- Fonction de fiabilité : $R(t) = e^{-\theta t}$
- Fonction de densité : $f(t) = \theta e^{-\theta t}$
- Taux de défaillance : $\lambda(t) = \theta$
- MTTF : $MTTF = \frac{1}{\theta}$



- Estimation du paramètre θ : $\hat{\theta} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}$



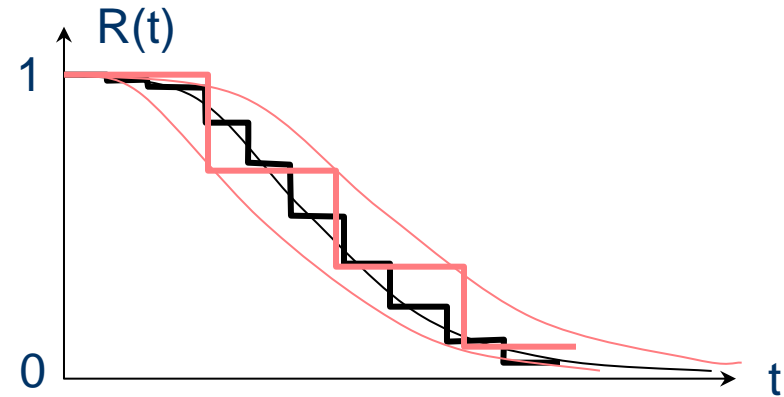
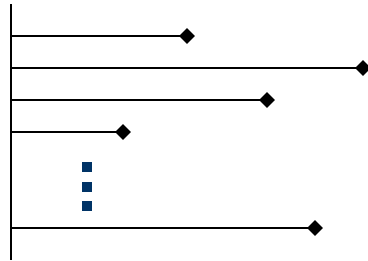
Détermination du paramètre
de la loi Exponentielle :

$$\lambda = a$$

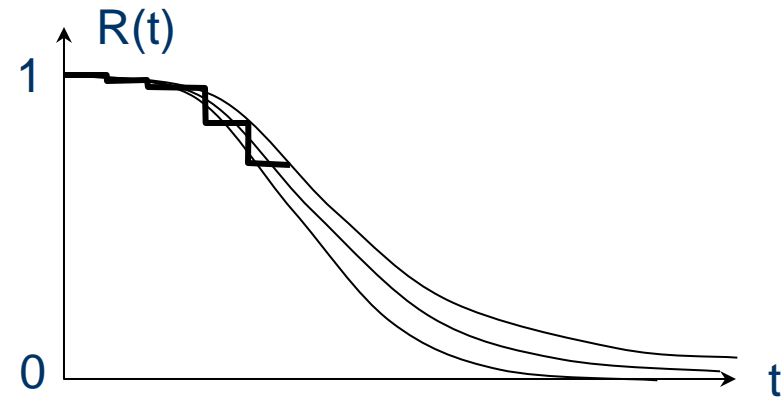
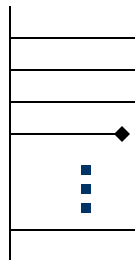
$$b = 0 \text{ (normalement)}$$



n faible



Temps
d'essai
faible



Application à un intervalle de confiance sur le taux de défaillance λ ou MTTF

Intervalle bilatéral symétrique au niveau de confiance $(1-\alpha)$:

- essai arrêté au bout d'un temps cumulé fixé T (essai tronqué) :
$$\frac{\chi_{\alpha}^2(2k)}{2T} \leq \lambda \leq \frac{\chi_{1-\alpha}^2(2k+2)}{2T}$$
- essai arrêté à la $k^{\text{ième}}$ défaillance (essai censuré) :
$$\frac{\chi_{\alpha}^2(2k)}{2T} \leq \lambda \leq \frac{\chi_{1-\alpha}^2(2k)}{2T}$$

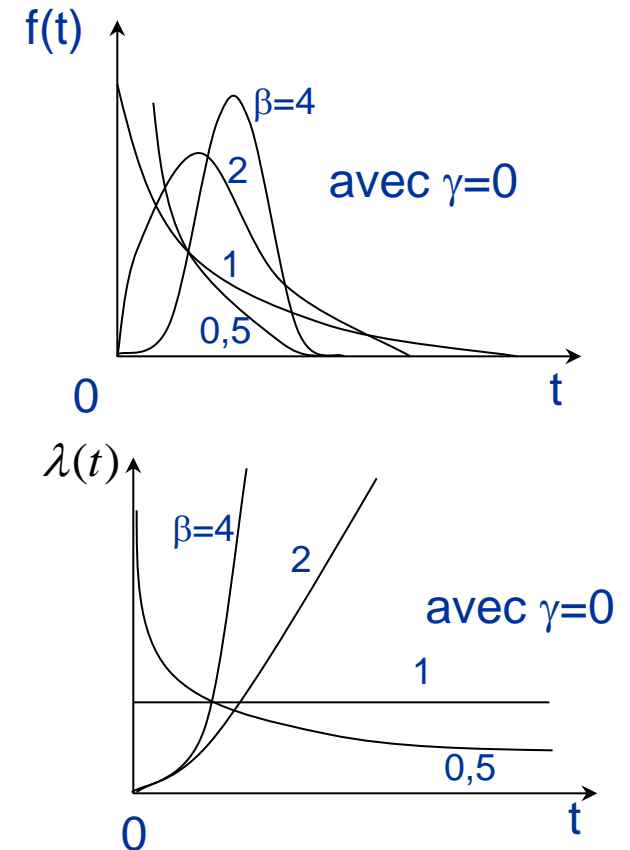
Intervalle unilatéral à gauche au niveau de confiance $(1-\alpha)$:

- essai arrêté au bout d'un temps cumulé fixé T (essai tronqué) :
$$\lambda \leq \frac{\chi_{1-\alpha}^2(2k+2)}{2T}$$
- essai arrêté à la $k^{\text{ième}}$ défaillance (essai censuré) :
$$\lambda \leq \frac{\chi_{1-\alpha}^2(2k)}{2T}$$

Modèle caractérisant l'ensemble de la courbe en baignoire.

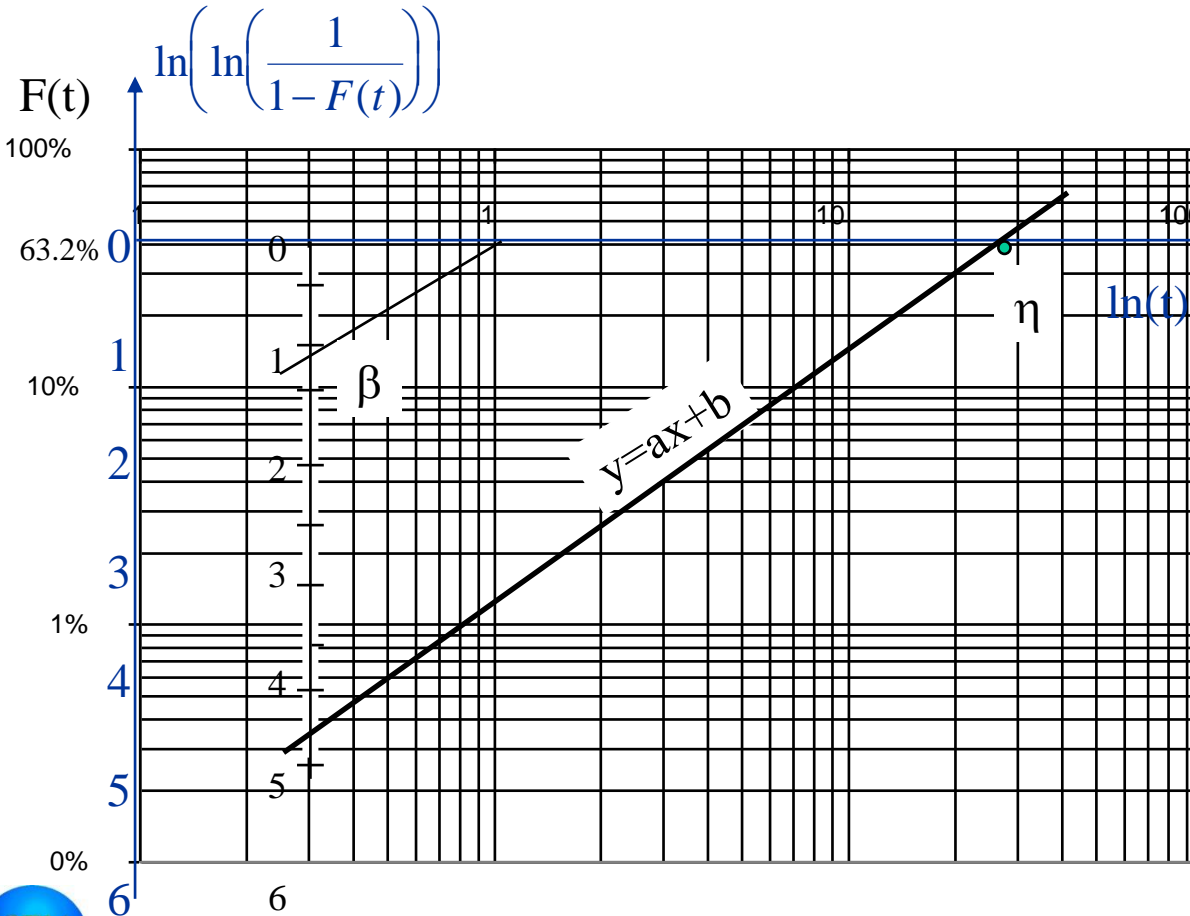
- β : paramètre de forme
- η : paramètre d'échelle
- γ : paramètre de position (ou de décalage)

- Fonction de répartition $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Fonction de fiabilité $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Fonction de densité $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Taux de défaillance $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$
- MTTF $MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + \gamma$



Représentation graphique et estimation des paramètres

1^{er} Cas : $\gamma=0$



On pose :

$$y = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right] = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right]$$

$$= \beta \ln t - \beta \ln \eta = aX - b \text{ si } x = \ln t$$

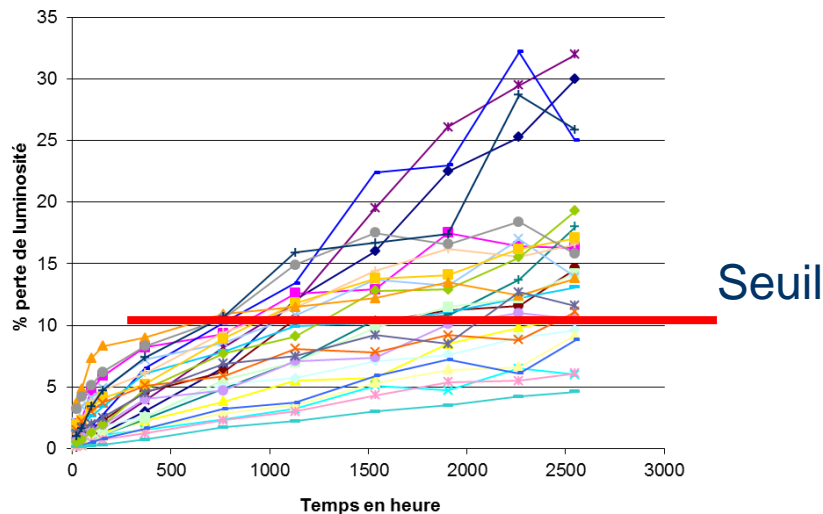
On trace la courbe $y=f(x)$ et on doit obtenir une droite

Détermination des paramètres de la loi de Weibull :

$$\beta = a$$

$$\eta = e^{\frac{-b}{a}}$$

Mesure de la perte de luminosité



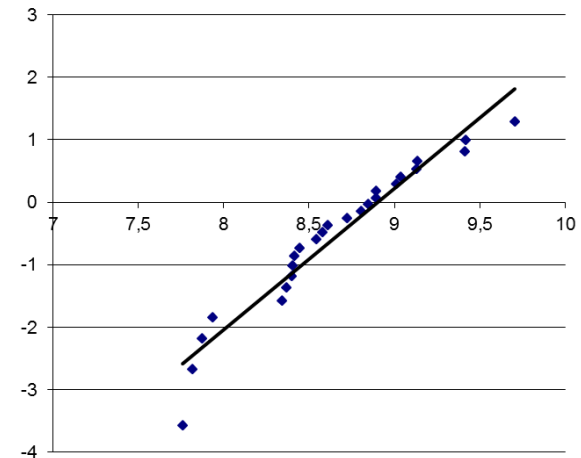
Droite de Weibull

Défaillance déclarée lorsque perte de luminosité de 10% :

$$T = \{t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_n\}$$

$$F = \{F_0, F_1, \dots, F_i, \dots, F_n\} \text{ avec } F_i = \frac{i}{n}$$

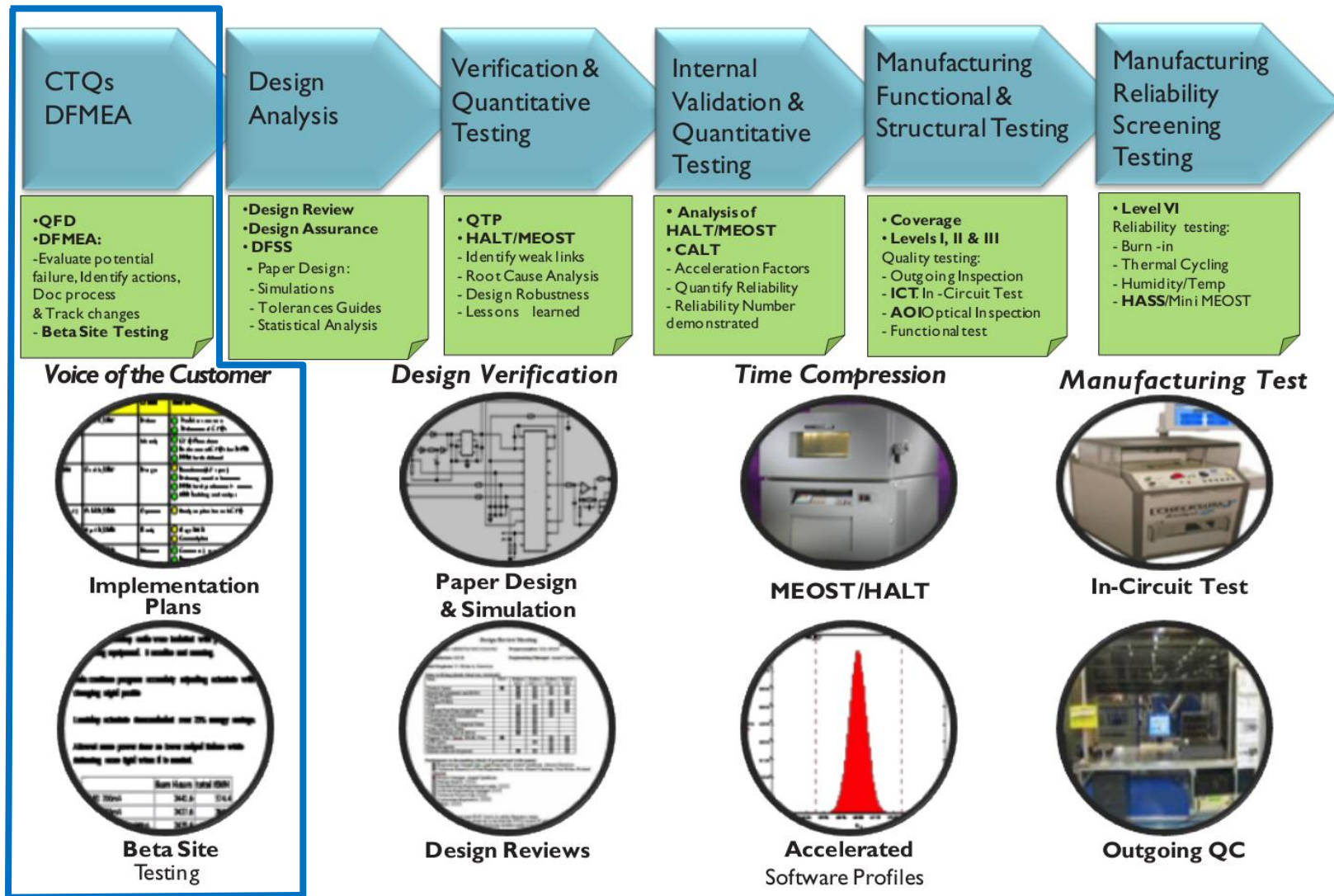
Droite de Weibull



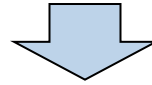
$$W(\beta, \eta) = W(2,25 ; 7369,6 \text{ heures})$$



Analyse des risques



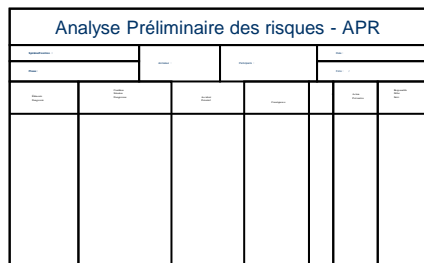
Objectifs : l'analyse des risques permet de mieux appréhender les risques inhérents à l'utilisation d'un équipement, de mieux les maîtriser tout au long de son cycle de vie et d'en réduire les effets.



- Analyse Préliminaire des risques (APR)
- Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)
- Arbre de défaillance (AdD)

AMDEC

AdD



AMDEC Produit

Nom de l'ensemble :

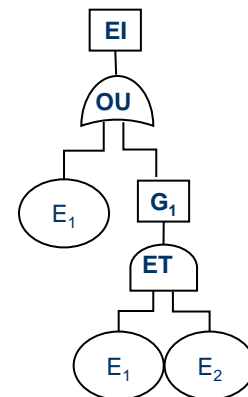
? Ensemble

? Sous-ensemble

? Composant

Date : _____

Animateur :

[illegible]

- Déceler et traiter les modes de défaillance potentiels relatifs à la conception d'un composant
- Affiner le CdF, Plans,...
- Entériner les choix technologiques

- Déterminer les combinaisons d'événements qui entraîne la réalisation d'un événement indésirable
- Représenter ces combinaisons au moyen d'une structure arborescente

Analyse quantitative
des défaillances

Recensement des modes de défaillance

Recherche des causes de défaillance

Étude des effets

Analyse qualitative
des défaillances

Estimation des facteurs de fréquence, gravité et non détection

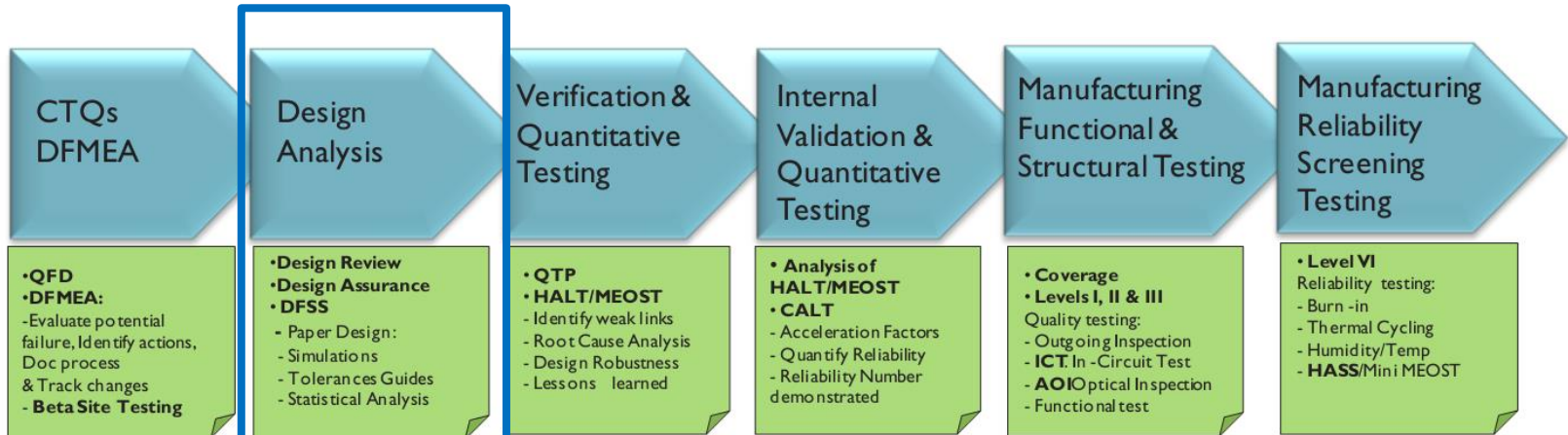
Détermination de la criticité

Plan d'action

Suivi des actions

Group/Union		ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE : A.M.D.E.C.						Références pièce :		Designation pièce :					
		AMDEC Produit <input type="checkbox"/>		AMDEC Processus <input checked="" type="checkbox"/>		Date :		Processus : Montage de l'ensemble		Client :					
		Participants :				Date :		Date de révision :		Date de lancement prévu :					
N°	Caractéristiques Système Processus	Défaillance potentielle	Effets potentiels du défaut	Causes potentielles du défaut	Etat actuel				Actions correctives préconisées	Responsable	Etat après corrections				
					Relevé	Classé	Détection	Index de Perte de Réseaux PIR			Approuvé	Classé	Détection	PIR	
1.	Montage lapide sur cove	Outil lapide	Mécanisme client	Erreur de montage	Mise en place détection	1	8	1	8						
	Façade mal déposée	Mécanisme client	Erreur montage	Contrôle tenue 100%	4	8	2	64							
2.	Mise en place ensemble pontefacade	Rayer la façade	Mécanisme client	Support non adapté, angles vifs	Support mouvé en place avec support	2	7	6	84						
3.	Monter ressort dans le cuve	Outil ressort	Mauvais fonctionnement	Erreur de montage	Mise en place détection	3	8	1	24						
	Ressort mal monté	Mauvais fonctionnement	Erreur de montage	Détection	2	8	1	16							
	Ressort monté vers le bas	Montage pour feu prévisible	Erreur de montage	Détection dans le support	2	8	1	16							

Modélisation de la fiabilité

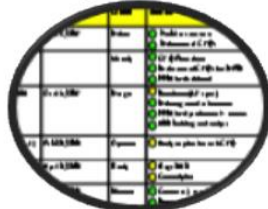


Voice of the Customer

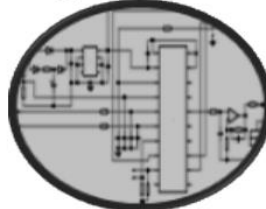
Design Verification

Time Compression

Manufacturing Test



Implementation Plans



Paper Design & Simulation



MEOST/HALT



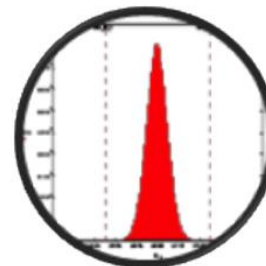
In-Circuit Test



Beta Site Testing



Design Reviews



Accelerated Software Profiles



Outgoing QC

Objectif : Mesurer la fiabilité d'un équipement par un modèle représentatif de l'architecture et des stratégies de tests périodiques et de maintenance.

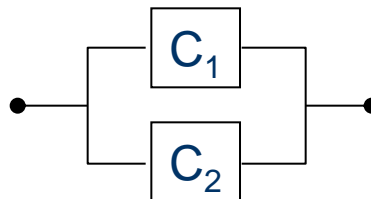
	Modèle	Conditions d'utilisation
BDF	<p>Diagram illustrating a Block Diagram of Failure (BDF) model. The system consists of components C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, and C_6. C_1 and C_2 are in parallel, followed by C_3 and C_4 in series, and C_5 and C_6 in parallel. Failure rates (λ) and repair rates (μ) are associated with each component.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Système simple et statique • Stratégie de maintenance simple (ressources infinies, tests périodiques constants, ...) • Valeurs de taux de défaillance (Fides, Mil HDBK, ...) et de réparation constants
RdP	<p>Diagram illustrating a Reliability Diagram (RdP) model. It shows a sequence of states and transitions between them, representing different failure and repair modes for components 1, 2, and 3. Labels include: Défaillance du composant 1 selon le mode 1, Défaillance du composant 2 selon le mode 2, Défaillance du composant 3 selon le mode 4, Défaillance du composant 2 selon le mode 3, and Défaillance du composant 2 selon le mode 4.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Système complexe et dynamique • Stratégie de maintenance complexe • Modèles de fiabilité et de maintenance complexes

Principe : représentation naturelle de la logique de fonctionnement proche du schéma fonctionnel.

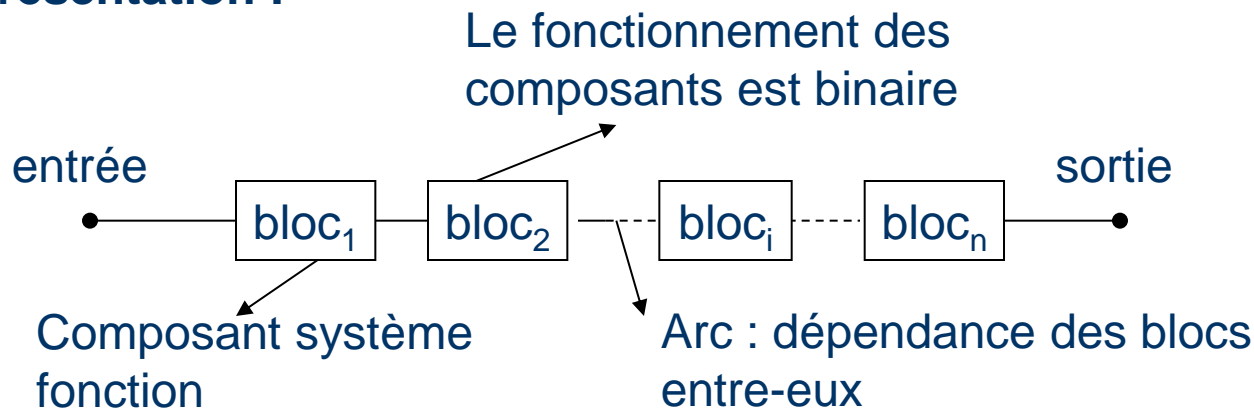
- Les blocs représentant des éléments (ou fonctions) dont la défaillance entraîne la défaillance du système sont placés en série :



- Les blocs représentant des éléments dont la défaillance ne provoque la défaillance du système qu'en combinaison avec d'autres sont placés en parallèle :

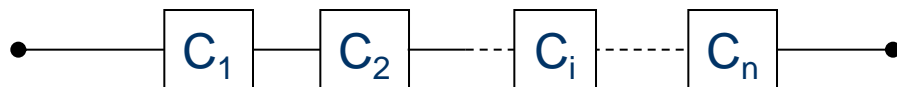


Représentation :

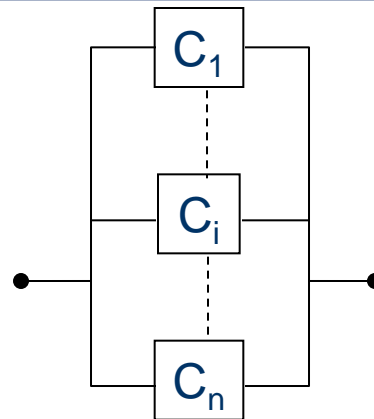




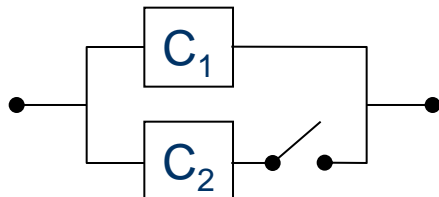
Système série



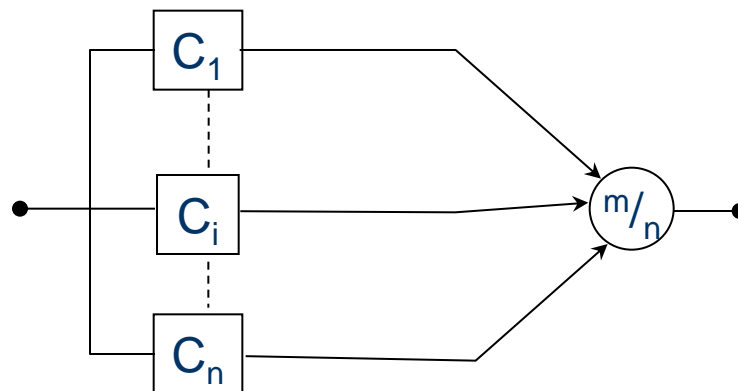
Système parallèle – redondance active



Système parallèle redondance passive



Système parallèle – k/n

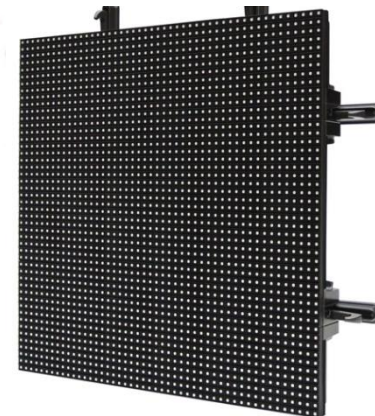


Equipement à étudier

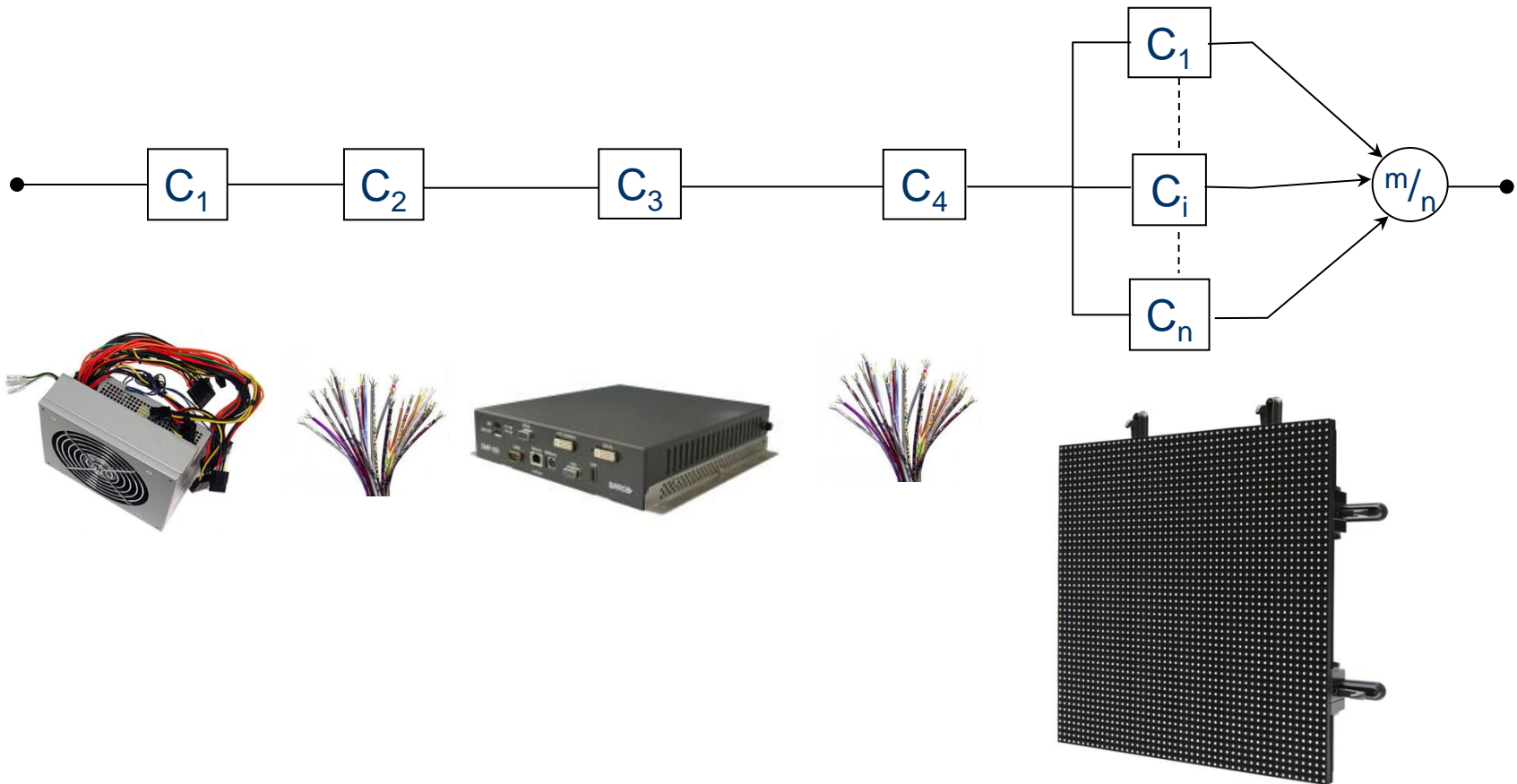


Panneau d'affichage

Sous-ensembles



Architecture de l'équipement





Collecte des λ dans le recueil FIDES

Profil de mission

Modèle général pour les LED

$$\lambda = \lambda_{\text{Physique}} \times \Pi_{\text{PM}} \times \Pi_{\text{Process}} \quad \text{avec :}$$

$$\lambda_{\text{Physique}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left(\frac{t_{\text{annuel}}}{8760} \right)_i \times \left(\begin{array}{l} \lambda_{0\text{TH}} \times \Pi_{\text{Thermique}} \\ + \lambda_{0\text{TCyBoitier}} \times \Pi_{\text{TCyBoitier}} \\ + \lambda_{0\text{TCyJoints brasés}} \times \Pi_{\text{TCyJoints brasés}} \\ + \lambda_{0\text{RH}} \times \Pi_{\text{RH}} \\ + \lambda_{0\text{Méca}} \times \Pi_{\text{Méca}} \end{array} \right) \times (\Pi_{\text{Induit}})_i$$

Taux de défaillance de base associés aux boîtiers

Courant Direct I_F maximal	CMS ou Traversant	Type de boîtier	Nombre de broche	$\lambda_{0\text{RH}}$	$\lambda_{0\text{TCy}}$ Boîtier	$\lambda_{0\text{TCy}}$ Joints brasés	$\lambda_{0\text{Mécanique}}$
$I_F < 150\text{mA}$	Traversant	T1-x	2 à 4	0,0034	0,0104	0,0520	0,0052
		High flux	4				
	CMS	Chip	2				
		PLCC	Mini 2				
			2				
			3				
			4				
			6				
		Rond	2			0,1560	0,0624
		LGA	2			0,2080	0,0832
$I_F \geq 150\text{mA}$	CMS	Plastique	Indifférent	0,0031	0,0042	0,3640	0,1820
		Céramique				0,1560	0,0624
		Plastique				0,3640	0,1820
		Céramique				0,0420	0,0064
						0,1470	0,0735

	jour	nuit
hiver	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT
printemps	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT
été	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT
Automne	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT	T°C, $\Delta H\%$ et ΔT

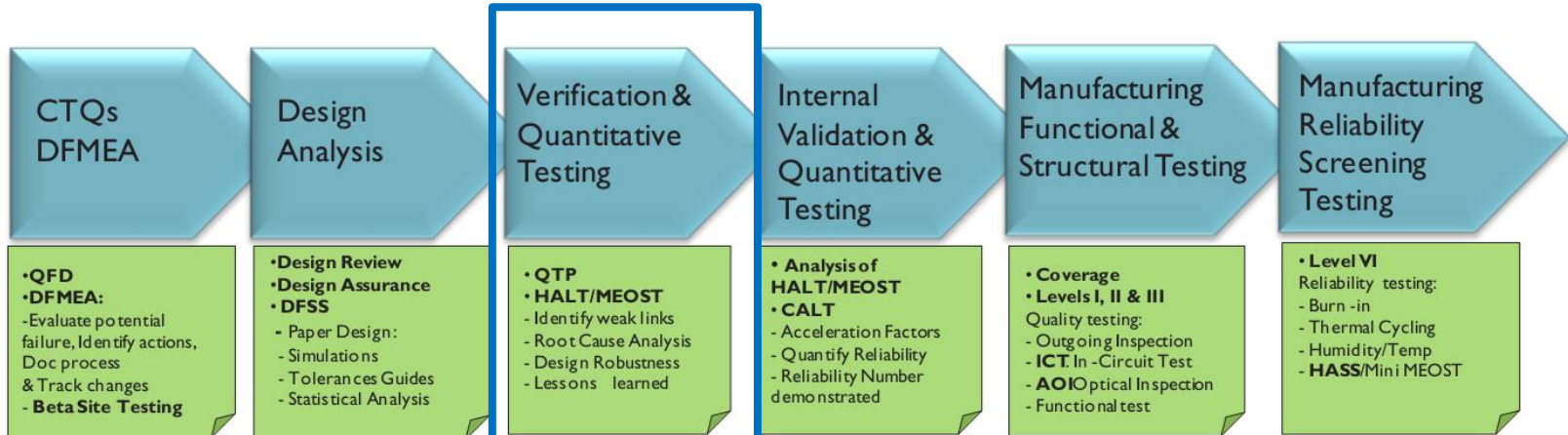
$\Pi_{\text{Thermique}}$	En phase de fonctionnement : $e^{11604 \times 0,4 \times \left[\frac{1}{293} \left(\frac{1}{T_J - \text{composant}} + 273 \right) \right]}$ En phase de non-fonctionnement : $\Pi_{\text{Thermique}} = 0$
$\Pi_{\text{TCy Boitier}}$	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy-annuel}}}{t_{\text{annuel}}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cycle}}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} \left(\frac{1}{T_{\text{max-cy}} + 273} \right) \right]}$
$\Pi_{\text{TCy Joints brasés}}$	$\left(\frac{12 \times N_{\text{cy-annuel}}}{t_{\text{annuel}}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{\text{cy}}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{cycle}}}{20} \right)^{1,9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} \left(\frac{1}{T_{\text{max-cy}} + 273} \right) \right]}$
$\Pi_{\text{Méca}}$	$\left(\frac{G_{\text{RMS}}}{0,5} \right)^{1,5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{\text{ambiante}}}{70} \right)^{4,4} \times e^{11604 \times 0,9 \times \left[\frac{1}{293} \left(\frac{1}{T_{\text{ambiante-cane}} + 273} \right) \right]}$ En phase de fonctionnement : $\Pi_{\text{RH}} = 0$



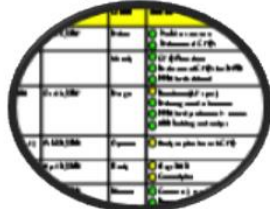
MTTF



Essais de robustesse



Voice of the Customer

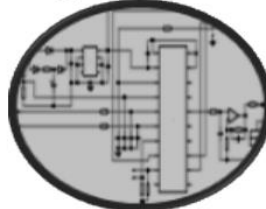


Implementation Plans



Beta Site Testing

Design Verification



Paper Design & Simulation

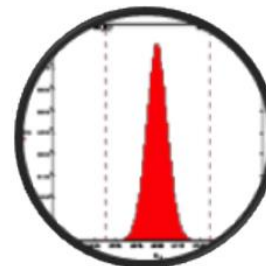


Design Reviews

Time Compression



MEOST/HALT



Accelerated Software Profiles

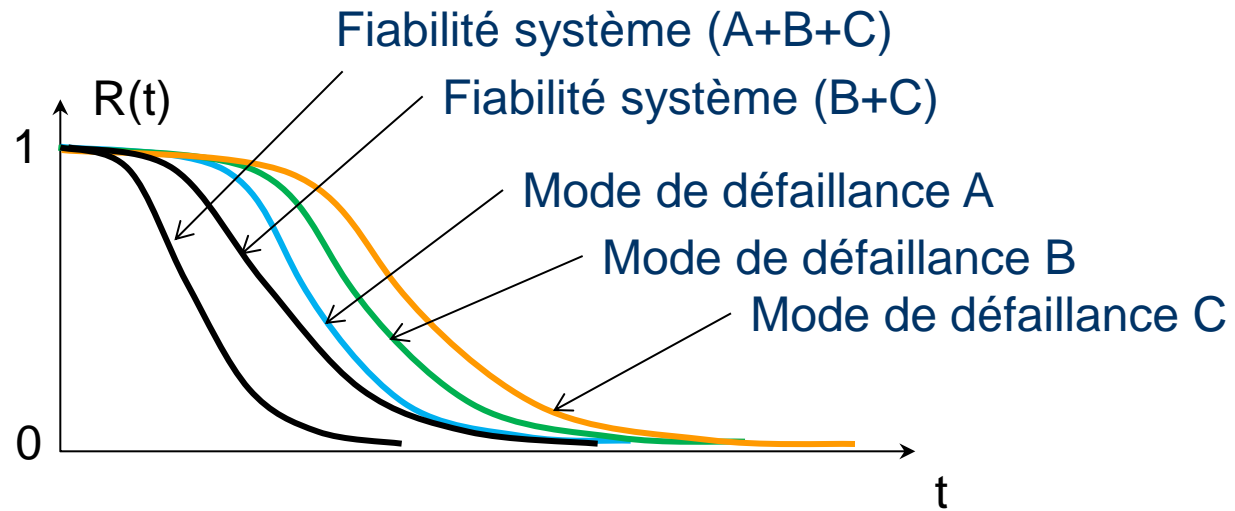
Manufacturing Test



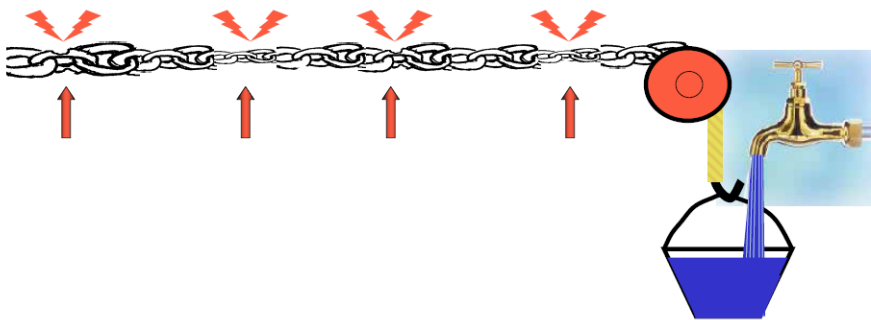
In-Circuit Test



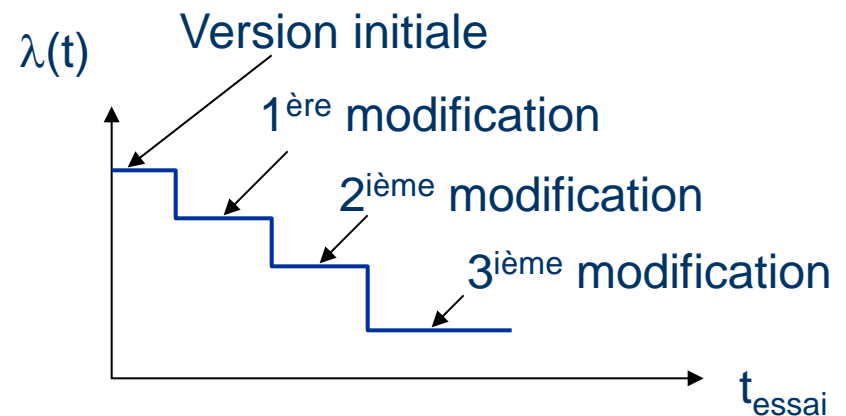
Outgoing QC



Essai aggravé (HALT)



Croissance de fiabilité



Les **essais aggravés (HALT)** consiste à **explorer le fonctionnement du produit** en test **au-delà de ses spécifications**.

Les stress thermiques et mécaniques seront appliqués sans tenir compte du profil de vie du produit. **Les essais aggravés n'ont pas pour objectif de simuler un environnement** pour vérifier le bon fonctionnement d'un équipement **mais celui de stimuler un produit** jusqu'à connaître ces limites de fonctionnement voir celles de destructions.

L'analyse des causes de défaillances et les actions correctives permettent de construire la robustesse d'un produit et éventuellement de dépasser les contraintes de son profil de vie pour encore augmenter sa fiabilité.

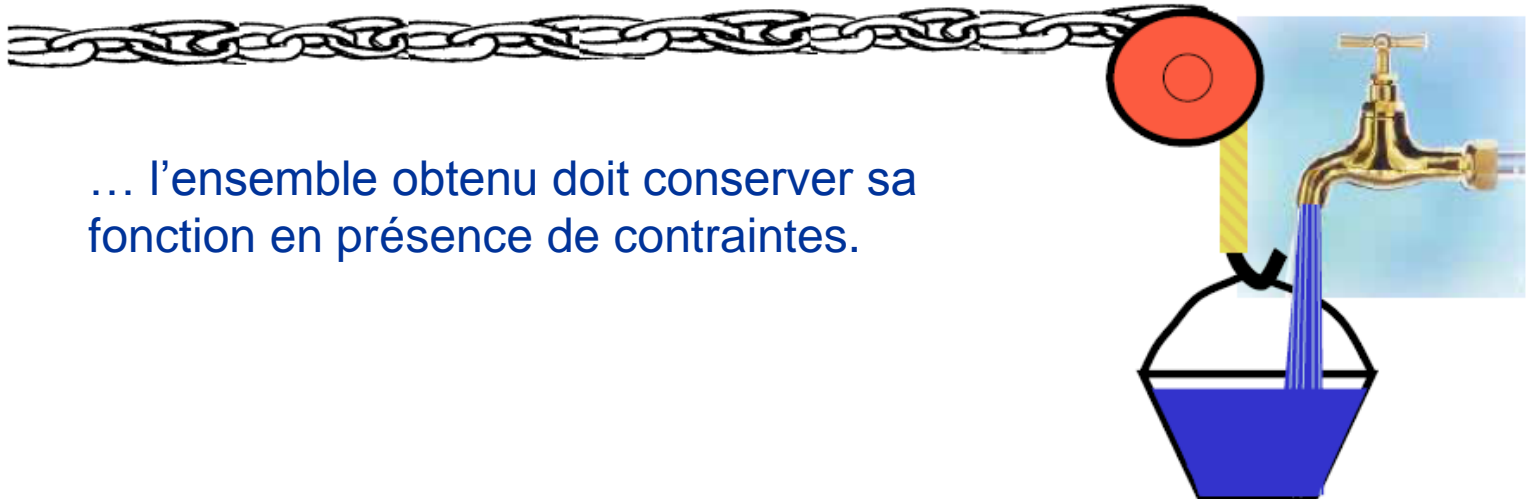
Les essais HALT s'adressent directement aux 3 sources de défaillances opérationnelles :

- **Défaut de fabrication**
- **Défaut composants**
- **Erreurs de conception**

(Source Daniel Goulet - Thalès)



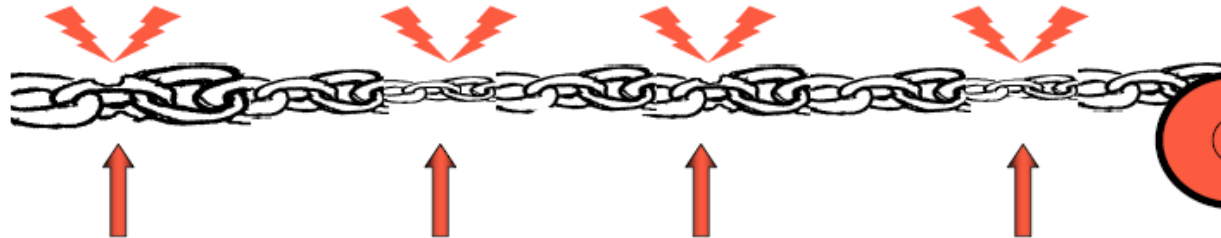
Un produit peut être représenté par une association d'éléments ...



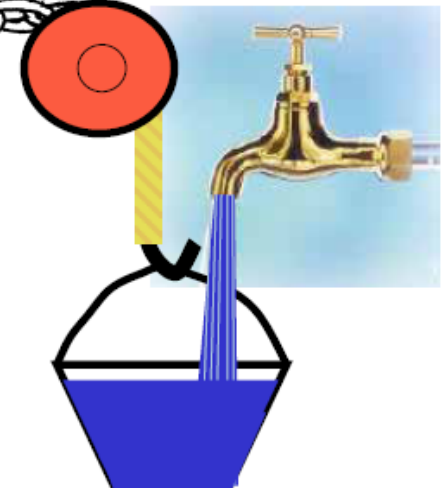
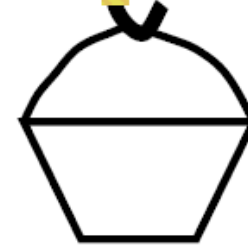
... l'ensemble obtenu doit conserver sa fonction en présence de contraintes.



Les éléments constituant le produit n'ont pas tous la même robustesse...



... il s'en suit des défaillances sous chargement qu'il faut analyser



2 types de défaillances sont mis en évidence :

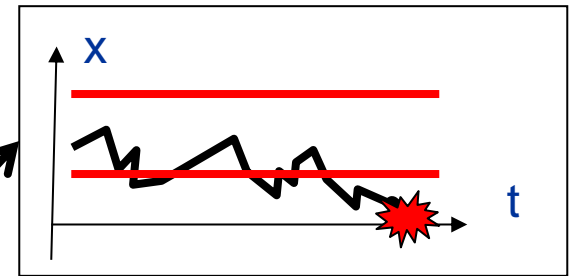
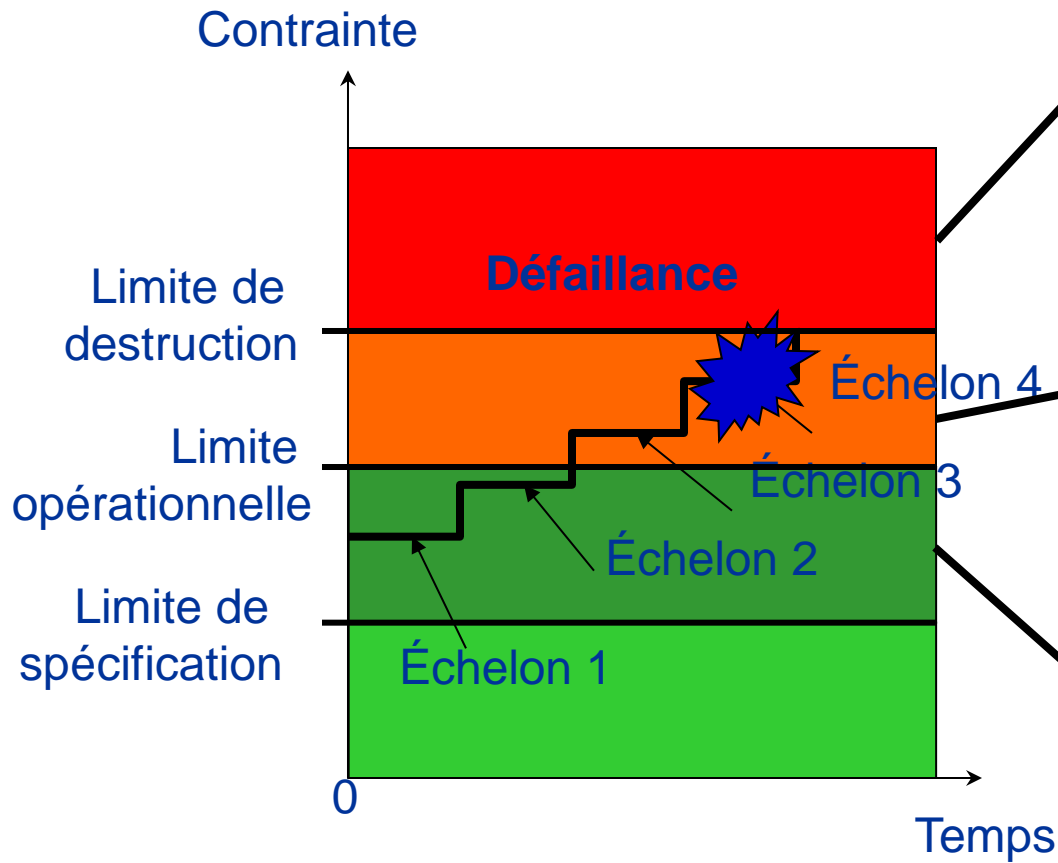
Défauts de conception :

- Dimensionnement
- Technologie

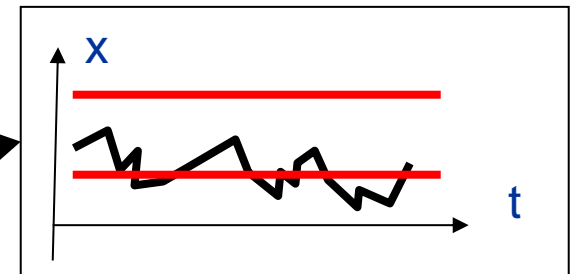


Défauts de fabrication :

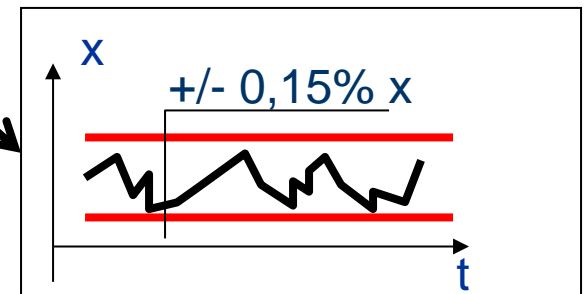
- composants
- Process



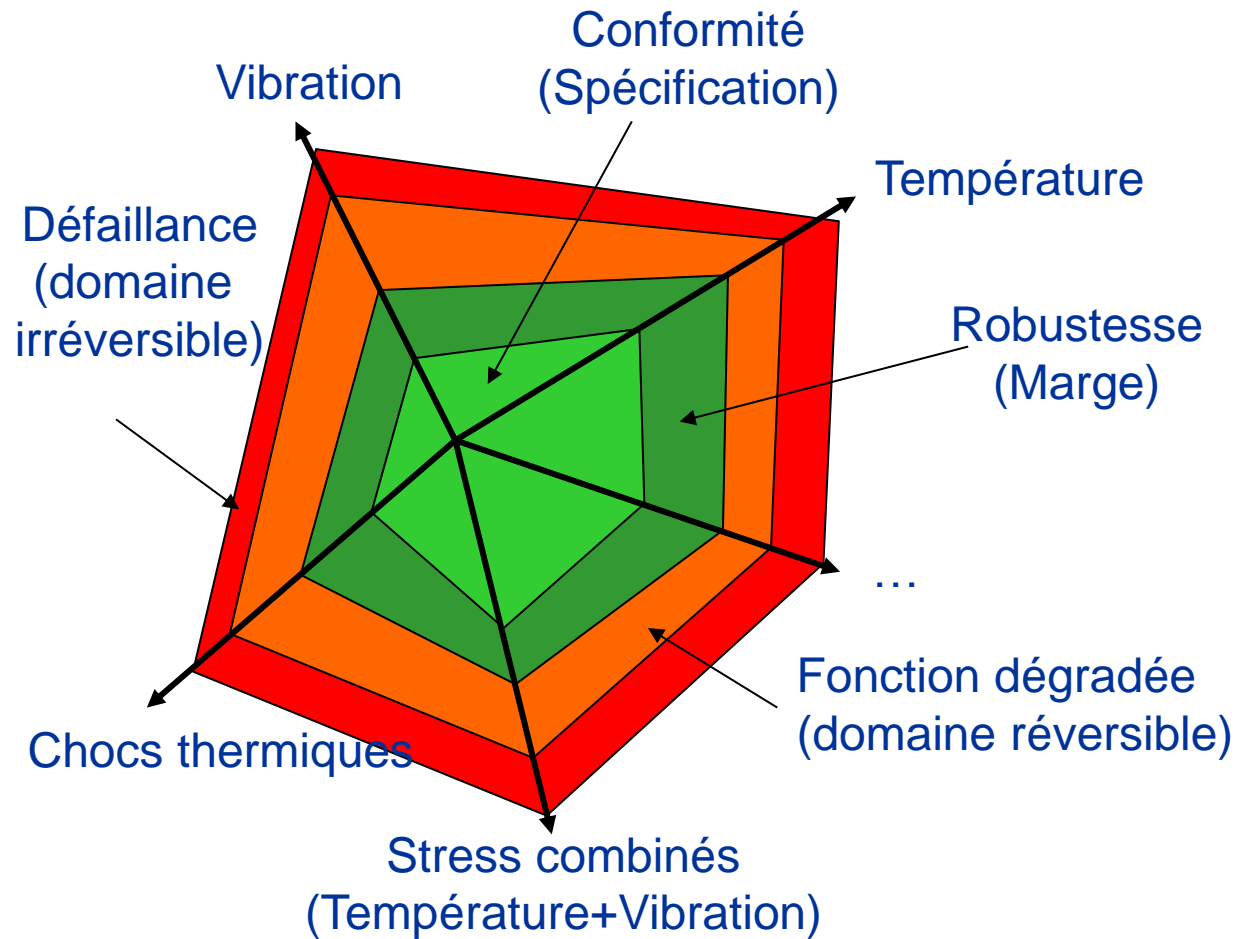
Défaillance irréversible



Défaillance réversible

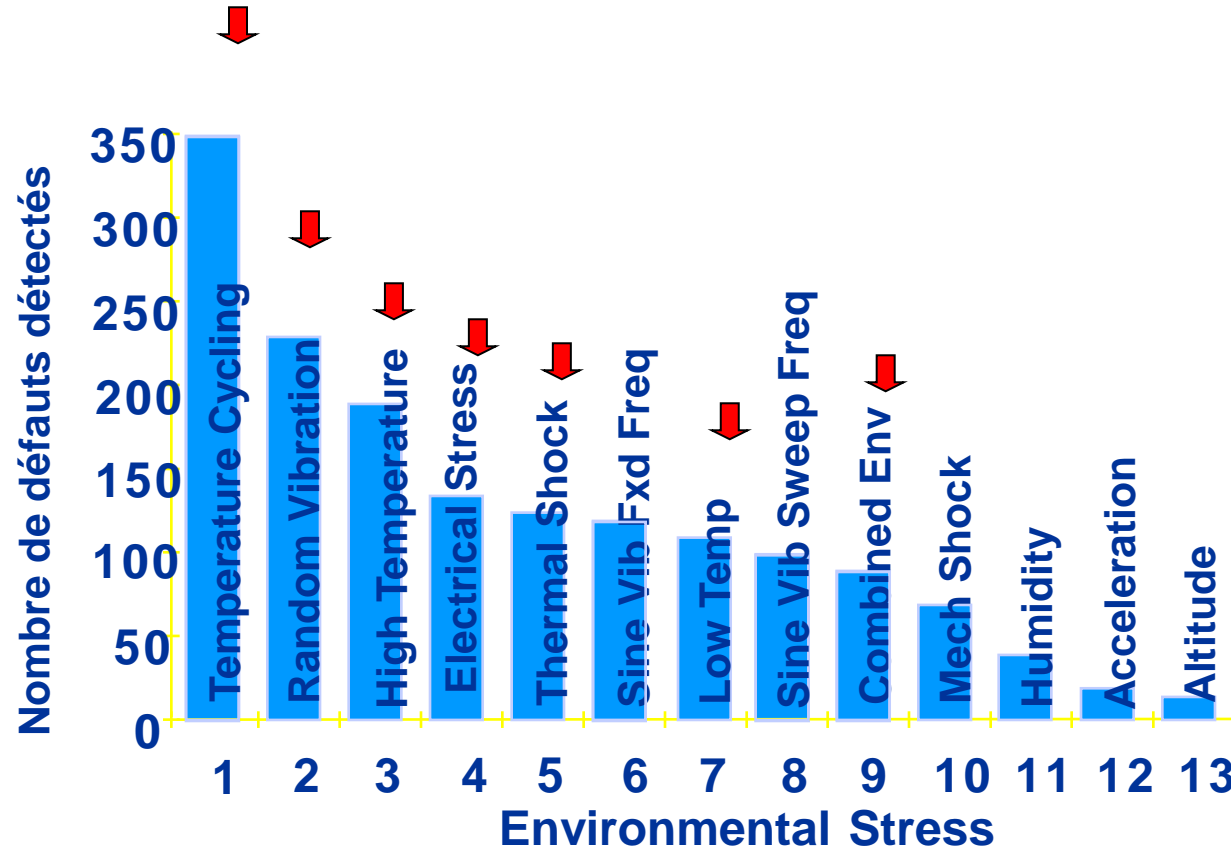


Fonctionnement normal





Efficacité et choix des stress (Source Qualmark)



Difficultés :

- nombre de produits suffisant
- analyse des défaillances
- concevoir le monitoring
- définir les spécifications

Le succès des essais aggravés réside dans :

- la découverte des faiblesses et les modifications apportées
- l'augmentation de la robustesse de la conception
- la connaissance des limites opérationnelles (utiles pour la définition du profil HASS)

Enceinte Climatique :

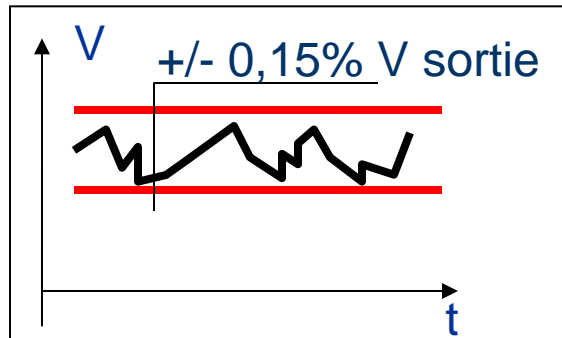
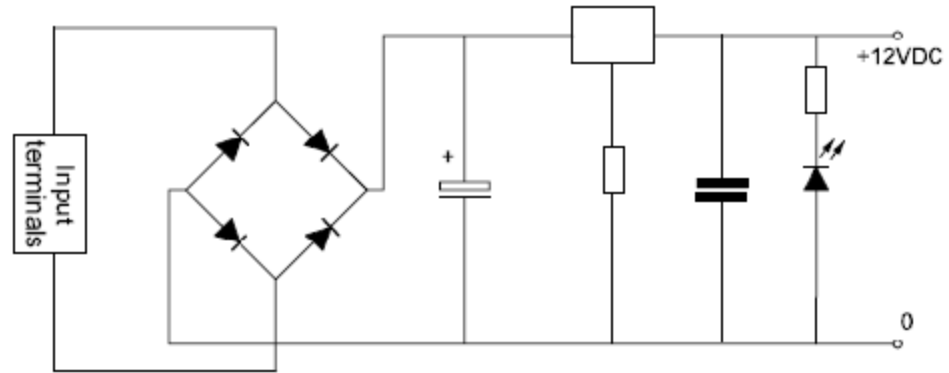
- Possibilité d'essais en température de -100°C à 200°C avec une vitesse de variation de température qui peut atteindre $60^{\circ}\text{C}/\text{mn}$
- Possibilité d'essais en vibration selon 6 degrés de liberté en simultané de 0 à 100 Grms avec une bande de fréquence allant de 2 Hz à 10 kHz
- Possibilité d'essais combinés en vibration et en température, d'essais de choc et de cycle thermique
- Le volume intérieur de l'enceinte climatique est supérieur à 2 m^3



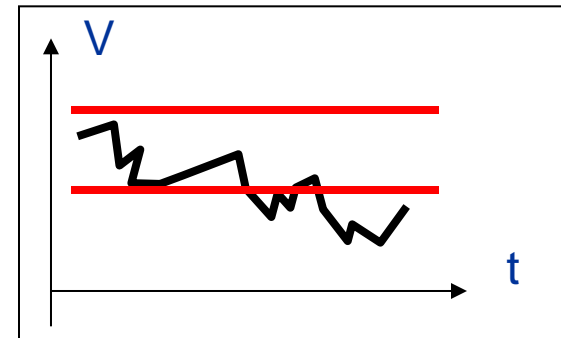
Instruments de mesure :

- Trois thermocouples de type T
- Un accéléromètre tri-axial (X, Y et Z) de sensibilité 5 mV/g fonctionnant sur une plage température située entre -54°C et 163°C

produits testés : Une alimentation 24V AC/12V DC (1A)

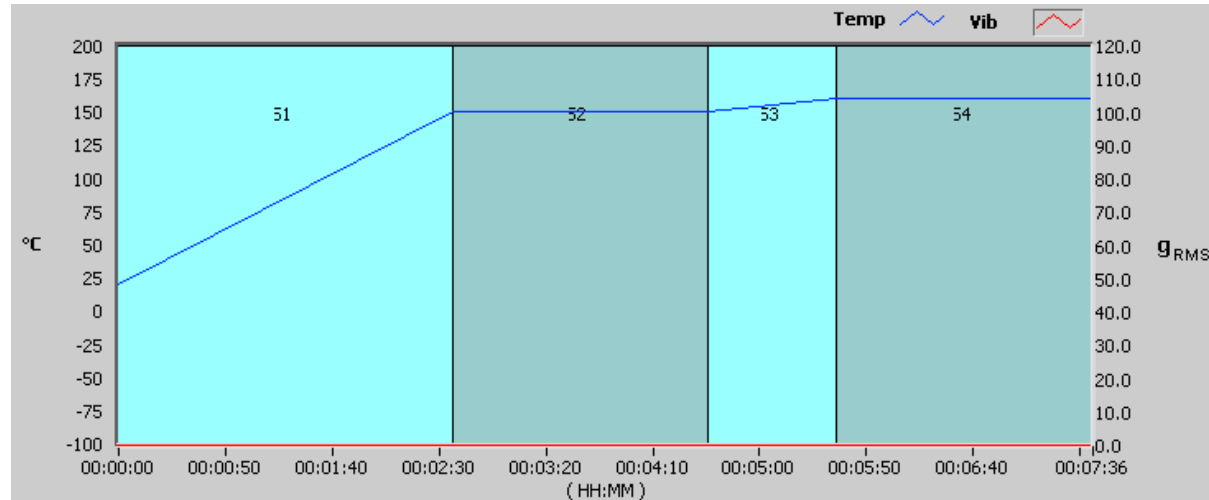


Fonctionnement normal

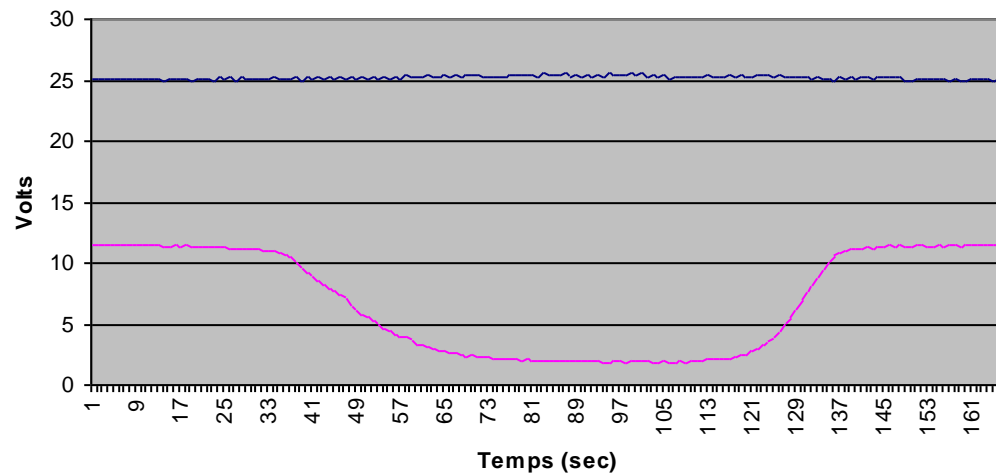


Défaillance

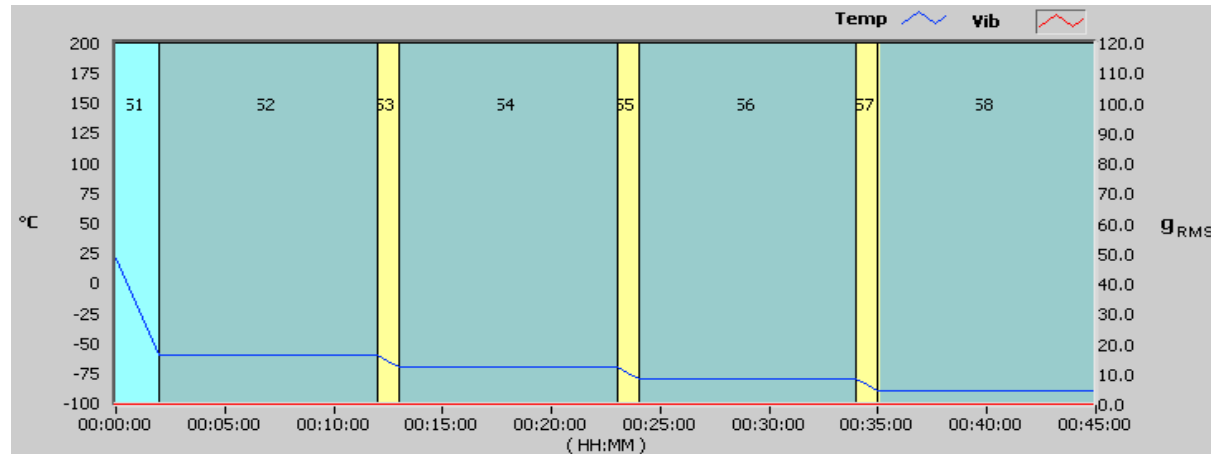
Profil d'essai en température haute



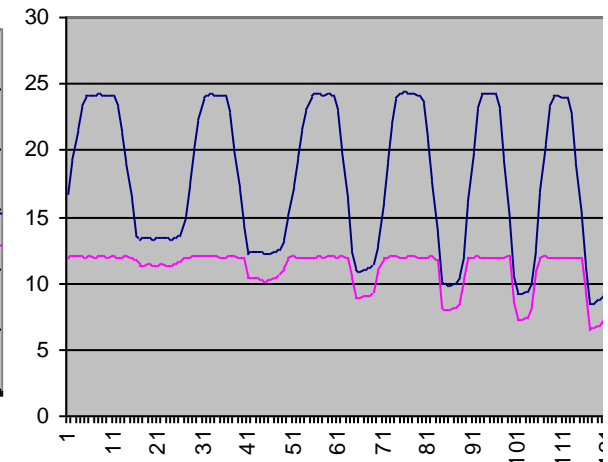
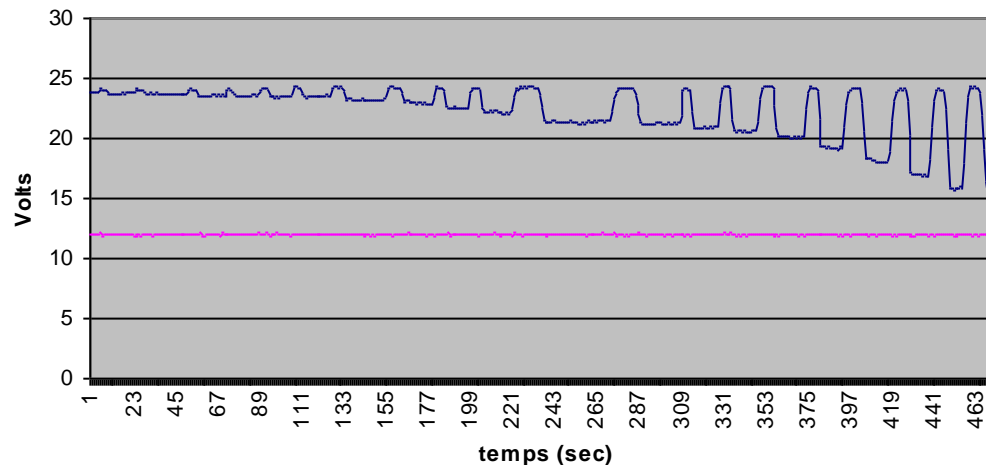
Monitoring des différentes fonctions



Profil d'essai en température basse

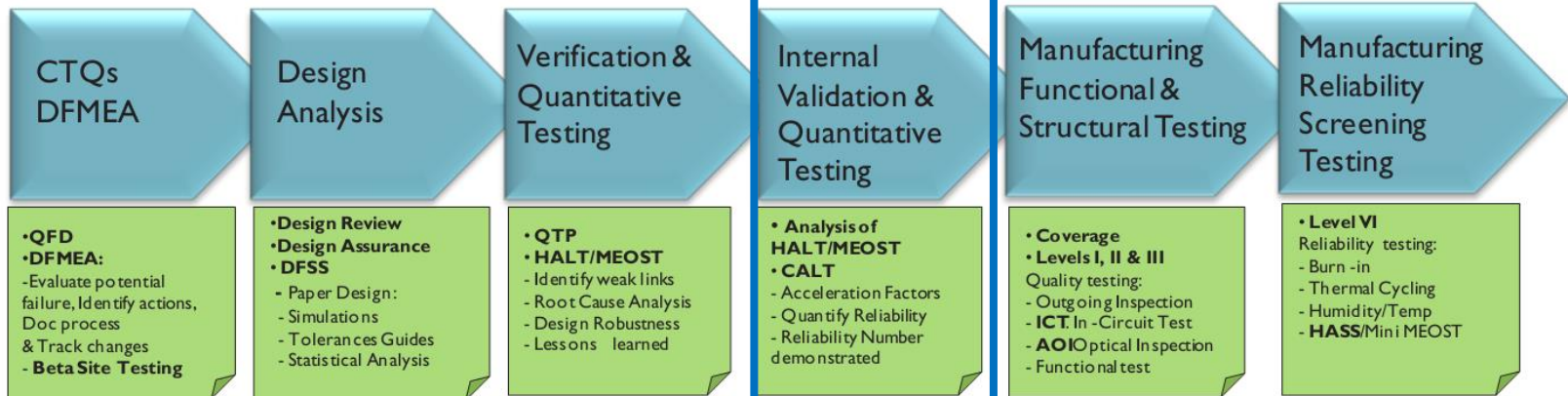


Monitoring des différentes fonctions

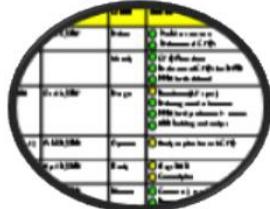




Essais de qualification



Voice of the Customer

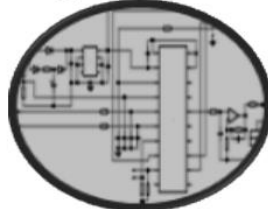


Implementation Plans



Beta Site Testing

Design Verification



Paper Design & Simulation

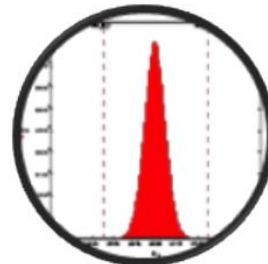


Design Reviews

Time Compression



MEOST/HAUT



Accelerated Software Profiles

Manufacturing Test



In-Circuit Test



Outgoing QC

Principe : • On soumet les produits dans les conditions d'utilisation et d'environnement spécifiées

• L'essai peut être complet ou censuré

Conditions : • L'essai fait l'objet d'une spécification contractuelle (JEDEC, Mil Std 883, ...).

• Mise à disposition de moyens d'essais

• Lots de produits suffisants

• Nécessité de faire un tri des défaillances imputables au produit et celles d'origine externe

Résultats attendus :

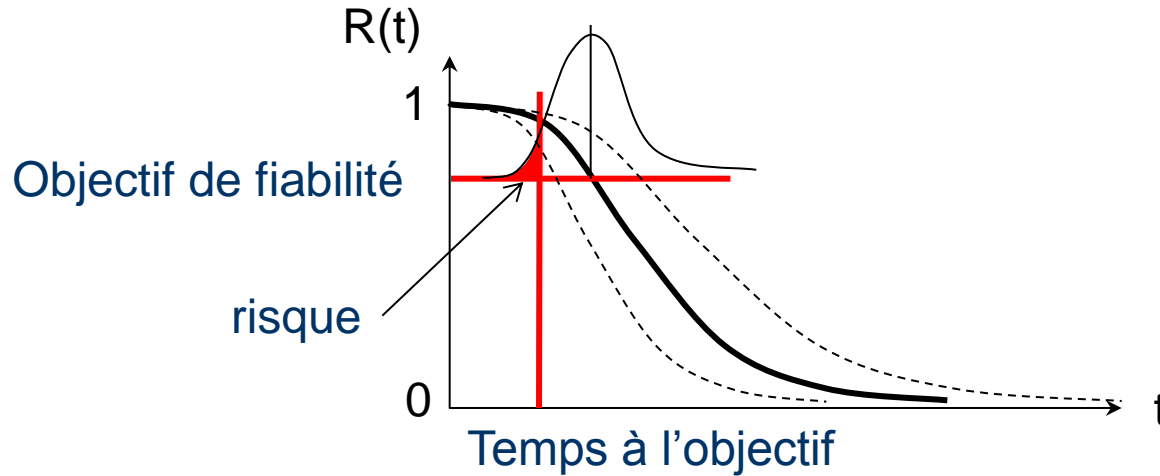
• Conformité de la fiabilité du produit avec la spécification contractuelle sinon reboucler sur :- les fournisseurs

- les process

- la conception

• Estimation des intervalles de confiance des paramètres de Sûreté de fonctionnement

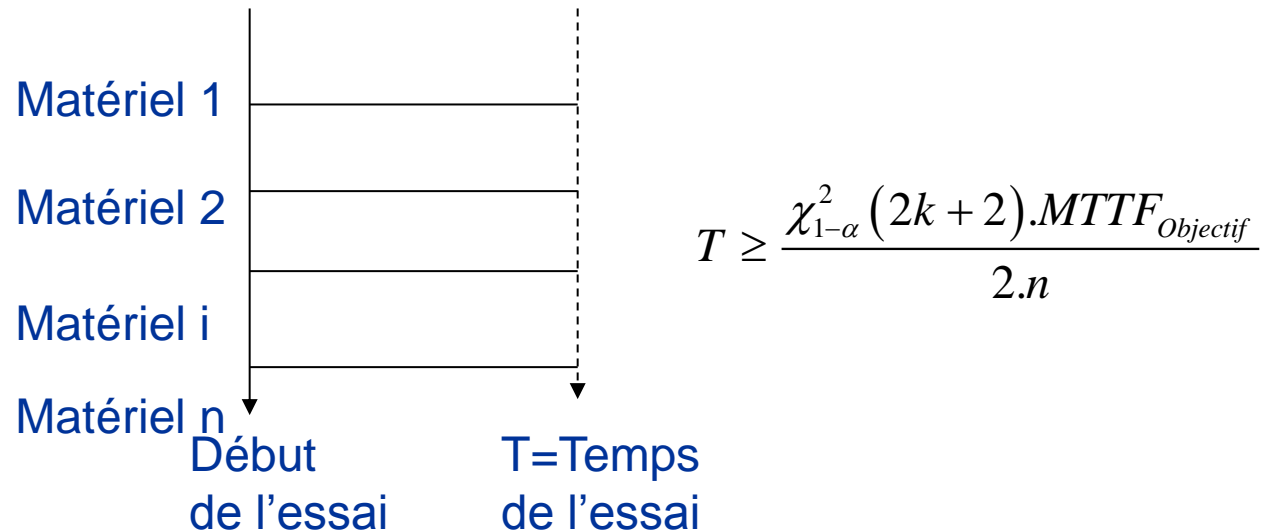
Objectif : mesurer la fiabilité du produit



Essai de démonstration	Essai d'endurance	Essai de dégradation
<p>Matériel 1</p> <p>Matériel 2</p> <p>Matériel i</p> <p>Matériel n</p> <p>Début de l'essai</p> <p>T=Temps de l'essai</p>	<p>Matériel 1</p> <p>Matériel 2</p> <p>Matériel i</p> <p>Matériel n</p> <p>Début de l'essai</p> <p>Fin de l'essai</p> <p>t_1</p> <p>t_{c2}</p> <p>t_i</p> <p>t_{cn}</p>	<p>y</p> <p>G</p> <p>t_1</p> <p>t_2</p> <p>t_n</p> <p>t</p>

Essai de démonstration : Vérification d'un objectif de fiabilité

Exemple d'un essai de vérification d'un objectif de MTTF



TEST	CONDITIONS	DURATION	STRESS FACTORS
Resistance to soldering heat (RTSH) JE S D22-A113	Convection soldering 260°C / 10 sec	3 runs	Temperature, chemicals, mechanical forces
Resistance to soldering heat (RTSH) JE S D22-A106	Wave soldering 260°C / 10 sec	3 runs	Temperature, chemicals, mechanical forces
Temperature & humidity bias (T&HB) JE S D22-A101	T = 85°C R.H. = 85% I _F = 5 mA/10 mA	1000 h	Temperature, humidity
Temperature cycle (TC) JE S D22-A104	-40°C/+100°C 15 min at extreme temps.	300/500/1000 cycles	Mechanical forces
Power temp. cycling (PTC) JE S D22-A105	-40/+85°C I _F = [max derating] t _{on/off} = 5 min	1000 h	Temperature, current, mechanical forces
Steady state life test (SSLT) JE S D22-A108	T = 25°C I _F = [max derating]	1000 h	Temperature, current
Steady state life test (SSLT) JE S D22-A108	T = 85°C I _F = [max derating]	1000 h	Temperature, current
Pulsed life test (PLT) JE S D22-A108	T = 25°C I _F = [max derating]	1000 h	Temperature, current
ESD JE S D22-A114	Human body model 2000 V	1 pulse per polarity direction.	Voltage

Table 1: Example reliability test matrix for OSRAM OS LED

Avec des échantillons de taille de 21 LEDs

Environmental Tests

TEST NAME	REFERENCE	TEST CONDITIONS	UNITS TESTED	UNITS FAILED
TEMPERATURE CYCLE	MIL-STD-883 METHOD 1010	-55°C TO 100°C, 15 MIN DWELL, 5 MIN TRANSFER, 20 CYCLES 100 CYCLES	23,130 12,210	0 0
TEMPERATURE CYCLE	MIL-STD-883 METHOD 1010	-40°C TO 120°C, 15 MIN DWELL, 5 MIN TRANSFER, 20 CYCLES 100 CYCLES	1,872 1,872	0 0
TEMPERATURE CYCLE	MIL-STD-883 METHOD 1010	-40°C TO 100°C, 15 MIN DWELL, < 10 SEC TRANSFER, 20 CYCLES 300 CYCLES	400 400	0 0
POWER TEMPERATURE CYCLE	INTERNAL REFERENCE	-40°C TO 85°C, 18 MIN DWELL, 42 MIN TRANSFER, 50 MA, 5 MIN. ON/OFF 20 CYCLES	1,344	0
HUMIDITY LIFE	INTERNAL REFERENCE	85°C, 85% RH, 45 MA, 1000 HOURS	1,036	0
HUMIDITY LIFE	INTERNAL REFERENCE	85°C, 85% RH, 5V RB, 1000 HOURS	192	0
RESISTANCE TO SOLVENTS	MIL-STD-750 METHOD 1022	ISOPROPYL ALCOHOL/MINERAL SPIRIT SOLUTION @ 25°C +/- 5°C, SKYSOL 600 @ 32°C +/- 5°C, DOWANOL/MONOETHANOLAMINE @ 63-70°C	22	0
CORROSION SALT ATMOSPHERE	MIL-STD-883 METHOD 1009	35°C, 48 HOURS	14	0

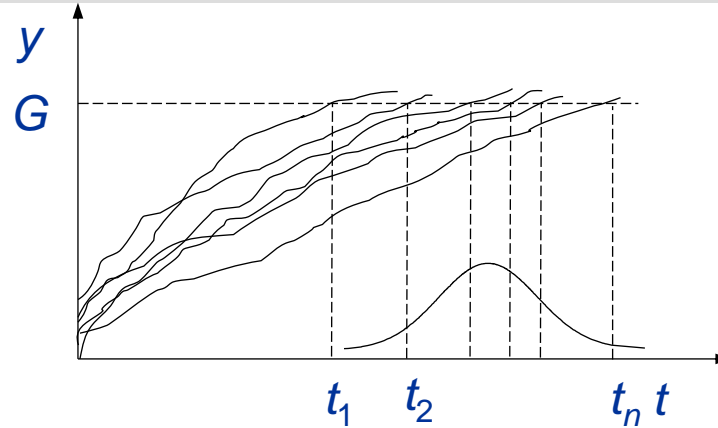
Essai de démonstration :

$$T \geq \frac{\chi^2_{1-\alpha} (2k + 2) . MTTF_{Objectif}}{2.n}$$

On a :

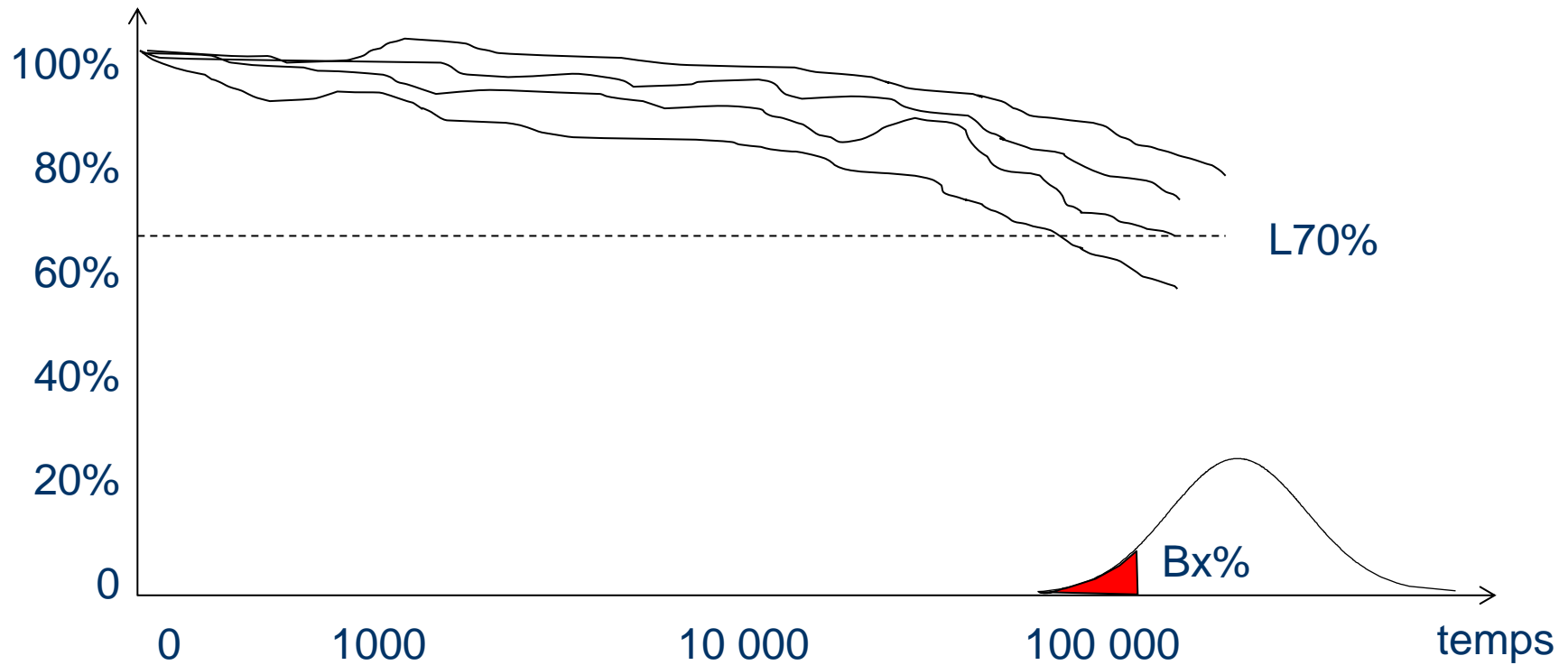
- k= 0
- n = 192
- T = 1000 h
- α = 10%

D'où $MTTF_{objectif} = 83385$ h



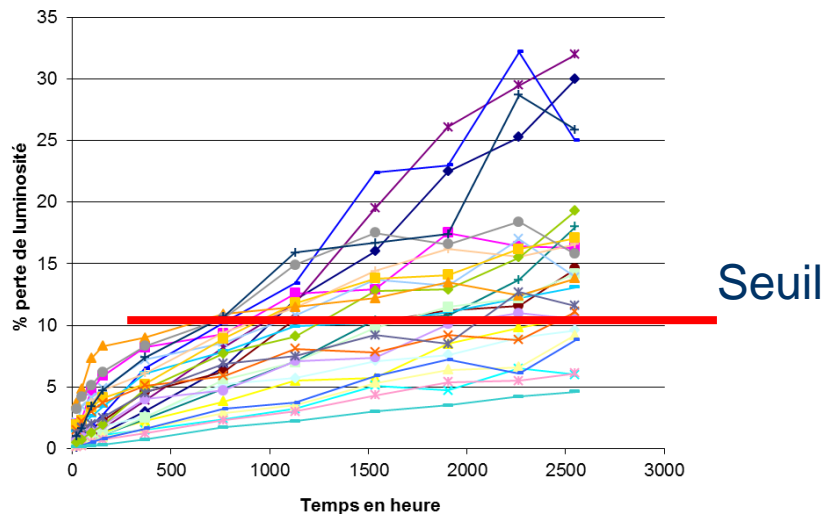
- Principe :**
1. Un échantillon de produits ($i=1, \dots, n$) est testé et périodiquement la dégradation y_{ij} ($j=1, \dots, m_i$) est mesurée.
 2. La défaillance est déclarée lorsque la dégradation dépasse un seuil critique G .
 3. Chaque processus de dégradation est modélisé par un des modèles suivants :
 - $y(t) = g(t; \beta_1, \beta_2) = \beta_1 + \beta_2 t$
 - $y(t) = a e^{bx}$ (ou $\ln(y(t)) = \ln(a) + b \cdot t$)
 - $y(t) = a b^x$ (ou $\ln(y(t)) = \ln(a) + \ln(b) \cdot t$)
 - $y(t) = a + b \cdot \ln(t)$
 4. La distribution des pseudo durées de vie ($t = \{t_1, \dots, t_n\}$) est caractérisée à partir des temps de franchissement du seuil critique G estimés à l'aide des modèles précédents

$$(t_i = g^{-1}(G; \beta_1, \beta_2))$$





Mesure de la perte de luminosité



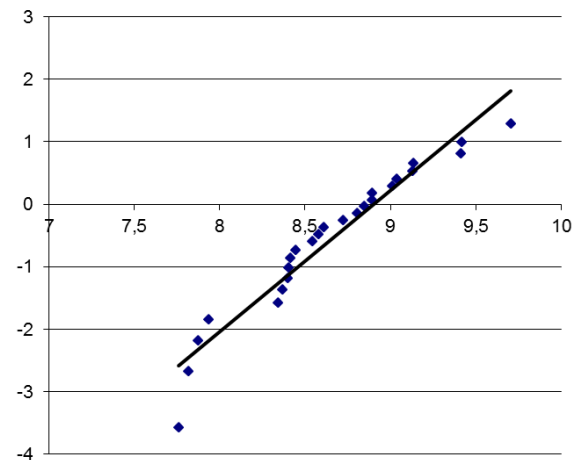
Droite de Weibull

Défaillance déclarée lorsque perte de luminosité de L70% :

$$T = \{t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_n\}$$

$$F = \{F_0, F_1, \dots, F_i, \dots, F_n\} \text{ avec } F_i = \frac{i}{n}$$

Droite de Weibull



$$W(\beta, \eta) = W(2,25 ; 7369,6 \text{ heures})$$

Coût d'une campagne d'essais :

$$\text{Coût} = f(nT) \quad \begin{array}{l} n : \text{nombre d'essai} \\ T : \text{temps d'un essai} \end{array}$$

Objectif industriel : Réduire les coûts

- {

Réduction de la taille d'échantillon ➡ Essai bayésien

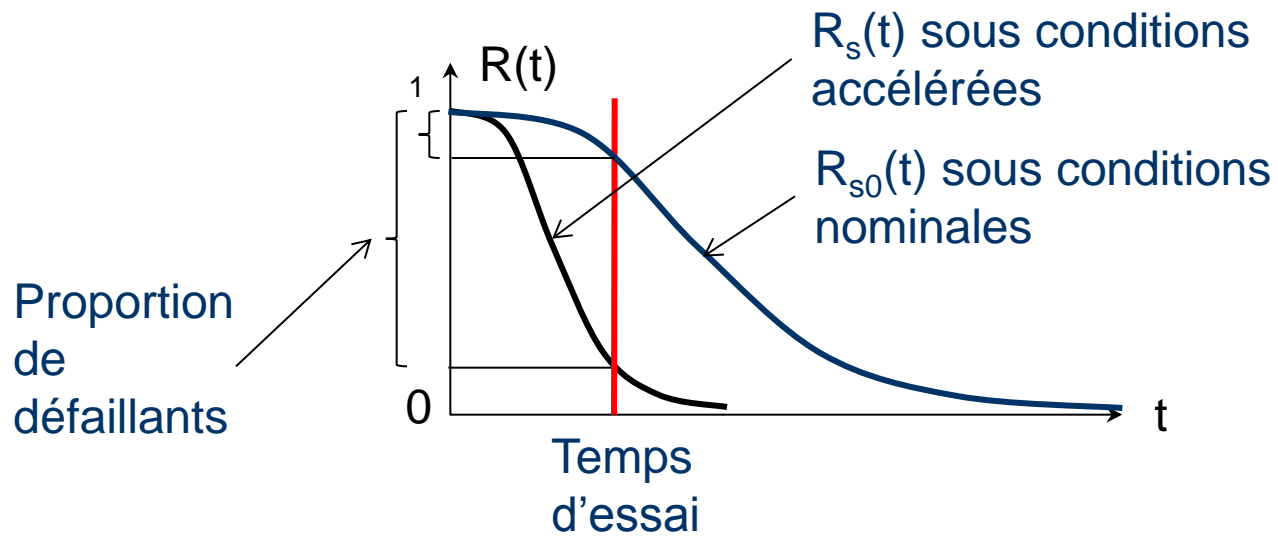
Réduction du temps d'essai ➡ Essai accéléré



Essais Accélérés

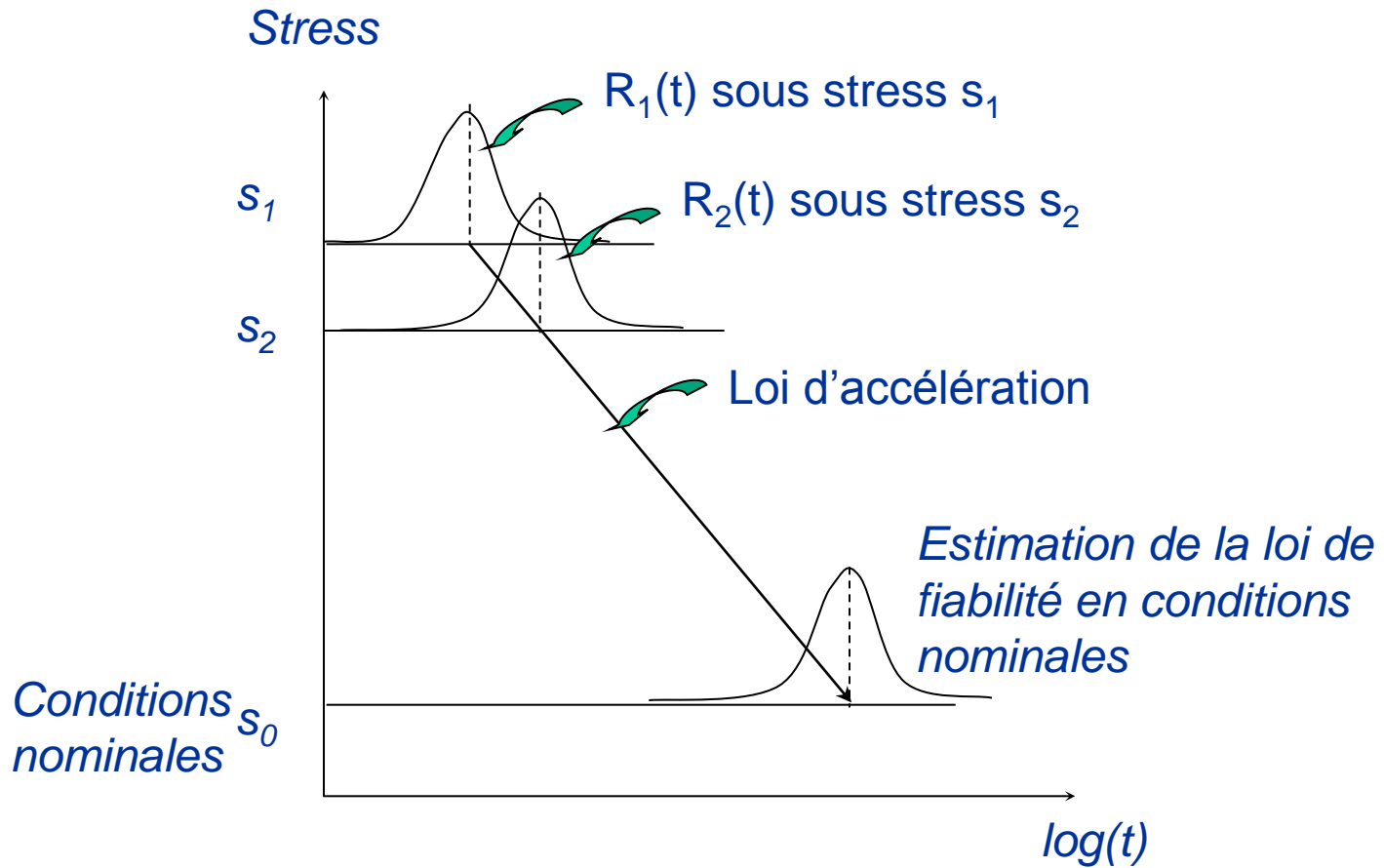


Essais accélérés : réduire les temps d'essais





Principe



Principe : Soumettre le produit à des sollicitations d'utilisation ou d'environnement amplifiées



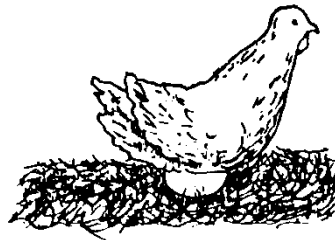
- d'accélérer les mécanismes d'endommagement
- de réduire la durée nécessaire pour estimer certaines caractéristiques comportementales du produit dans les conditions normales d'emploi

- Conditions :**
- Connaître le modèle analytique reliant la vitesse de dégradation à l'amplitude des sollicitations appliquées.
 - Connaître la valeur des paramètres intervenant dans ces modèles (ex : énergie d'activation)



Les mécanismes de défaillances provoqués doivent être représentatifs des conditions normales d'emploi

1 NORMAL PROCESS

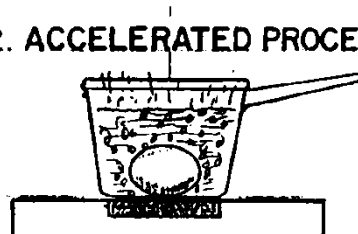


HEAT EGG FOR 21 DAYS
AT 102°F

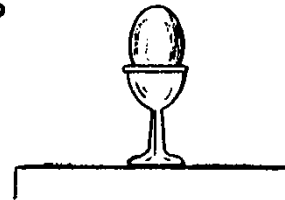


RESULT : CHICKEN

2. ACCELERATED PROCESS



HEAT EGG FOR 10 MIN.
AT 200°F



RESULT : BOILED EGG

3. DELAYED PROCESS



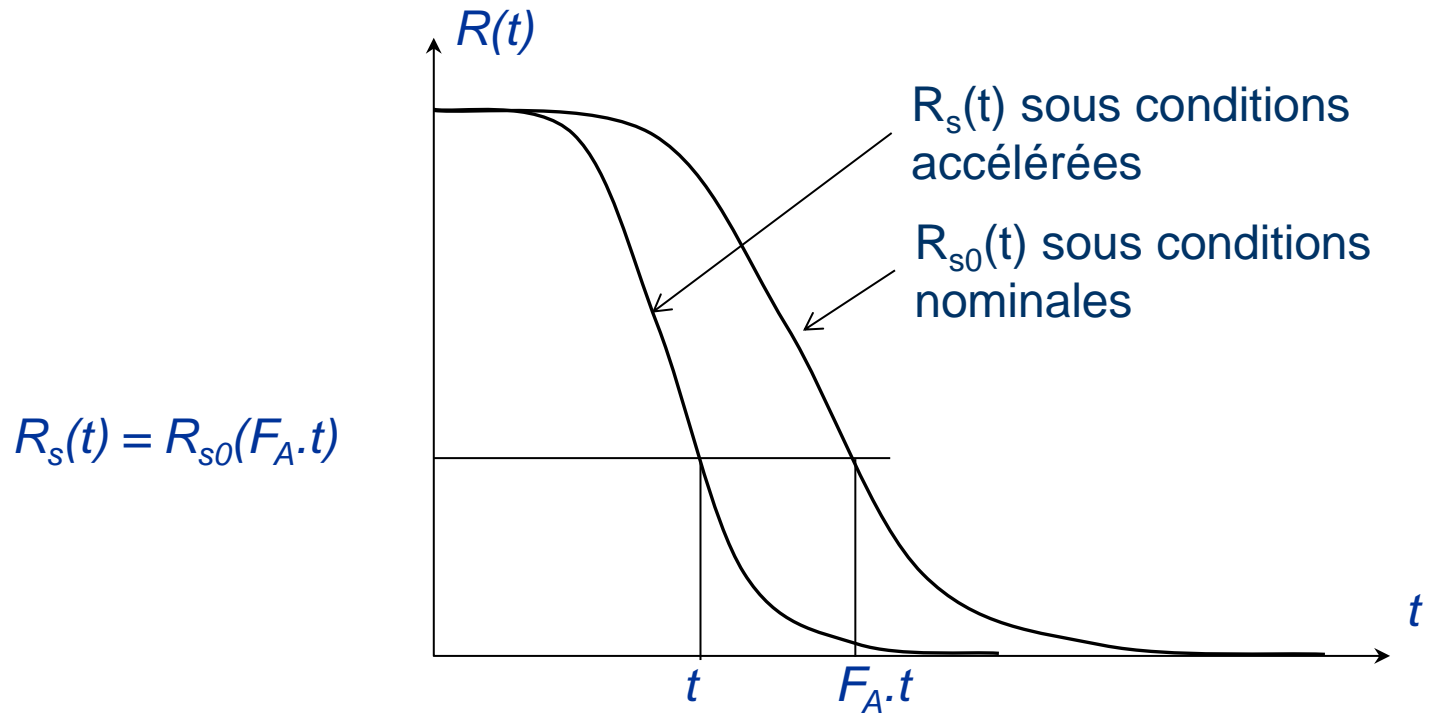
LEAVE EGG AT ROOM
TEMPERATURE FOR 1 YEAR



RESULT :
ROTTEN EGG.



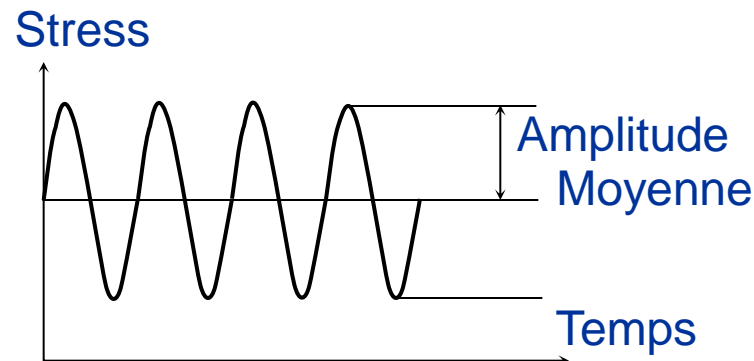
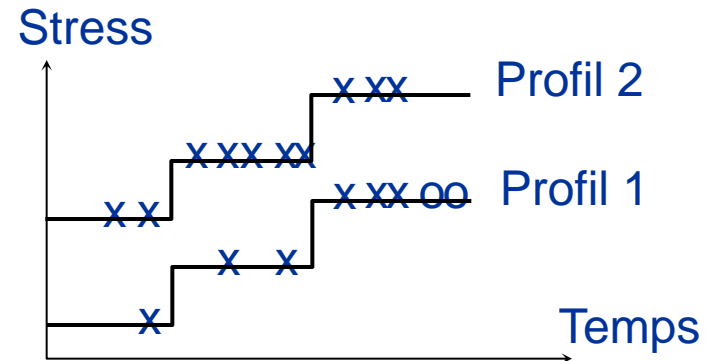
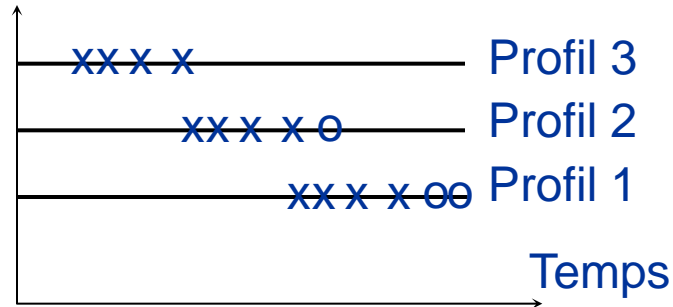
Le principe de l'analyse :





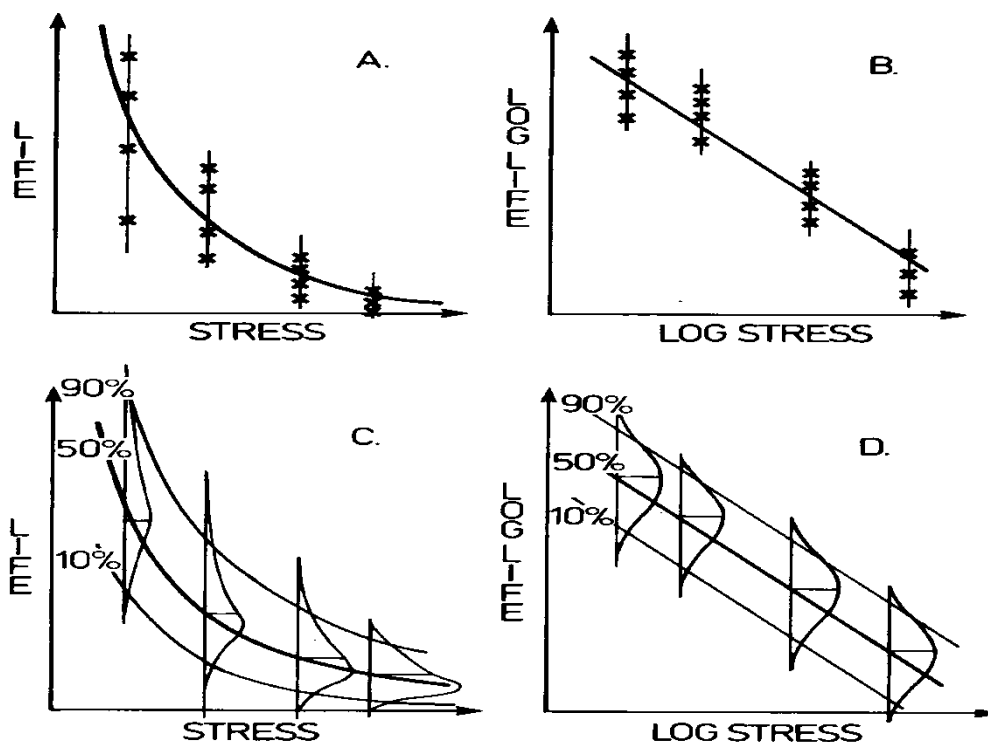
Les choix à faire :

1. Paramètres de sévérisation (température, humidité, chargement mécanique, tension électrique, ...)

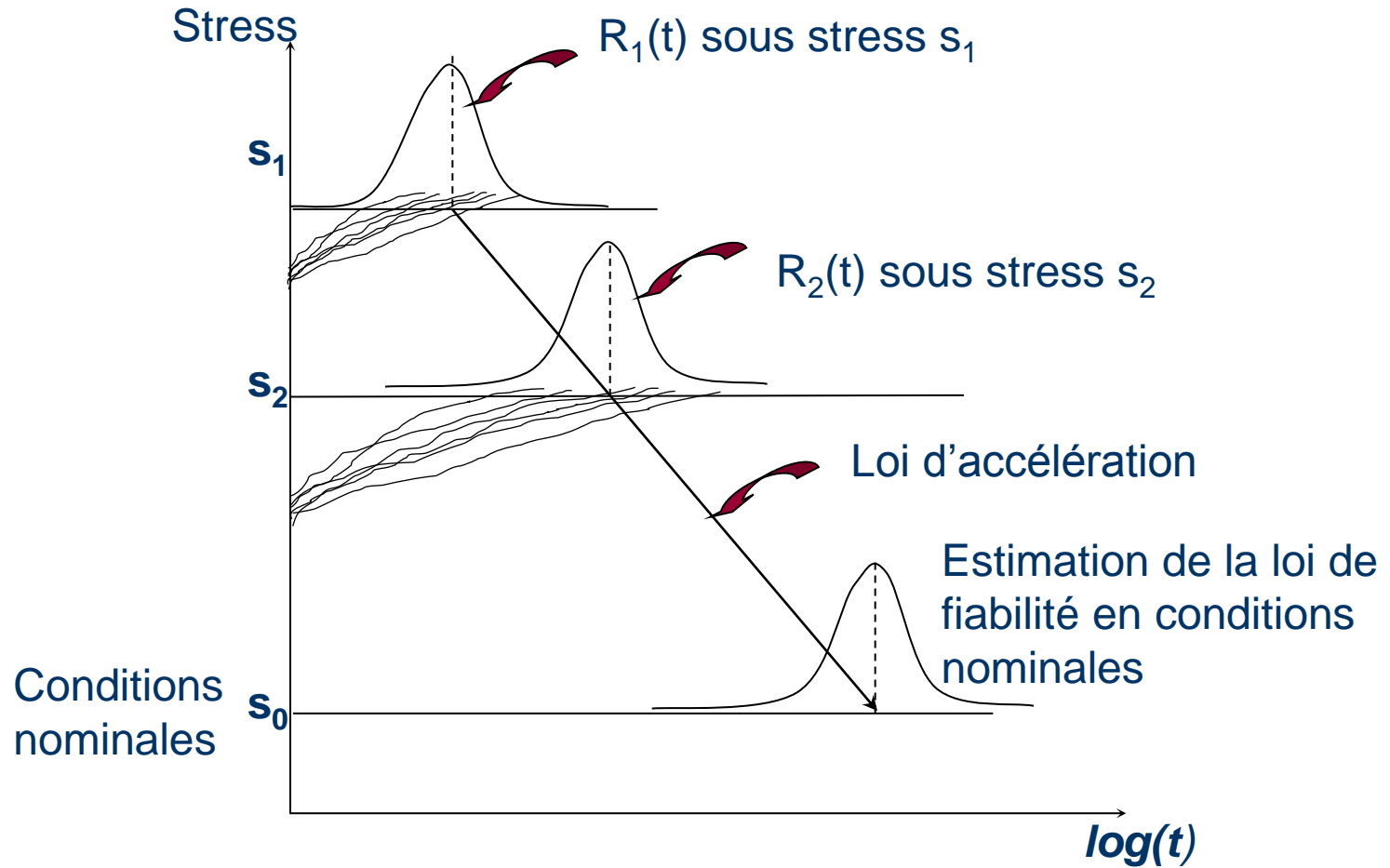


Les choix à faire (suite) :

- Loi d'accélération permettant le passage des conditions sévÉRisées à celles nominales (en intégrant le ou les paramètres de sévérisation)



- Distribution statistique des durées de vie (même type en conditions sévérisées et normales)



Applications :

Loi utilisée lorsque le mécanisme d'endommagement est sensible à un stress particulier.

Exemples d'application :

- diélectrique
- roulement à billes ou rouleaux
- composants opto-électroniques
- filament de lampe incandescente
- composants mécaniques soumis à la fatigue

Loi de puissance inverse :

Loi décrivant la cinétique d'une dégradation sous stress constant V .

$$\tau(V) = \left(\frac{A}{V} \right)^{\gamma_1}$$

V : stress constant

A et γ_1 : constantes dépendantes de la défaillance et de l'essai

Transformation logarithmique : $\ln(\tau(V)) = \gamma_1 \ln(A) - \gamma_1 \ln(V) = \gamma_0 - \gamma_1 \ln(V)$

$$= \gamma_0 + \gamma_1 x \quad \text{avec } x = -\ln(V)$$

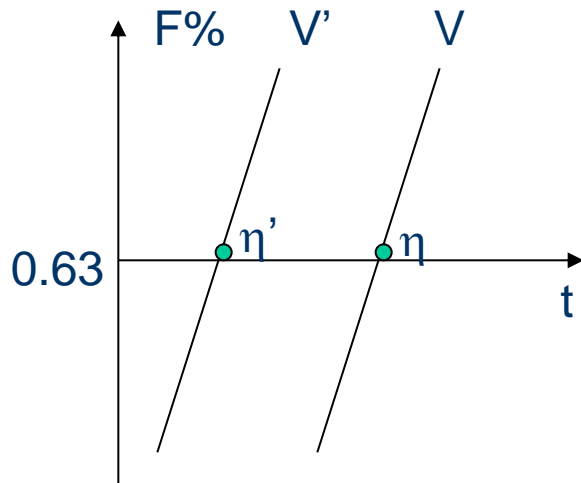
Hypothèses :

- Pour un stress constant V , la durée de vie d'un produit est décrite par une distribution de Weibull

- Le paramètre de forme b est constant et indépendant de V

- Le paramètre d'échelle h est décrit par :
$$\eta(V) = \frac{e^{\gamma_0}}{V^{\gamma_1}}$$

Estimation de γ_0 et γ_1 :



$$\begin{cases} \ln(\eta') = \gamma_0 - \gamma_1 \ln(V') \\ \ln(\eta) = \gamma_0 - \gamma_1 \ln(V) \end{cases}$$



$$\gamma_1 = \frac{\ln\left(\frac{\eta'}{\eta}\right)}{\ln\left(\frac{V}{V'}\right)}$$

$$\gamma_0 = \ln(\eta) + \gamma_1 \ln(V)$$

Estimation de la fiabilité :
$$R(t, V) = e^{-\left(\frac{t}{\eta(V)}\right)^\beta}$$
 avec
$$\eta(V) = \frac{e^{\gamma_0}}{V^{\gamma_1}}$$

Dégradation mesurée



Mesure de la
perte de
luminosité

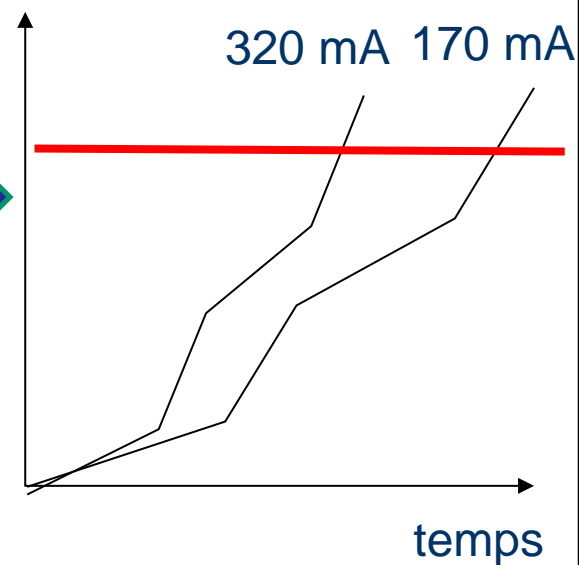
Alimentation

Sévérisation des essais



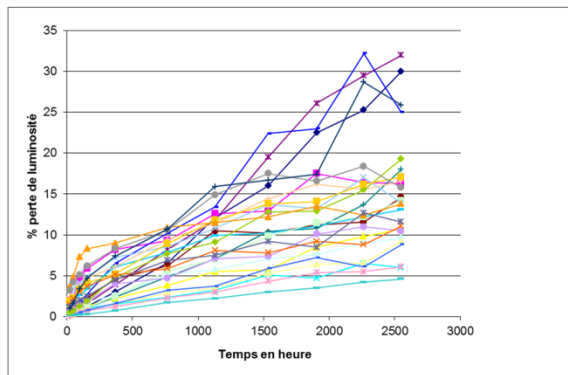
Alimentation
(170 mA et 320 mA)

Dégradation en %

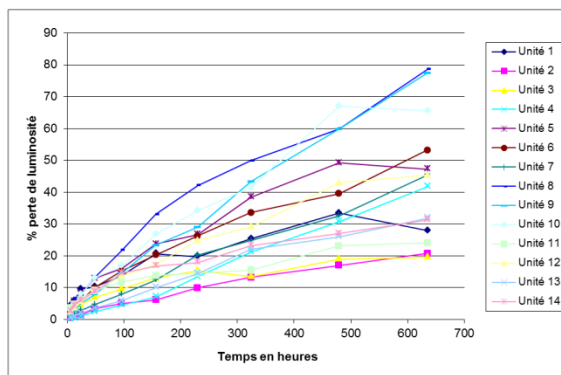


Principe de l'analyse

Essai à 170 mA



Essai à 320 mA

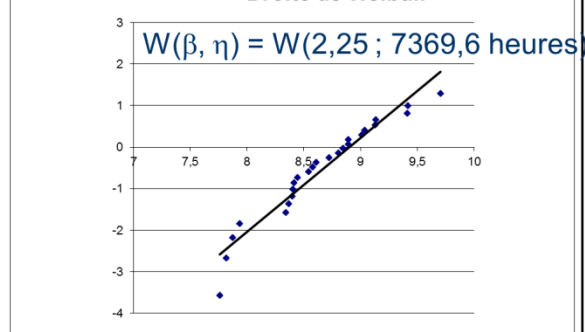


Hypothèses

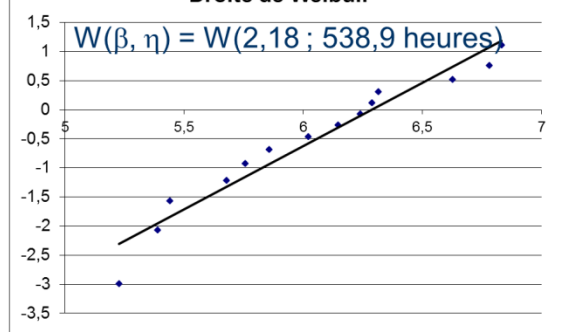
- Analyse par des trajectoires linéaires
- Seuil critique de perte de luminosité à 30%

Analyse de fiabilité

Droite de Weibull



Droite de Weibull



- Estimation des pseudo-instants de défaillance à 30% de dégradation
- Analyse des pseudo-instants selon des lois de fiabilité de Weibull

Estimation de la loi de fiabilité en condition nominale

Hypothèse sur la loi d'accélération :
Puissance Inverse

$$\eta(I_{mA}) = \frac{A}{(I_{mA})^B}$$

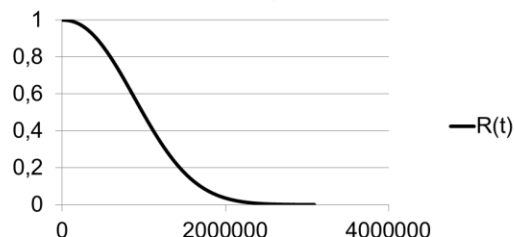
Estimation des paramètres à partir des résultats

- $A=1,23 \cdot 10^{13}$
- $B=4,135$
- $\beta=2,21$

Estimation de la loi de fiabilité pour une Intensité $I=50$ mA

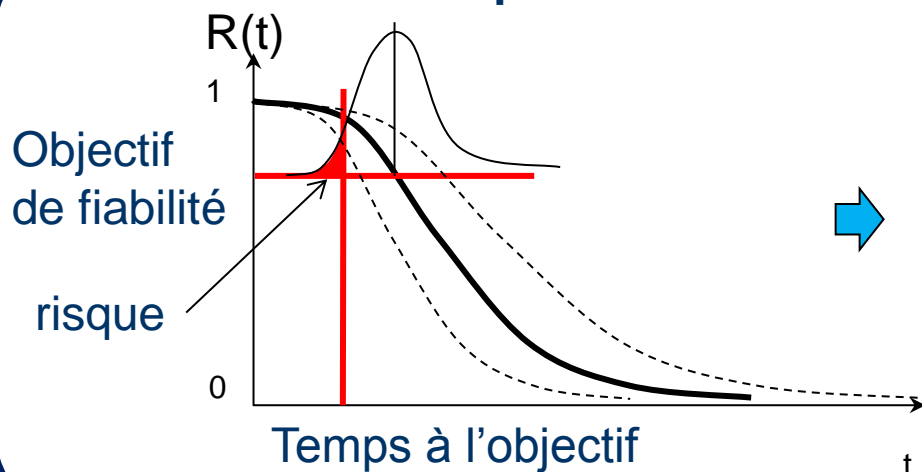
- $\eta(45 \text{ mA}) = 1162035$ heures
- $\beta=2,21$

Loi de fiabilité pour $I=45$ mA



- Estimation des paramètres de la loi d'accélération par la méthode LSE
- Paramètre de forme de Weibull constant

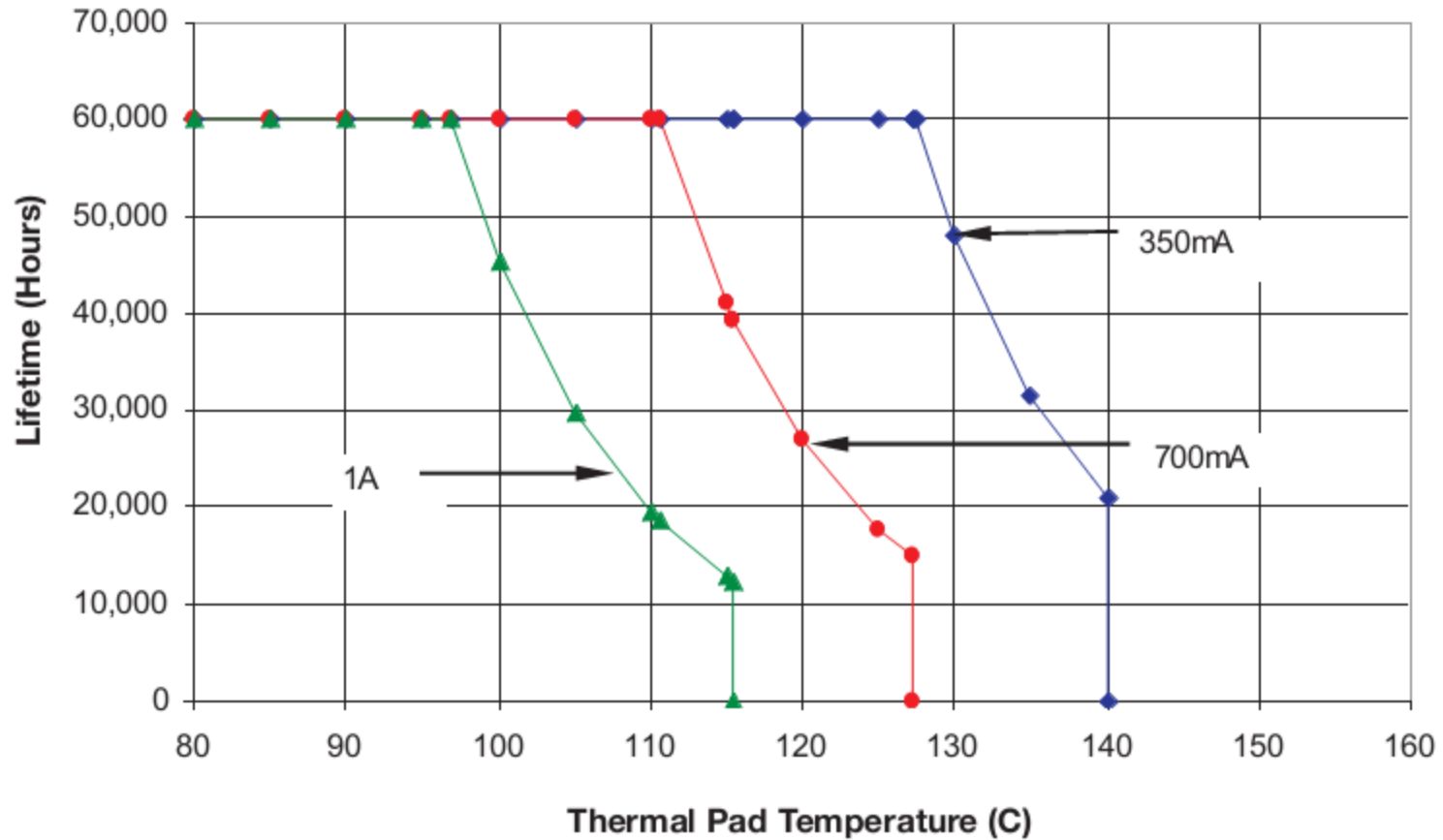
Critère de qualification



$\text{Prob}(t \leq t_{\text{objectif}}) \leq \alpha \rightarrow \text{qualification}$

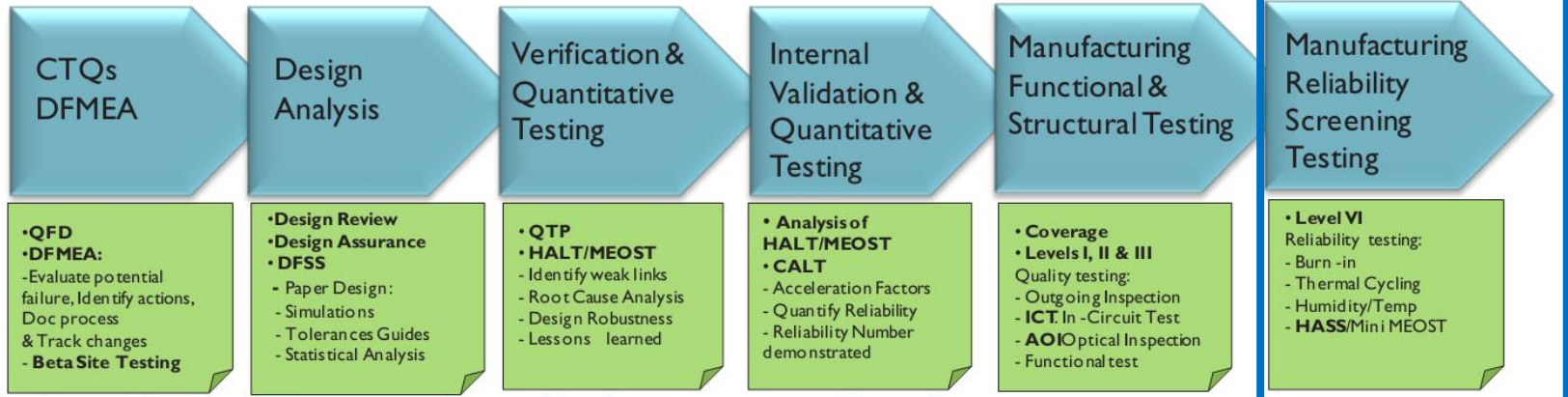
$\text{Prob}(t \leq t_{\text{objectif}}) > \alpha \rightarrow \text{refus}$

(B50, L70) lifetimes for InGaN LUXEON Rebel

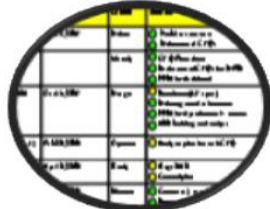




Essais de déverminage



Voice of the Customer

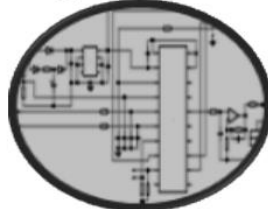


Implementation Plans



Beta Site Testing

Design Verification



Paper Design & Simulation

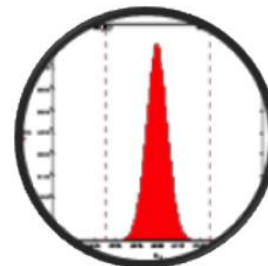


Design Reviews

Time Compression



MEOST/HALT



Accelerated Software Profiles

Manufacturing Test

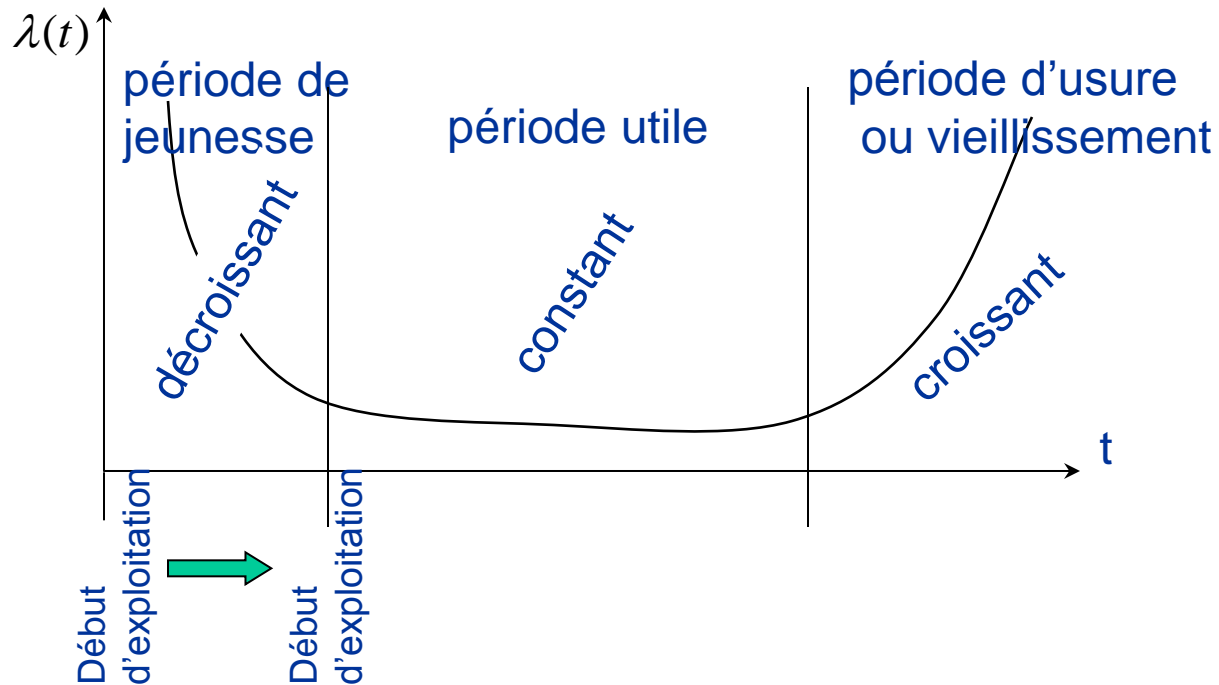


In-Circuit Test



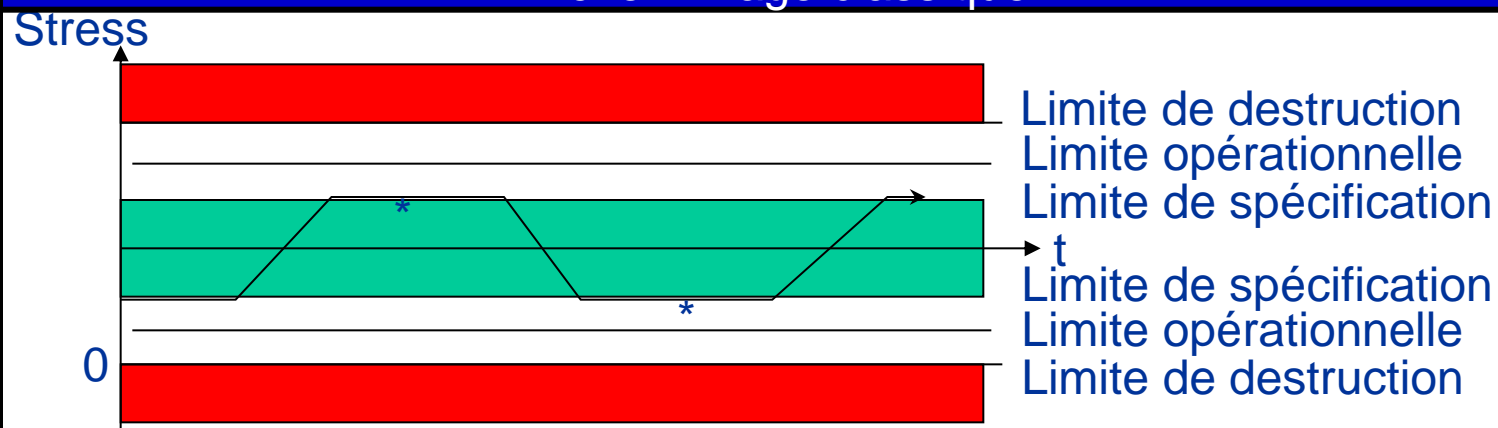
Outgoing QC

Le déverminage des matériels : Détecter les défauts de jeunesse



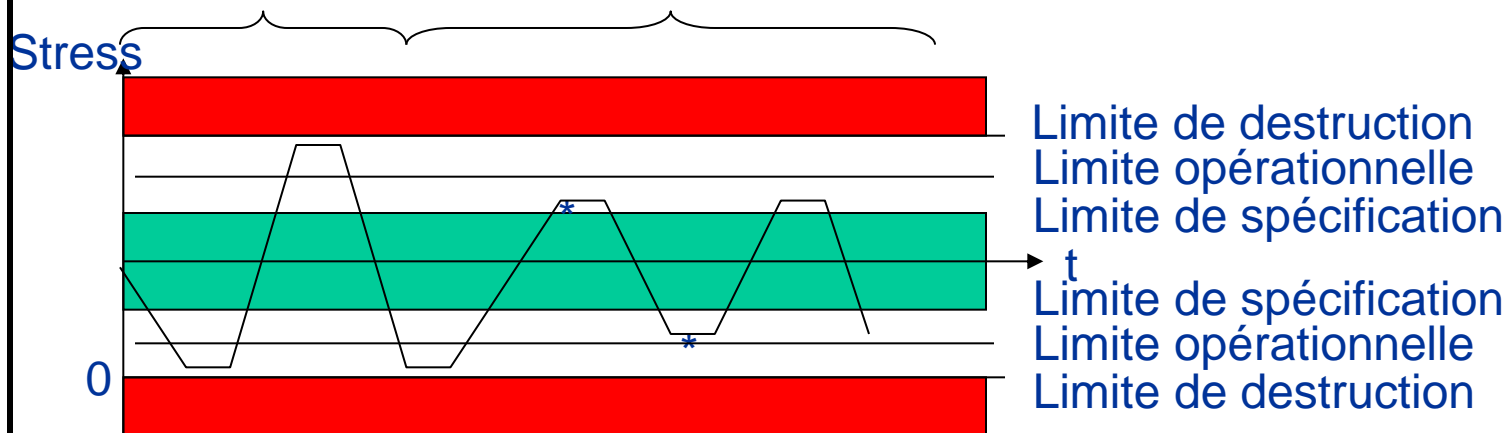
Principe

Déverminage classique

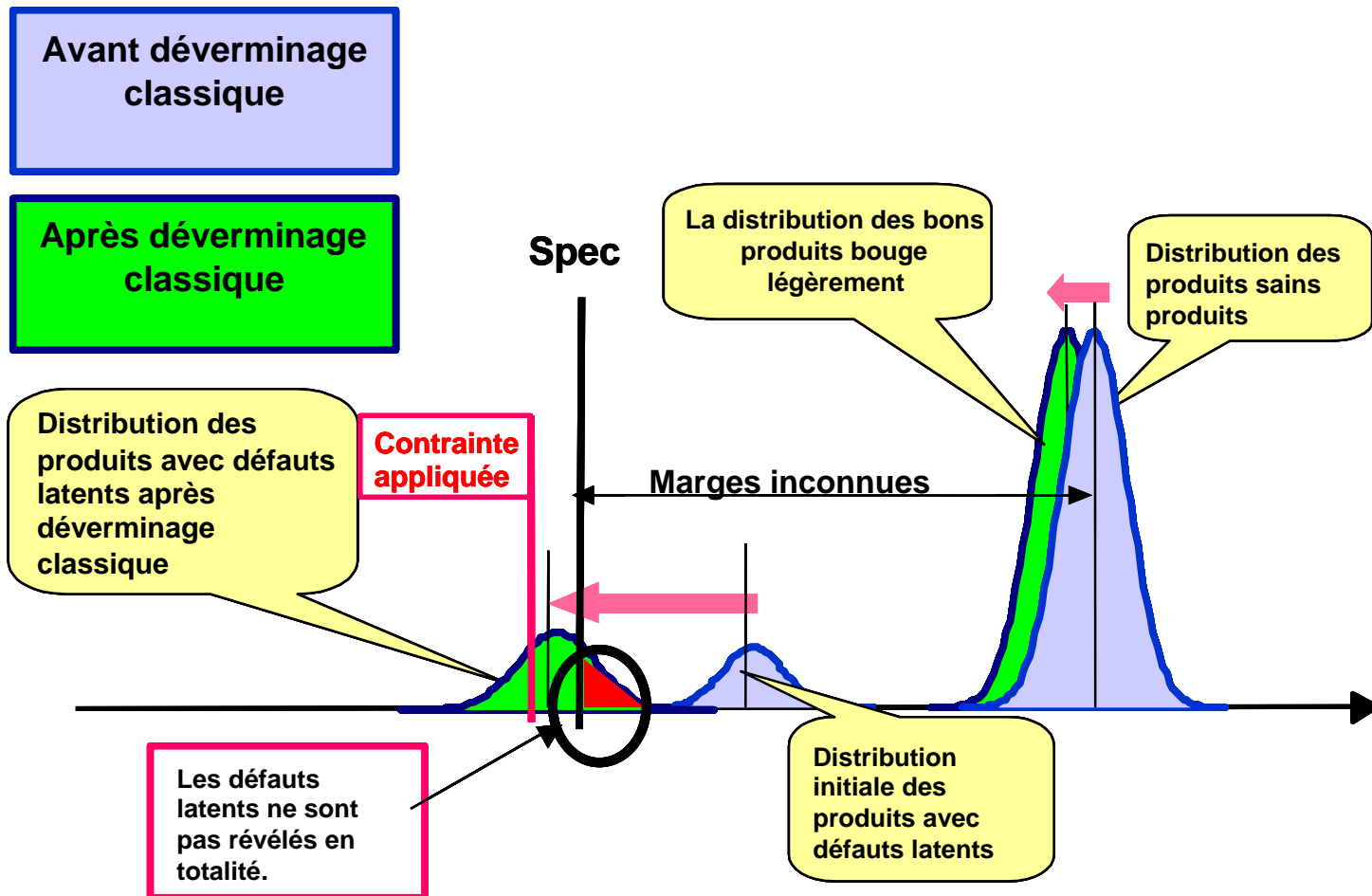


Déverminage aggravé

Phase précipitation Phase détection



Déverminage classique

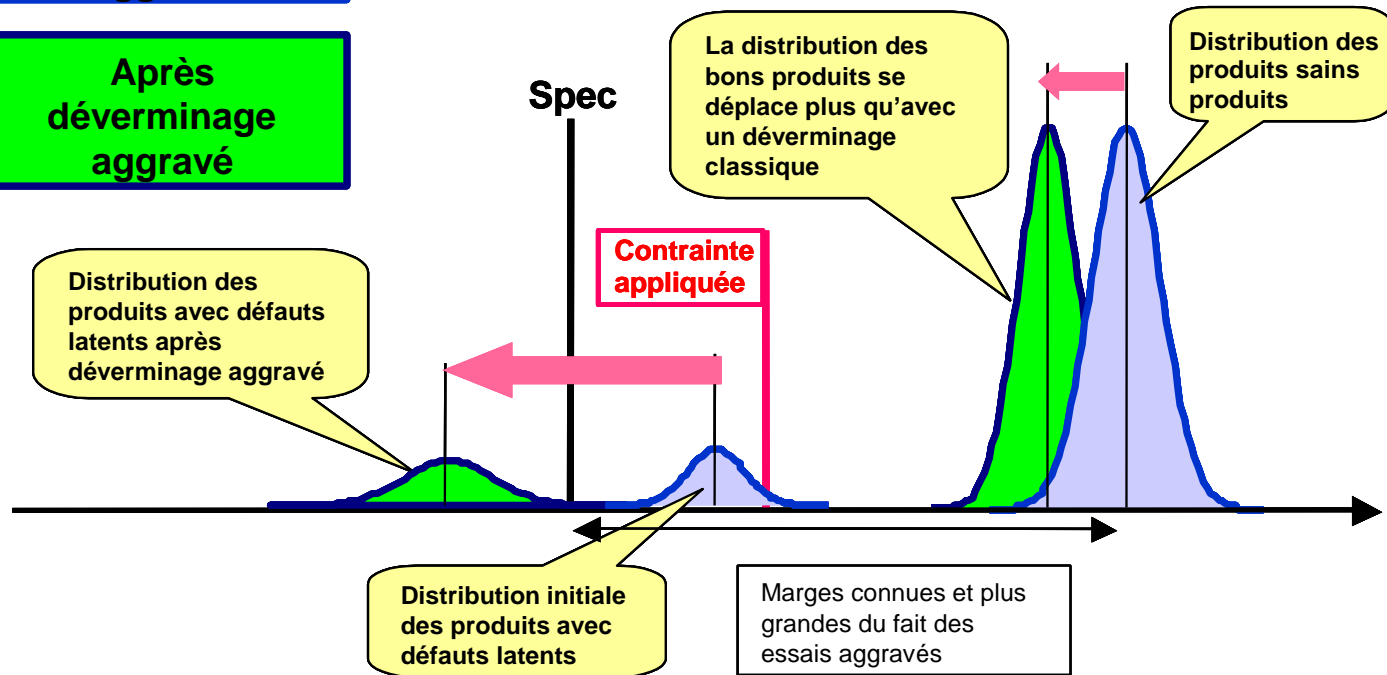




Déverminage aggravé

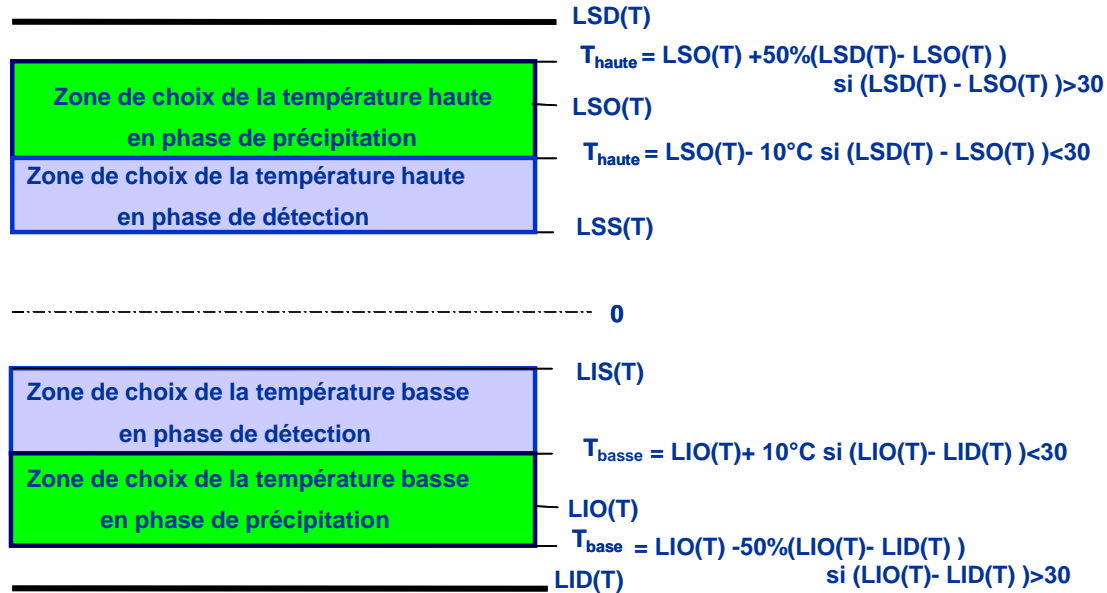
Avant
déverminage
aggravé

Après
déverminage
aggravé



Caractéristique de déverminage	Déverminage classique	Déverminage aggravé
Objectif	Eliminer les produits présentant des défauts de jeunesse liés à la fabrication et à la dispersion de composants	
Principe	Application de contraintes dans les limites de la spécification produit (N.B. : détecte la dispersion de composants)	Application de contraintes au-delà de la spécification
Données d'entrée	Les spécifications du produit et son profil de vie	Connaissance des marges de fonctionnement et des limitations du produit N.B. : Le produit a été rendu robuste en développement par l'amélioration des marges de fonctionnement (tolérance accrue à la dispersion des composants)
Responsabilité	Production seule	R&D et Production
Application des contraintes	De type séquentiel (Température., vibration,)	Combiné Température., chocs mécaniques, contraintes électriques
Efficacité	Modérée ou faible sur les produits stabilisés	0. Bonne:Efficacité accrue en matière de surveillance du maintien des marges de fonctionnement Maturation et maîtrise plus rapide du processus de production
Acquisition du profil	Longue et itérative car basée sur le retour d'expérience 1 année ou plus	Rapide de par la méthodologie Environ 6 mois
Rapidité	Durée indicative : 2 à 4 jours	Durée indicative : 2 à 8 heures (réduction des cycles de production)

1- Températures haute et basse (constantes ou cyclées)



Gradient de déverminage = 80% du gradient limite constaté lors de l'essai aggravé

2- Vibration

- En phase précipitation = 50% $LSD(Grms)$ ou $LSS(Grms)$
- En phase détection = 50% $LSS(Grms)$

Points importants à vérifier

- innocuité du profil de déverminage (Proof of screen) : répétition du profil 20 à 50 fois sans défaillance de fiabilité
- efficacité du profil : répétition du profil sans défaillance de jeunesse

Traité de fiabilité

SCHWOB, Maurice ; PEYRACHE, Guy ; ELDIN, J.
Paris : Masson 1969, VI-426 p.

Précis de probabilités et de statistiques à l'usage de la fiabilité

RINGLER, Jacques ; Institut de sûreté de fonctionnement
Toulouse : Octares Edition 1996, 106 p.

Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation

VILLEMEUR, Alain ; CASEAU, Paul ; HARCOURT, Arnould d'
Paris : Eyrolles 1988, XXIV-798 p.

La Fiabilité en exploitation : organisation et traitement des données : tome 2, suivi de ; Le Cercle des fiabilistes disparus

LIGERON, Jean-Claude ; LYONNET, Patrick
Paris : Lavoisier Tec et Doc 1992, XI-659 p.



La Fiabilité en exploitation : organisation et traitement des données : tome 1

LIGERON, Jean-Claude ; LYONNET, Patrick

Paris : Lavoisier Tec et Doc 1992, XI-521 p.

Fiabilité des systèmes

PAGES, Alain ; GONDRAN, Michel ; MAGNIEN, Maurice

Paris : Eyrolles 1980, XXII-329 p.

Fiabilité du logiciel : concepts, modélisations, perspectives

FOURNIER, Jean-Pierre

Paris : Hermes Science Publications 1993,

Statistical Methods for Reliability Data

Meeker W. and Escobar L.

Ed John Wiley & Sons, 1998

Accelerated Testing : Statistical Models, Test Plans and Data Analyses

W. Nelson,

Ed Wiley Interscience Publication, 1990



Life Cycle Reliability Engineering

G. Yang,

Ed John Wiley & Sons, 2007

Le rôle des essais dans la maîtrise de la fiabilité

Editeur ASTE, Nov 93

HALT, HASS & HASA Explained : Accelerated Reliability Techniques

H. W. McLean,

ASQ Quality press, 2000

Quality and reliability of technical systems

A. Birolini,.

Ed Springer 1997.

Design for Reliability

D. Crowe and A. Feinberg

Ed CRC Press

Intervalle de confiance sur des grandeurs de fiabilité

Soit $y = f(a,b)$ une grandeur de fiabilité (fiabilité, taux de défaillance, L10, ...) définie en fonction des 2 paramètres a et b .

L'estimateur ponctuel de la grandeur y est donné par

$$\hat{y} = f(\hat{a}, \hat{b})$$

Un intervalle de confiance sur y peut être estimé par

$$\hat{y} - u_{1-\alpha/2} \sqrt{V(y)} \leq y_{1-\alpha} \leq \hat{y} + u_{1-\alpha/2} \sqrt{V(y)} \quad \text{si } y \in [-\infty, +\infty]$$

$$\hat{y} e^{-\frac{u_{1-\alpha/2} \sqrt{V(y)}}{\hat{y}}} \leq y_{1-\alpha} \leq \hat{y} e^{\frac{u_{1-\alpha/2} \sqrt{V(y)}}{\hat{y}}} \quad \text{si } y \in [0, +\infty]$$

avec
$$V(y) = \left(\frac{\partial f(a,b)}{\partial a} \right)_{\hat{a}, \hat{b}}^2 V(a) + \left(\frac{\partial f(a,b)}{\partial b} \right)_{\hat{a}, \hat{b}}^2 V(b)$$

$$- 2 \left(\frac{\partial f(a,b)}{\partial a} \right)_{\hat{a}, \hat{b}} \left(\frac{\partial f(a,b)}{\partial b} \right)_{\hat{a}, \hat{b}} COV(a,b)$$

$V(a)$, $V(b)$ et $COV(a, b)$ sont obtenues de la matrice de covariance déduite de la matrice de Fisher.

SSL Reliability Management (luminaire design, components, final assembly and test)

