

Essais de Fiabilité

FQ05 P_20

Éléments récapitulatifs (source guide SIA)

- La fiabilité ne s'obtient pas par hasard mais se construit dès le début et tout au long du cycle de vie du produit.
- La fiabilité consiste **à maîtriser le risque de défaillance**
 - en évaluant la probabilité de défaillance via un plan de validation (ensemble des activités analyse/calcul/essai),
 - en vérifiant que la probabilité de défaillance respecte l'objectif de fiabilité associé au risque encouru en clientèle,
 - en optimisant la conception et le coût de la vérification/validation à partir de l'estimation quantifiée de la fiabilité en clientèle.

Etudes de fiabilité

Les guides et normes se multiplient:

- **MIL STD 217F** (pas actualisée)
- **FIDES**: Méthodologie de fiabilité pour les systèmes électroniques (guide d'évaluation+ guide d'audit du processus Fiabilité): secteur Aéro
- **OREDA**: Recueil de fiabilité basé REX (plateformes extra-côtières).
- **EIREDA**: Banque de données européennes pour le secteur de la chimie
- **NPRD** (Non electronic Parts Reliability Data) NASA et Marine Américaine
- **Handbook Of reliability Prediction for mechanical Equipment** (NSWC: naval et plutôt syst hydraulique)
- **Guides SIA**: Aide à l'estimation et validation de la fiab automobile + Préconisations pour les caractéristiques statistiques de résistance en fatigue

D'où peuvent provenir les données?

- de retour garantie: défauts de jeunesse (on corrige les défauts a posteriori); estimation de la fiabilité opérationnelle (ex: gros rouleurs); REX pour la fiabilité de futurs produits (10% des entreprises font une exploitation exhaustive du REX)
- A partir de banques de données de fiabilité de composants connaissant l'architecture du système, et éventuellement la simulation de son fonctionnement.
- A partir de l'avis d'experts quand on n'a aucune connaissance sur la fiabilité d'un nouveau composant ou système.
- **En réalisant des essais de qualification (ou validation d'une conception) ou des essais de démonstration**

Essais de fiabilité

- Objectif: être capable d'évaluer la fiabilité d'un système existant (opérationnelle) ou d'un système en cours de développement (prévisionnelle).
- Les informations concernant les durées de vie d'un produit en cours d'utilisation, ainsi que celles obtenues en cours d'essais (expérimentale) sont incorporées dans des calculs et modèles de prévision.

Essais de fiabilité

- Pourquoi?
- Dans tout projet, il arrive rarement, voire jamais, d'obtenir tous les résultats après simulations et calculs du fait que:
 - Les formules de calculs sont souvent incomplètes
 - Les banques de données ne sont pas à jour
 - Certains composants ou pièces sont trop récents pour en connaître la fiabilité

Essais de fiabilité

- Il est donc indispensable de réaliser des essais à condition de bien les définir en raison:
 - Des temps d'essais qui ne doivent pas être trop longs
 - Du coût engendré par une campagne d'essais
 - De leur nature (ex: essais destructifs)

Essais de fiabilité

- 3 situations peuvent se présenter:
 - **Situation 1: Un problème survient chez le client.** Le CdC n'est pas respecté en terme de fiabilité: Il est impératif de refaire des essais afin de vérifier:
 - que c'est bien le cas.
 - Que le problème vient bien de votre produit et non, par exemple de son intégration dans un autre système.
 - Pour dimensionner, si nécessaire les nouveaux essais, définir les nouveaux critères d'acceptation qui correspondrait à l'attendu en vie « série »

Essais de fiabilité

- **Situation 2:** On conçoit un nouveau produit.
 - On a besoin d'en démontrer la fiabilité au fur et à mesure que la conception évolue.
 - Il faut s'assurer que les modifications apportées au fur et à mesure du développement, ne dégradent pas le niveau de fiabilité, bien au contraire, elles permettent de l'accroître.
 - Comment s'assurer de cette croissance? Comment l'évaluer? Quelle prévision de fiabilité?

Essais de fiabilité

- **Situation 3: On a conçu un nouveau produit:**
 - Lorsque l'on passe de la phase de conception, à l'industrialisation, de nouvelles sources de variabilité peuvent apparaître
 - Il faut donc s'assurer que le niveau de fiabilité ne se dégrade pas (validation d'une conception)
 - De même pour le passage en phase de production

Essais de fiabilité

- Les plans d'essais doivent être définis de façon judicieuse: (temps long, coût, destruction des produits mis en essais...)
- Différents types (démonstration, qualification, acceptation, environnementaux...)
- Normes de références:
 - Mil STD 781D (reliability testing for engineering development, qualification and production) + MIL HDBK781

Essais de fiabilité

- Types et utilisation:
 - RGDT (Reliability Development/Growth Testing)
 - Utilisés en phase de développement quand des alternatives en conception sont explorées et des modifications sont apportées pour améliorer la fiabilité.
Objectif: démontrer une croissance de fiab.
 - RQT (Reliability Qualification Testing) .
 - Utilisés pour vérifier qu'un produit (conception choisie) a bien une fiabilité conforme aux attentes. Connus aussi sous le nom de « **Reliability demonstration ou design approval testing** »

Essais de fiabilité

– PRAT (Production Reliability Acceptance Testing)

- Utilisés pour garantir que le niveau de fiabilité établi en amont **est bien celui obtenu en production.**
- Celui-ci devrait correspondre au niveau de fiabilité que le produit aura en cours d'utilisation (à condition que les conditions d'utilisations aient bien été prises en compte)

Essais accélérés

– ESS (Environmental Stress Screening):

Les essais sont réalisés dans des conditions beaucoup plus sévères que celles d'utilisation normale du produit.

- But: déverminage; fiabilité prévisionnelle, ...
- Essais accélérés ou essais aggravés

ESSAIS ACCELERES

objectif : Transposer les valeurs des caractéristiques de fiabilité obtenues en conditions sévères à des prévisions de fiabilité en condition normale d'utilisation

- **Attention**: les modes de défaillances étudiés doivent correspondre à ceux que le produit va rencontrer durant son utilisation normale.
- **Pb**: quel temps d'essais, quel niveau de contraintes ou quel facteur d'accélération utilisé?
- Il existe, selon les situations qq's lois d'accélération connues

ESSAIS ACCELERES (source guide SIA)

Loi d'accélération en fatigue mécanique : **relation de Basquin**

- La loi d'accélération la plus commune en fatigue mécanique est la relation de Basquin donnée par:

$$N.S^b = B$$

- où N est le nombre de cycles à rupture, S le niveau de contraintes,
- B et b des constantes caractéristiques du matériau, obtenues par campagne d'essais ou à partir de banques de données
- (une valeur de 8 est souvent utilisée pour le paramètre b des alliages d'aluminium).

ESSAIS ACCELERES (source guide SIA)

- L'usage normal chez le client est caractérisé par un niveau de contrainte S_1 répété N_1 cycles.
- La contrainte S_2 de l'essai accéléré est choisie de façon à réduire le nombre de cycles ($N_2 < N_1$) sans modifier le mécanisme de défaillance.
- La relation de Basquin permet de déterminer le nombre de cycles N_2 :

$$\begin{aligned} \bullet \quad B = N_1 \cdot S_1^b \quad ; \quad N_2 = B \cdot S_2^{-b} \quad \Leftrightarrow \\ N_2 = N_1 (S_1/S_2)^b \end{aligned}$$

- L'endommagement produit par N_2 cycles à S_2 est égal au dommage généré par N_1 cycles à S_1 .

ESSAIS ACCELERES (source guide SIA)

- **Loi d'accélération en cycle thermique : relation de Coffin-Manson**

Elle s'écrit: $N.\Delta T^b=B$

- où N est le nombre de cycles à rupture,
- ΔT l'étendue du cycle thermique
- B et b des constantes caractéristiques du matériau et de l'essai.
- (b \approx 2 pour un assemblage par soudure de brasage)

ESSAIS ACCELERES (source guide SIA)

- L'usage normal chez le client est caractérisé par un cycle thermique ΔT_1 et un nombre de cycles à rupture N_1 .
- Le cycle thermique ΔT_2 de l'essai accéléré est choisi de façon à réduire le nombre de cycles à appliquer avant rupture ($N_2 < N_1$) sans modifier le mécanisme de défaillance.
- La relation de Coffin-Manson permet de déterminer le nombre de cycles $N_2 = N_1 \cdot (\Delta T_1 / \Delta T_2)^b$

ESSAIS ACCELERES (source guide SIA)

- **Loi d'accélération pour la dégradation thermochimique : relation d'Arrhenius**
- La loi d'accélération la plus commune pour le phénomène de dégradation thermochimique (ex : corrosion, fluage,...) est la relation d'Arrhenius $t=B.exp(Ea/k .T)$
- où t est le temps d'exposition du composant à la température T (en °K),
- B une constante,
- k la constante de Boltzmann ($8.62 \times 10^{-5} \text{ eV.K}^{-1}$)
- Ea l'énergie d'activation qui dépend du matériau et de l'étendue de la plage de température en fonctionnement.

Essais accélérés

- Loi de dégradation physico-chimique la plus simple et la plus fréquente
- L'usage normal chez le client est caractérisé par une température T_1 appliquée pendant un temps t_1 .
- La température T_2 de l'essai accéléré est choisie de façon à réduire le temps d'exposition ($t_2 < t_1$) sans modifier le mécanisme de défaillance.
- La relation d'Arrhenius permet de déterminer le temps

$$t_2 = t_1 \cdot \exp[(Ea/k) \cdot (1/T_2 - 1/T_1)]$$

Essais accélérés

Exemple : Utilisation pour déterminer le taux de défaillances prévisionnel:

- Des essais accélérés ont été réalisés à une température T_1 très élevée.
- On souhaite transposer ces résultats pour une température T_2 correspondant à une température normale d'utilisation

ESSAIS ACCELERES

L'utilisation de la loi d'Arrhénius permet d'écrire:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \exp \left[\frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right] \quad (1)$$

K : Constante de Boltzman $8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/}^\circ\text{K}$

E_a : Energie d'activation nécessaire pour créer le mécanisme de défaillance

λ_1 = taux de def à la t° abs T_1 ($^\circ\text{K}$)

λ_2 = taux de def à la t° abs T_2 ($^\circ\text{K}$)

$$(1) \Rightarrow \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \ln h$$

Où h = coefficient d'accélération du processus entre T_1 et T_2

Effets en fonction des stress

Stress	Effets
Température	<ul style="list-style-type: none"> ■ Oxydation : dégradation des performances électriques ■ Electromigration : dégradation des performances électriques ■ Fluage : dégradation des performances électriques et mécaniques ■ interdiffusion : dégradation des performances électriques et mécaniques
Température cyclée	Fatigue thermique par dilatation différentielle : rupture de connexion
Humidité	■ corrosion (accélérée avec la température élevée)
Tension	<ul style="list-style-type: none"> ■ isolation ■ Dégradation des contacts
Intensité	<ul style="list-style-type: none"> ■ Oxydation : dégradation des performances électriques ■ Electromigration : dégradation des performances électriques ■ Champs magnétiques :interférence
Vibration (sinusoidal ou aléatoire)	Fatigue mécanique (fissuration, rupture, ...)

Mécanismes de défaillance

Tableau 4.1: Mécanismes de défaillances

Mécanismes de défaillance	Causes de défaillance	Mode de défaillance	Etapes de fabrication	Types de défaillance	E _a eV	Modes accélér.	Types de défaut
1) Contamination ionique	Présence d'ions alcalins dans oxyde de grille	Dérive de la tension de seuil	Photoresist. Passivation	Jeunesse Vieillesse	1 1,4	E, T	D
2) Charges de surface	Présence de charges en surfaces des oxydes de grille	Dérive de la tension de seuil	Diffusion Trait. à chaud Passivation	Vieillesse	0,5 1	E, T	D
3) Inversion de charges	Charges induites	Dérive de la tension de seuil	Passivation	Vieillesse	1	E, T	D
4) Accumulation de charges en surface	Impuretés ioniques dans la résine	Dérive de la tension de seuil	Encapsulation		1 1,35	E, T	D
5) Perte de charges	Perte de charges entraînant une dérive de la tension de seuil	Mauvais fonctionnement mémoire		Jeunesse Aléatoires Vieillesse	0,6 1,4	T	D
6) Polarisation	Présence de molécules polarisables dans oxyde de grille	Dérive de la tension de seuil	Dopage phosphore Passivation	Vieillesse	1	E, T	D
7) Défauts d'oxyde	Cassures, trous fêlures dans oxyde	Circuits ouverts	Croissance oxyde	Jeunesse Aléatoires	0,3 0,5	E, T	C
8) Porteurs chauds	Ions piégés dans oxyde	Dérive de la tension de seuil	Inadéquation conception procédés	Vieillesse	-1 -1,4	T < 0°C V	D
9) Claquage diélectrique	ESD, surtension	Circuits ouverts Fuites	Photoresist Etching	Jeunesse Aléatoires	0,2 1	E, T	C
10) Interaction (Al-SiO ₂)	Destruction de l'oxyde	Court-circuits	Croissance oxyde	Vieillesse	1,77 2,6	E, T	C

Mécanismes de défaillance

11) Croissance intermétallique	Formation de Au-Al en présence de Br ou de Si	Court-circuits	Encapsulation	Aléatoires	1	E, T	C
12) Décollement des fils de connexion	Phénomènes d'assemblage	Circ.ouverts Court-circuits	Assemblage	Jeunesse	0,35 1,1		C
13) Interaction métal-Si	Difusion du métal dans le silicium	Court-circuits	Métallisation	Vieillesse	1,8 3,5	T	C
14) Interface Au-Al	Eutectique non réalisé lors d'une soudure	Court-circuits	Température excessive lors assemblage	Aléatoires	0,6 0,8	T, J	C
15) Migration métallique	Dendrites Migration du métal dans Si (Cusping) Recouvrement marche	Court-circuits Circuits ouverts	Métallisation, formation oxyde	Vieillesse	0,9 1,8 2,3	J, T	C
16) Electromigration	Déplacement des atomes dans les couches métalliques	Circuits ouverts	Métallisation	Vieillesse	0,4 1,2	J, T	C
17) Corrosion	Présence d'un électrolyte	Court-circuits	Passivation		0,3 1,1	H, T, V	C
18) Fissures					1		
19) Défauts de silicium	Impuretés, défauts de structure, états de surface	Court-circuits	Fabrication plaque Si	Jeunesse Aléatoires	0,3	T	(*)
20) Défauts de masque					0,5		

Notes : Modes d'accélération : T = Température, E = Champ électrique, V = Tension, j = Densité de courant, H = Humidité.
 Types de défaut : C = Cataleptique (défaut soudain, fonction non conservée), D = Dérive (fonction reste conservée).
 E_a : Energie d'activation liée à la température (quand on parle d' E_a , ceci implique implicitement la loi d'Arrhénius).
 (*) : Indifférent

ESSAIS ACCELERES

Exemple :

Lors d'un essai de fiabilité réalisé sur un échantillon de 300 pièces à une température de 168°C, on a observé 5 défaillances. Durée du test: 5000h.

Calculer le taux de défaillance prévisionnel pour une température de 50°C ($E_a/K = 7532$ d'après MIL – HDBK 217).

Essais accélérés: exemple

- $\lambda_1 = r/\tau$ où $\tau = 300 \times 5000$ h est le temps cumulé d'essai. $r = 5$ (nbre de déf)

$$\lambda_1 = 3,3 \times 10^{-6} \text{ def/h}$$

$$T_1 = 168^\circ\text{C} \text{ d'où } T_{1\text{K}} = 168 + 273,15$$

$$T_2 = 50^\circ\text{C} \text{ d'où } T_{2\text{K}} = 50 + 273,15$$

Ea/K: Donné par le MIL STD 217: 7532

$$\lambda_2 = 6,4 \times 10^{-9} \text{ def/h}$$

Croissance de fiabilité

- Objectif: amélioration de la fiabilité à travers des modifs de conception
- Les essais sont menés sur des prototypes: (nombres de dispositifs restreint)
- Les résultats des différents essais sont représentés sur une courbe (courbe de croissance)

Essais accélérés

- Les essais accélérés peuvent être utilisés à toutes les phases de cycle de vie du produit
- Leur utilisation lors, par exemple, en phase de déverminage, permet de bien comprendre les mécanismes de défaillances en nature, en nombre, en gravité...
- On peut aussi les utiliser suite à de forts retours en garantie
- Et bien évidemment, lors des études de prévision de fiabilité.

Modèles de croissance

- **Objectif:**
- Identifier les « points faibles » et les zones d'amélioration sur des produits en cours de développement.
- Evaluer les progrès potentiels
- Estimer le temps d'essai nécessaire pour atteindre un objectif de fiabilité
-

Modèle de croissance

- Les plus utilisés sont le **modèle de Duane** et **AMSAA** (Army Material Systems Analysis Activity)
- Source importante: Mil STD + Mil Handbook 189: Reliability Growth management
- Gompertz, Weibull, Healy, Asher et Feingold, Lloyd et Lipow, exponentiel...
- Choix d'un modèle lié aux conditions d'application

Modèle de Duane

Principe :

- Produits nouveaux moins fiables en début de dév.
- J.T. DUANE: Modèle empirique basé sur:
 - θ_c (MTBF cumulée) représentée en fct du temps total (papier log-log) donne une droite, si modèle de Duane adéquat
 - La pente de la droite α : Indication de croissance de fiabilité (plus α est élevée, plus forte est la croissance)

$$\ln \theta_c = \ln \theta_0 + \alpha (\ln T - \ln T_0)$$

CROISSANCE DE FIABILITE

θ_0 MTBF cumulée sur 1 période d'observation T_0

$$\theta_c = \theta_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^\alpha$$

↓ θ_i (MTBF instantanée)

$$\theta_c = \frac{T}{n} \Rightarrow n = \frac{T}{\theta_c} = \frac{T}{\theta_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^\alpha}$$

$$\Rightarrow n = T (1 - \alpha) \frac{T_0}{\theta_0}$$

$$\Rightarrow \frac{dn}{dT} = (1 - \alpha) T^{-\alpha} \frac{T_0}{\theta_0} = (1 - \alpha) \left(\frac{T_0}{T} \right)^\alpha \frac{1}{\theta_0}$$

CROISSANCE DE FIABILITE

$$\frac{dn}{dT} = \lambda_i \Rightarrow \frac{1}{\theta_i} = \frac{dn}{dT} = (1-\alpha) \frac{1}{\theta_c}$$

$$\Rightarrow \theta_i = \frac{\theta_c}{1-\alpha}$$

⇒ Les droites représentant θ_i et θ_c sont //

⇒ Le programme de croissance peut-être mené sur θ_i ou θ_c

Remarque : α : Pente de la droite est aussi le coefficient d'amélioration (de la croissance) de fiabilité

CROISSANCE DE FIABILITE

Typiquement α est compris entre 0,2 et 0,4

- $\alpha = 0,1$: Aucune attention particulière aux améliorations de fiabilité
- $\alpha = 0,2$: Attention normale (essais conditions normales)
Actions correctives pour mode de def importants
- $\alpha = 0,3 - 0,4$: Attention particulières (test avec conditions d'environnement)
Action correctives pour mode de def importants
- $\alpha = 0,4 - 0,6$: Programme avec gros efforts pour éliminer les modes de défaillance
Essais accélérés ; analyse immédiate et correction des def.

CROISSANCE DE FIABILITE

Utilisation pratique :

Au bout de combien de temps d'essais, peut-on atteindre un objectif de MTBF fixé ?

Exemple :

Lors des premiers essais d'un nouveau matériel électronique, on a enregistré 11 défaillances en 600 h sans mode de défaillance prédominant.

Combien de temps d'essais doit-on prévoir si on veut garantir une MTBF θ_i de 500 h ? ($\alpha = 0,3$ et $\alpha = 0,5$)

CROISSANCE DE FIABILITE

$$\theta_o = \frac{T}{n} = \frac{600}{11} = 54,4 \quad \text{h}$$

$$\theta_i = 500 \quad \text{h} \Rightarrow \theta_c = 500 \quad (1 - \alpha) \begin{cases} \theta_c = 350\text{h} & \alpha = 0,3 \\ \theta_c = 250\text{h} & \alpha = 0,5 \end{cases}$$

$$\theta_c = \theta_o \left(\frac{T}{T_o} \right)^\alpha \Rightarrow T = T_o \left(\frac{\theta_c}{\theta_o} \right)^{1/\alpha}$$

$$\Rightarrow T = 297\,200 \text{ h} \quad \alpha = 0,3$$

$$T = 12\,670 \text{ h} \quad \alpha = 0,5$$

Remarque : Il est impensable de faire ~ 300 000 h d'essais

\Rightarrow se donner les moyens d'améliorer la fiabilité

Croissance de fiabilité

- La valeur de θ_i obtenue devient celle qui sera l'objectif de MTBF pour **les produits fabriqués en série**.
- Attention, **le modèle de Duane est très sensible aux conditions de départ**: Si on avait obtenu $\theta = 54,4\text{h}$ pour 200h d'essai (et pas 600h) le temps d'essais à réaliser pour garantir MTBF θ_i de 500 h, avec $\alpha = 0,5$ tomberait à 4200h (au lieu de 12600h).
- Zone de croissance significative. Après il faut jouer sur les conditions d'essais!

ESSAIS de FIABILITE

- RQT (reliability qualification testing) .
 - Utilisés pour vérifier qu'un produit (conception choisie) a bien une fiabilité conforme aux attentes. Connus aussi sous le nom de « reliability demonstration ou design approval testing »
- PRAT (production reliability acceptance testing)
 - Utilisés pour garantir que le niveau de fiabilité établi en amont est bien celui obtenu en production.
- Dans ces deux cas, des tests séquentiels peuvent être utilisés

TEST SEQUENTIEL

Hypothèse : les intervalles de temps entre def, **suivent une loi exponentielle**

Principe :

θ_1 : valeur de la MTBF telle que si un équipement a une $MTBF \leq$, il sera refusé avec une forte proba

θ_0 : valeur de la MTBF telle que si un équipement à une $MTBF \geq$, il sera accepté avec une forte proba

α : Risque du producteur (celui de refuser un produit alors qu'il est bon)

β : Risque du client (celui d'accepter un produit alors qu'il est mauvais)

TEST SEQUENTIEL

Rappel : si les intervalles de temps entre def d'un équipement suivent une loi expo, la proba d'obtenir r défaillances :

$$p(r) = \left(\frac{t}{\theta}\right)^r \times \left(\frac{e^{-t/\theta}}{r!}\right)$$

$$\text{si } \theta_1 : P_1(r) = \left(\frac{t}{\theta_1}\right)^r \times \left(\frac{e^{-t/\theta_1}}{r!}\right)$$

$$\text{si } \theta_0 : P_0(r) = \left(\frac{t}{\theta_0}\right)^r \times \left(\frac{e^{-t/\theta_0}}{r!}\right)$$

$$\text{Soit le rapport } \frac{P_1(r)}{P_0(r)} = \left(\frac{\theta_0}{\theta_1}\right)^r \times \left(e^{-t \left[\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_0}\right]}\right)$$

= Rapport de discrimination

TEST SEQUENTIEL

- Arrêter le test et accepter si

$$\frac{P_1}{P_0} < B \quad \text{avec} \quad B = \frac{\beta}{1 - \alpha}$$

- b) Arrêter le test et rejeter si

$$\frac{P_1}{P_0} > A \quad \text{avec} \quad A = \frac{1 - \beta}{\alpha} \left(\frac{1 + d}{2} \right)$$

$$d = \frac{\theta_0}{\theta_1}$$

- c) Continuer si

$$B \leq \frac{P_1}{P_0} \leq A$$

TEST SEQUENTIEL

$$B \leq \frac{\theta_o}{\theta_1} \cdot e^{-t \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_o} \right)} \leq A$$

$$\text{Log } B \leq r \text{ Log } \frac{\theta_o}{\theta_1} - t \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_o} \right) \leq \text{Log } A$$

$$\frac{\text{Log } B}{\text{Log } \frac{\theta_o}{\theta_1}} + \frac{t \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_o} \right)}{\text{Log } \frac{\theta_o}{\theta_1}} \leq r \leq \frac{\text{Log } A}{\text{Log } \frac{\theta_o}{\theta_1}} + \frac{t \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_o} \right)}{\text{Log } \frac{\theta_o}{\theta_1}}$$

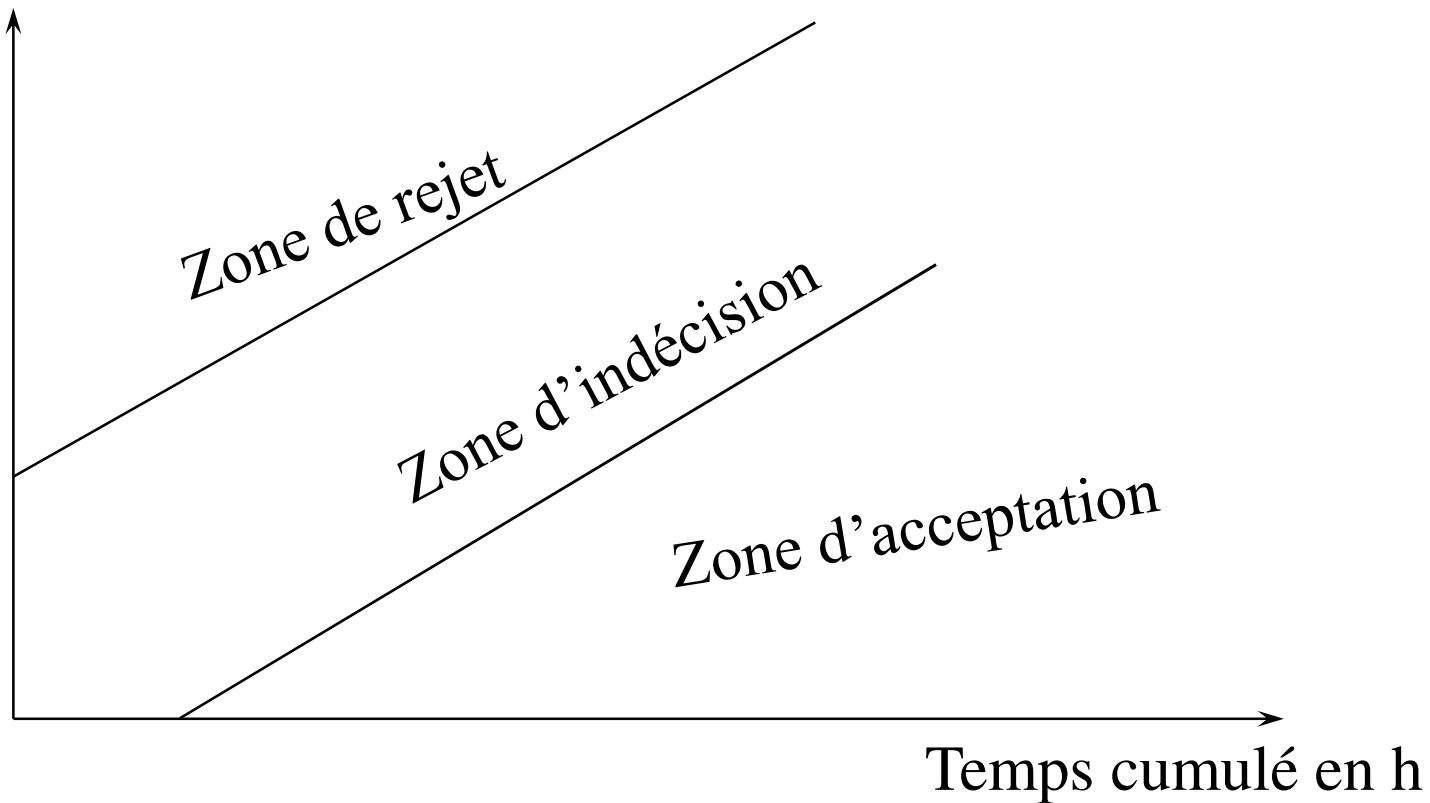
$$\text{On pose : } a = \frac{\text{Log } B}{\text{Log} \left(\frac{\theta_o}{\theta_1} \right)}$$

$$b = \frac{(1/\theta_1) - (1/\theta_o)}{\text{Log} (\theta_o / \theta_1)}$$

$$c = \frac{\text{Log } A}{\text{Log} \frac{\theta_o}{\theta_1}}$$

TEST SEQUENTIEL

$$a + bt \leq r \leq c + bt$$



Test séquentiel

- Dès qu'un premier point tombe soit:
- a) dans la zone de rejet: on arrête l'essai et on considère que le produit ne remplit pas l'objectif fixé
- b) dans la zone d'acceptation: on arrête l'essai et on considère que le produit remplit l'objectif fixé

Sinon, tant que les points sont dans la zone d'indécision, on continue l'essai. Le risque avec ce type de test est de rester longtemps en zone d'indécision. Donc on ajoute des conditions supplémentaire

TEST SEQUENTIEL

Détermination de la troncature

On détermine « r » tel que

$$\frac{\chi^2_{\alpha ; 2r}}{\chi^2_{1-\beta ; 2r}} \geq \frac{\theta_1}{\theta_0}$$

$$\alpha, \beta, \theta_1, \theta_0 \rightarrow \frac{\theta_1}{\theta_0}$$

à comparer à

$$\frac{\chi^2_{\alpha ; 2r}}{\chi^2_{1-\beta ; 2r}}$$

Table du χ^2

→ valeur de 2 r

→ puis de r (noté r₀)

$$\Rightarrow T_0 = \frac{\theta_0 \cdot \chi^2_{\alpha ; 2r_0}}{2}$$

TEST SEQUENTIEL

Si on atteint un temps d'essai T_0 avec un nombre de def $< r_0$

On accepte: on considère que le produit est conforme aux objectifs fixés.

- Si on observe r_0 def avant d'atteindre un temps d'essai T_0

On rejette: On considère que le produit ne correspond pas aux spécifications attendues.

Remarque: La construction du plan d'essais (y compris les conditions de troncature censure r_0 et T_0), sont à établir avant même de commencer les essais.

Test séquentiel

Exemple :

Construire un plan d'essai avec

- $\alpha = 10 \%$
- $\beta = 10 \%$
- $\theta_1 = 100 \text{ h}$
- $\theta_o = 200 \text{ h}$

Test séquentiel

- En appliquant **les formules du slide 45**
- On trouve:
- **$a = -3,17$; $b = 0,00721$; $C = 2,76$**
- Ce sont les coefficients des **équations des droites d'acceptation et de rejet.**
- A ces deux droites, il faut ajouter **les conditions $(r_0; T_0)$ d'arrêt de l'essai, si pas de sortie** soit dans la zone d'acceptation, soit dans celle de rejet.

Test Séquentiel

- Connaissant α ; β ; θ_0 ; θ_1 :
- on peut calculer θ_1 / θ_0 et ensuite, trouver, en utilisant la table du χ^2 la valeur de r pour laquelle :

$$\frac{\chi_{\alpha}^2 ; 2r}{\chi_{1-\beta}^2 ; 2r} \geq \frac{\theta_1}{\theta_0}$$

- Vous trouverez dans le slide ci-après, un extrait de la table du χ^2 , les valeurs qui nous permettent d'approcher puis de dépasser (0,5: valeur de θ_1 / θ_0)

Extrait de la table du χ^2

DDI	$\alpha = 0,1$	$1 - \beta = 0,9$	rapport
25	16,5	34,4	0,47965
26	17,3	35,6	0,48596
27	18,1	36,7	0,49319
28	18,9	37,9	0,49868
29	19,8	39,1	0,50639
30	20,6	40,3	0,51117

TEST SEQUENTIEL

La valeur du ddl pour laquelle le rapport ci-dessous est supérieur à 0,5 est égal à 29.

$$\frac{\chi_{\alpha}^2 ; 2r}{\chi_{1-\beta}^2 ; 2r} \geq \frac{\theta_1}{\theta_0}$$

Ce qui signifie que $2r = 29$, donc $r = 14,5$ et par conséquent $r_0 = 15$
(le nombre de défaillance est un nombre entier. **Donc $2r_0 = 30$**)

On en déduit la valeur de

$$\Rightarrow T_0 = \frac{\theta_0 \cdot \chi_{\alpha}^2 ; 2r_0}{2}$$

To vaut 2060 h

Test séquentiel

- On voit donc, qu'avant même de commencer les essais, on peut déterminer toutes les conditions de rejet et d'acceptation pour valider ou invalider la tenue des objectifs de MTBF.
- Ce test peut être fait graphiquement, mais il est plus simple de le faire sous Excel par ex
- Questions que l'on peut se poser: combien de dispositifs tester, pendant combien de temps, pour valider un objectif de fiabilité donné. Combien de défaillances sont acceptables...