



FIABILITE DES SYSTEMES REPARABLES ET ESSAIS ACCELERES

GRENOBLE 19/05/11

F.BAYLE






- Introduction
- Méthode actuelle
- Problématique
- Fiabilité des sous-ensembles électroniques
- Fiabilité des sous-ensembles à durée de vie limitée
- Dimensionnement d'essais accélérés
- Fiabilité du système complet
- Exemple sur un équipement aéronautique
- Conclusions





Données de fiabilité prévisionnelle

- » données d'entrée pour la sûreté de fonctionnement : modes de défaillance (FMEA), probabilité d'occurrence d'évènements redoutés (FTA), les études de testabilité, ...
- » données "client" indispensables : stocks de rechange, coûts de garantie, forfaits de réparations (DMC), temps moyen entre défaillances (MTBF)...
-  ***Toute estimation erronée de fiabilité engendre des conséquences importantes en termes de coûts, d'image de marque, de sécurité, ...***





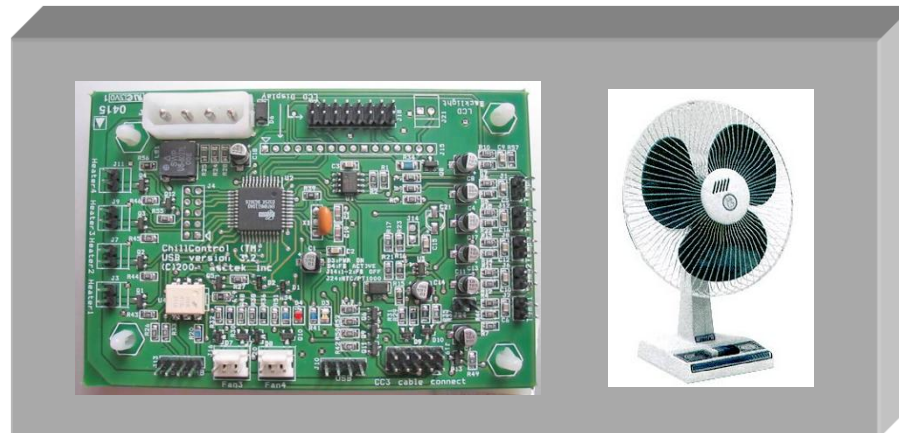
- » Pour estimer la fiabilité d'un équipement en phase de développement, on utilise généralement les standards de fiabilité prévisionnelle tels que **MIL-HDBK-217** ou **FIDES** pour les composants électroniques ou le **NPRD95** ou **NSWC** pour les composants non électroniques.
- » Hypothèse forte liée à ces standards : un taux de défaillance constant (loi exponentielle)

Conséquence : en condition d'exploitation opérationnelle avec maintenance, une modélisation par processus de Poisson homogène d'intensité de défaillance constante.





- » Cette approche n'est pas réaliste lorsqu'un système contient des sous-ensembles à durée de vie limitée :
=> phénomènes de vieillissement dès la mise en service



- » Pour ce type de composant, l'action de maintenance consiste à remplacer le sous-ensemble défectueux par un neuf.





- » Modélisation par un processus de Poisson homogène défini par une intensité de défaillance constante :

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Où | n est le nombre de composants
| λ_i est l'intensité de défaillance du sous-ensemble « i »

- » Nombre moyen de pannes en fonction du temps :

$$E[N(t)] = \int_0^t \lambda(u) \cdot du$$

- » Méthode actuelle $E[N(t)] = [\lambda_{elec} + \lambda_{usr}] \cdot t$

Où | λ_{elec} est l'intensité de défaillance des sous-ensembles électroniques
| λ_{usr} est l'intensité de défaillance des sous-ensembles à durée de vie limitée





- » On introduit la notion de taux d'occurrence de pannes (Rocof).
Interprétation : un taux instantané de variation du nombre de pannes défini par :

$$Rocof(t) = \sum_{i=1}^{\infty} f^{(i)}(t)$$

Où | f est la densité de probabilité de la distribution représentative du mécanisme de défaillance
| $f^{(i)}(t) = f(t) * f(t) * \dots * f(t)$ (i fois)
| * représente le produit de convolution

- » L'évolution du nombre de pannes en fonction du temps est obtenu par intégration du Rocof :

$$E[N(t)] = \int_0^t Rocof(u) \cdot du = \sum_{i=1}^{\infty} F^{(i)}(t)$$

où F est la fonction de répartition

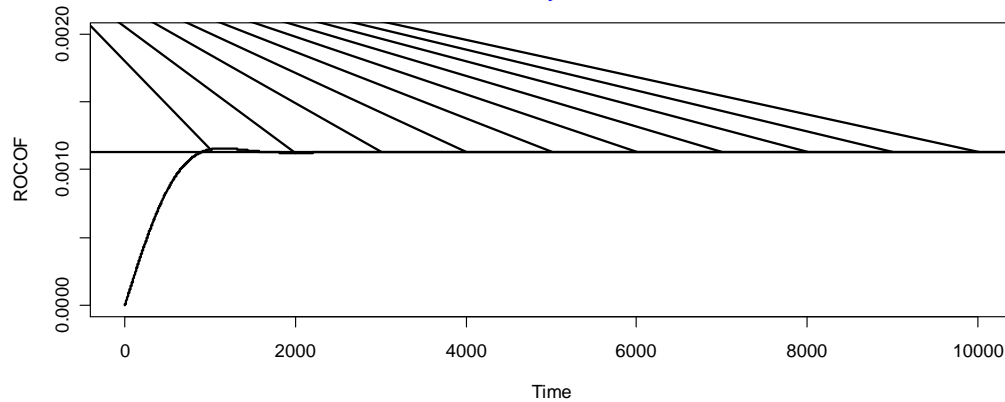


FIABILITE DE SOUS-ENSEMBLES A DUREE DE VIE LIMITEE



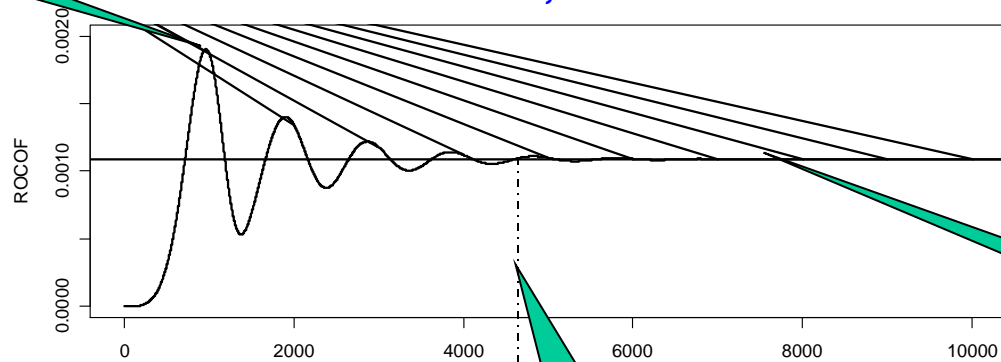
» Quelques exemples d'illustration de Rocof pour une loi de Weibull :

Rocof, beta=2



Rocof_Max

Rocof, beta=5



Rocof = Cte

T_{rocof}





» Pour la distribution de Weibull, l'expression du RocoF n'a pas de solution explicite : un calcul numérique est obligatoire.

» On peut montrer que :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} RocoF(t) = \frac{1}{MTTF}$$

Soit ici
$$\lim_{t \rightarrow \infty} RocoF(t) = \frac{1}{\eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$$

» On voit par simulations que :

$$RocoF_{Max} \approx \eta \cdot \left(1 + 0,05 \cdot \beta^{1,8}\right)$$

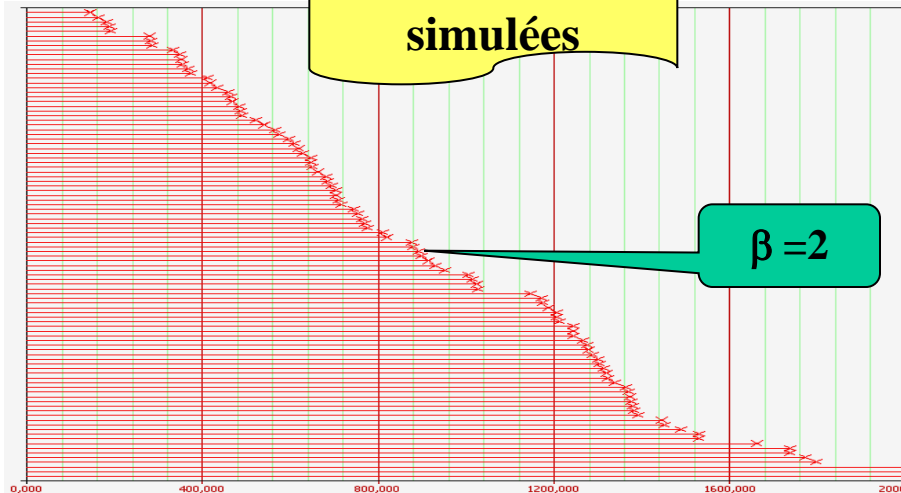
$$T_{rocof} \approx \eta \cdot \beta$$



FIABILITE DE SOUS-ENSEMBLES A DUREE DE VIE LIMITEE



100 défaillances
simulées

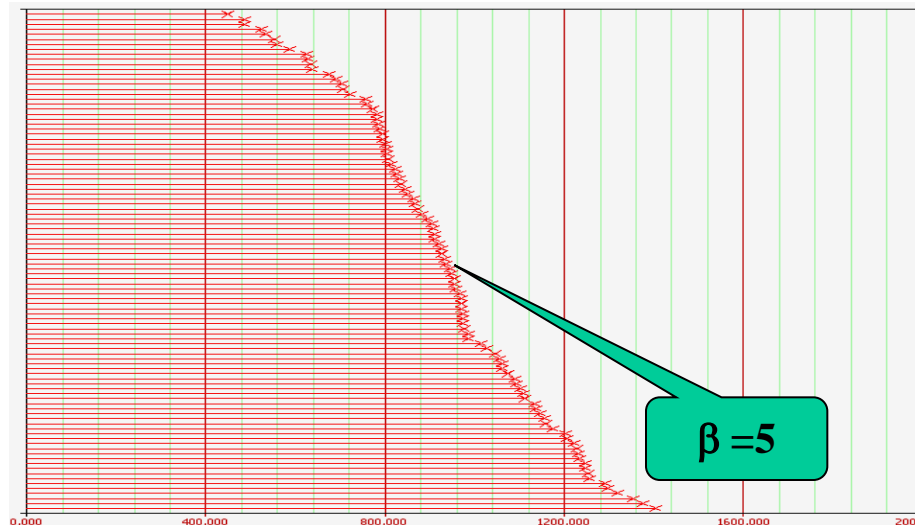


$\beta = 2$

» Le 1er maximum correspond au MTTF de la loi de Weibull

» Plus le facteur de forme β est grand et plus le pic est étroit

» Plus le facteur de forme β est grand et plus il y a d'oscillations



$\beta = 5$



FIABILITE DE SOUS-ENSEMBLES A DUREE DE VIE LIMITEE



- » Si on prend en compte du flux de mise en service des systèmes
- soit t_1 l'instant où l'on met en service N_1 systèmes
 - soit t_2 l'instant où l'on met en service N_2 systèmes
 - ...
 - soit t_p l'instant où l'on met en service N_p systèmes

Effet de retard

On montre alors que le Rocof global s'écrit :

$$Rocof_{Global}(t) = \frac{\sum_{i=1}^p [Q_i \cdot Rocof(t - t_i)]}{\sum_{i=1}^p Q_i}$$

» C'est uniquement dans le cas où la durée de la période oscillatoire est faible devant la durée d'exploitation des systèmes que la méthode classique reste correcte.





- » Estimation des paramètres de la distribution (Weibull) à partir d'essais accélérés. Un mécanisme de défaillance **généralement prépondérant** (facteur de forme β indépendant du stress) ; on peut donc utiliser le modèle AFT.
- » Facteur d'échelle η : généralement exprimé à l'aide des modèles GLL définis par :

$$\eta(X) = \exp \left[\alpha_0 + \sum_{i=1}^s \alpha_i \cdot g_i(X_i) \right]$$

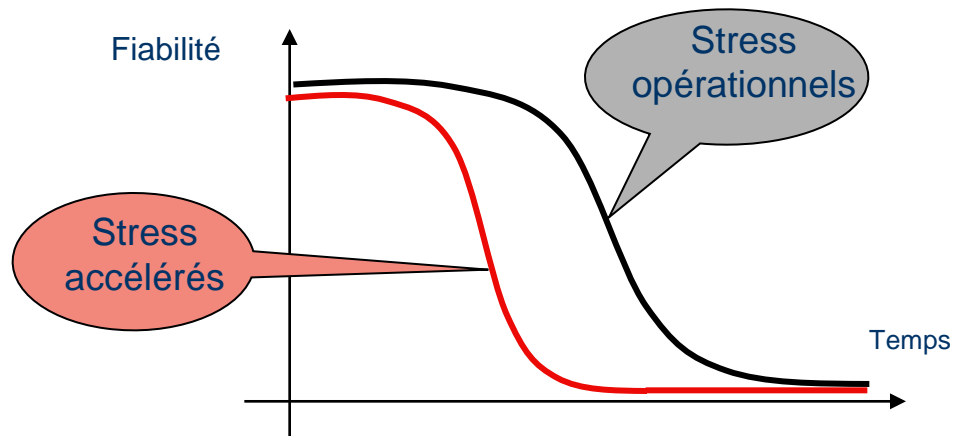
Où

- X est un vecteur de stress
- α sont les paramètres du modèle
- g est une fonction continue dépendant de la loi de physique de défaillance
- s est le nombre de stress



DIMENSIONNEMENT D'ESSAIS ACCELERES

Par essais accélérés, nous entendons des essais dont les contraintes environnementales ou stress sont supérieures à celles que subit le produit en phase opérationnelle.



- Pour un temps donné, le niveau de fiabilité est plus faible pour les essais accélérés.

Intérêt

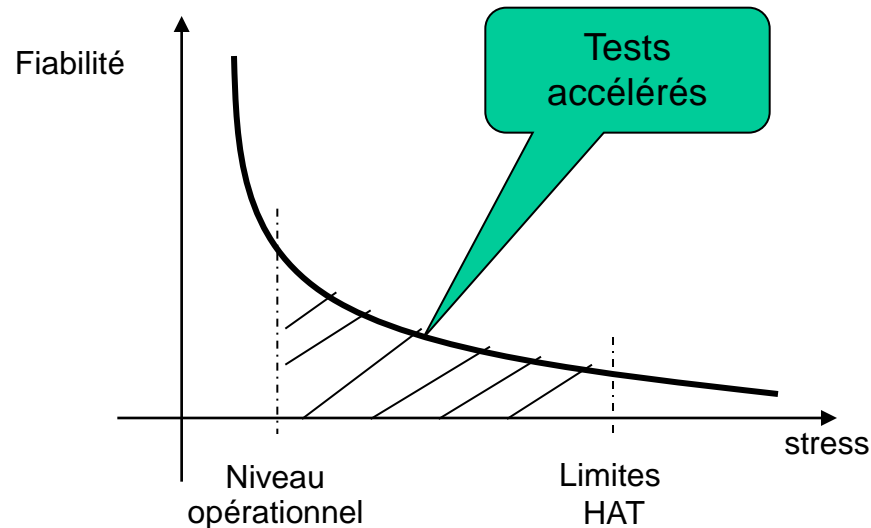
- Pour un niveau de fiabilité donné, la durée du test est plus faible pour les essais accélérés.





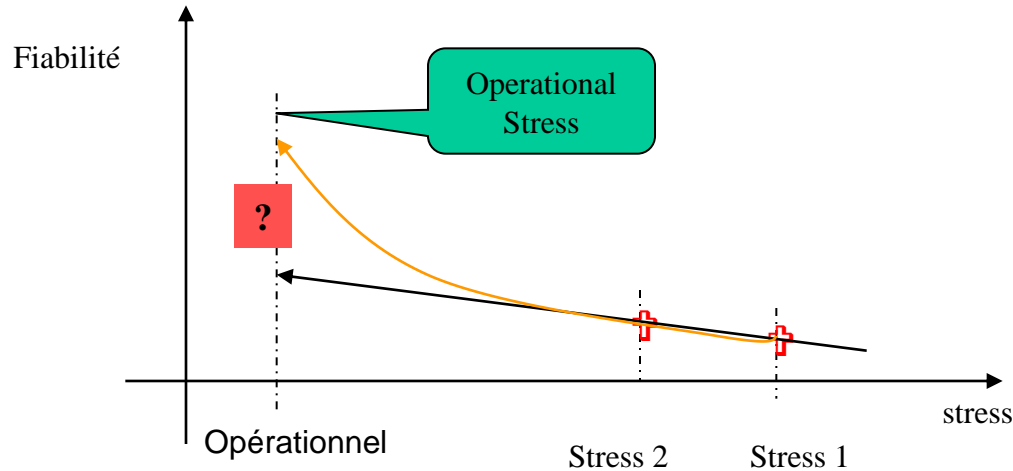
Le facteur d'accélération ne doit pas être trop important car :

- ✓ on doit garder l'invariance du facteur de forme (un seul mécanisme de défaillance)
- ✓ on ne doit pas créer de mécanismes de défaillances que l'on ne verra pas en opérationnel.





» Pour obtenir une loi d'accélération ayant « n » paramètres, il faut au minimum « n+1 » niveaux de stress différents.



» En choisissant des niveaux de stress trop élevés et trop proches, vous avez le risque d'obtenir une loi de mortalité ayant une grande incertitude. A contrario, si vous choisissez des niveaux trop faibles car trop proches des niveaux opérationnels, vous risquez d'avoir des durées de tests longues donnant peu de pannes.





TEMPERATURE CONSTANTE

» Cette contrainte est régie par la loi d'ARRHENIUS suivant la relation :

$$L(T) = C \cdot \exp\left(\frac{Ea}{K \cdot T}\right)$$

C : est une constante dépendant du matériau

Ea : énergie d'activation (eV).

K : Constante de BOLTZMAN.

T : Température en °K

Les coefficients « Ea » et C sont les inconnues dans l'équation.





» Comme on a un seul mécanisme de défaillance, on peut utiliser le modèle AFT (Acceleration Failure Time). Pour la loi Weibull – Arrhenius, on obtient :

$$\lambda(t, T) = \left(\frac{\beta}{C \cdot \exp\left(\frac{Ea}{K \cdot T}\right)} \right) \cdot \left(\frac{t}{C \cdot \exp\left(\frac{Ea}{K \cdot T}\right)} \right)^{\beta-1}$$

» Les paramètres C, Ea et β sont déterminés par la méthode du maximum de vraisemblance. Les fonctions « scores » n'ayant pas de solutions explicites », estimation des paramètres se fait à l'aide de méthodes numériques.



DIMENSIONNEMENT D'ESSAIS ACCELERES

Dispersion
sur les
paramètres

Modèle

Arrhenius

Sélectionner les colonnes de...
Transformation de contrainte...

Distribution

Weibull

Beta	2,7094
B	5256,2313
C	0,0029
Ea	0,4529
Eta	5,6544E+4
Val VR	-376,9613

Estimation
des
paramètres

Inférieur	Beta	Supérieur
2,2293	2,7094	3,2929
Inférieur	B	Supérieur
4658,3874	5256,2313	5854,0751
Inférieur	C	Supérieur
0,0005	0,0029	0,0158

Test d'égalité des
paramètres de
forme

Entrée

Niveau d'importance: 0,05

Paramètre de forme

Beta: 2,70938728661039

Résultats

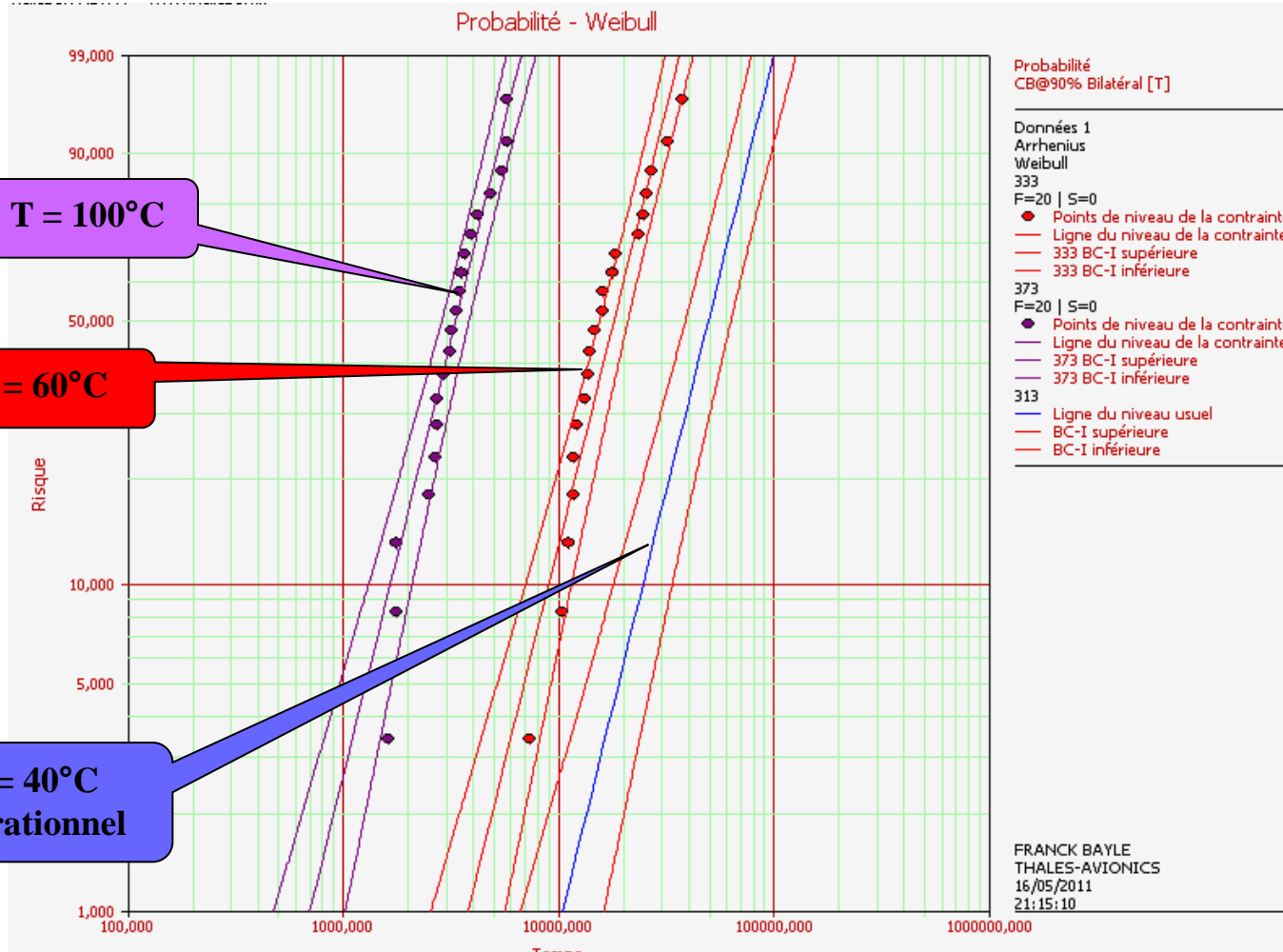
T: 0,837495544266858

chi-deux (alpha, j-1): 3,84146118164063

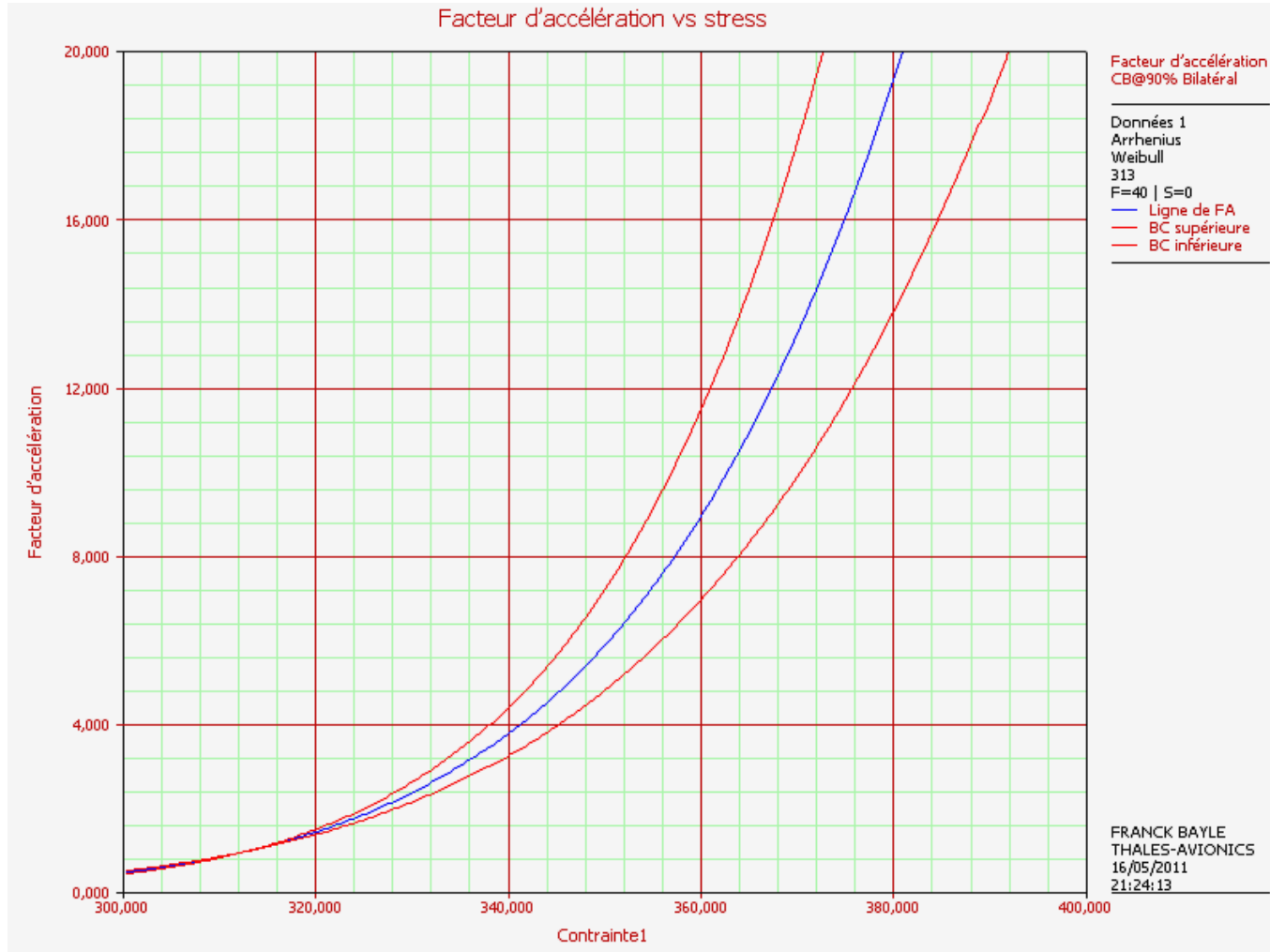
Puisque la valeur du statistique du test du rapport de vraisemblance, T, est inférieure ou égale au chi-deux, les valeurs de forme ne diffèrent pas statistiquement au niveau suivant: 5%.



DIMENSIONNEMENT D'ESSAIS ACCELERES



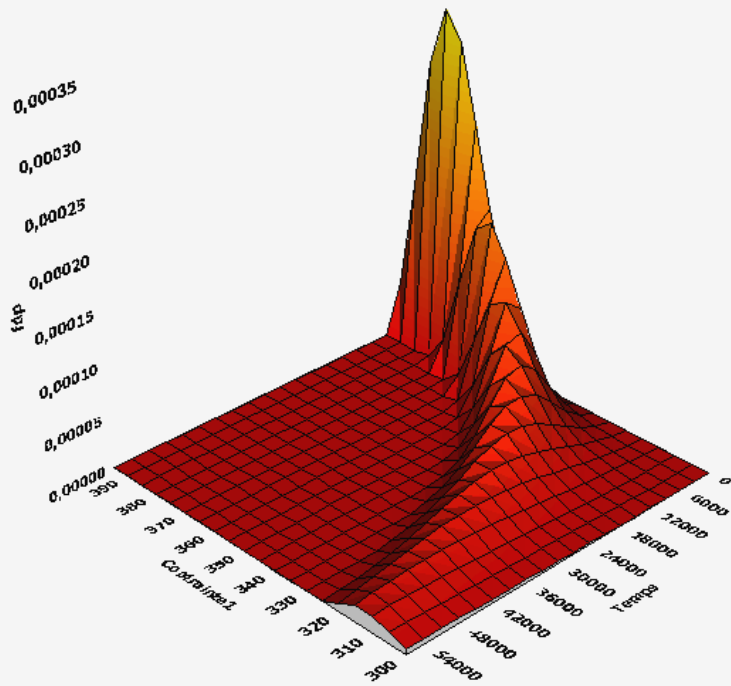
DIMENSIONNEMENT D'ESSAIS ACCELERES



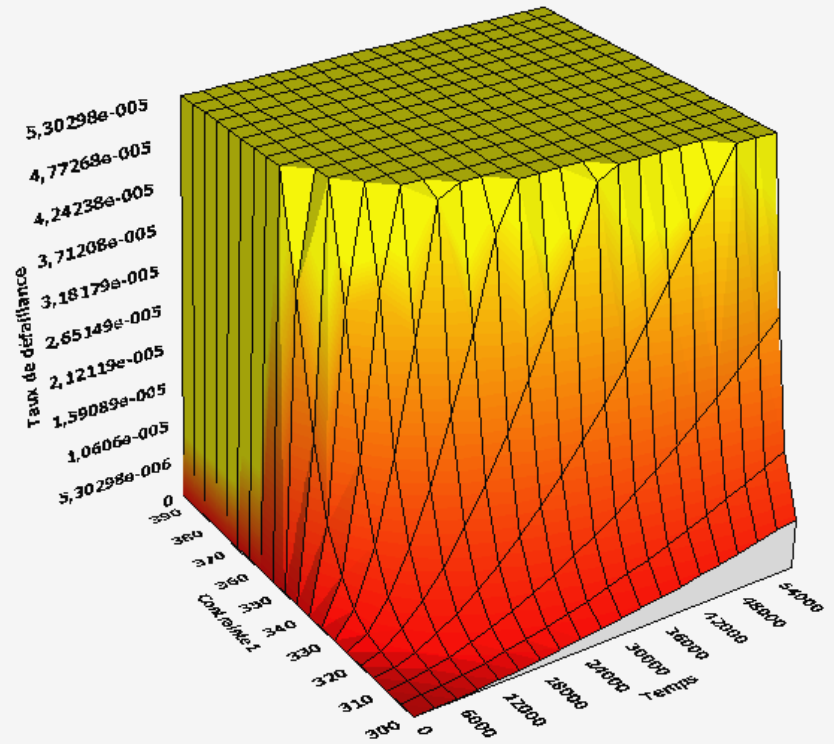
DIMENSIONNEMENT D'ESSAIS ACCELERES



Fdp vs surface de contrainte



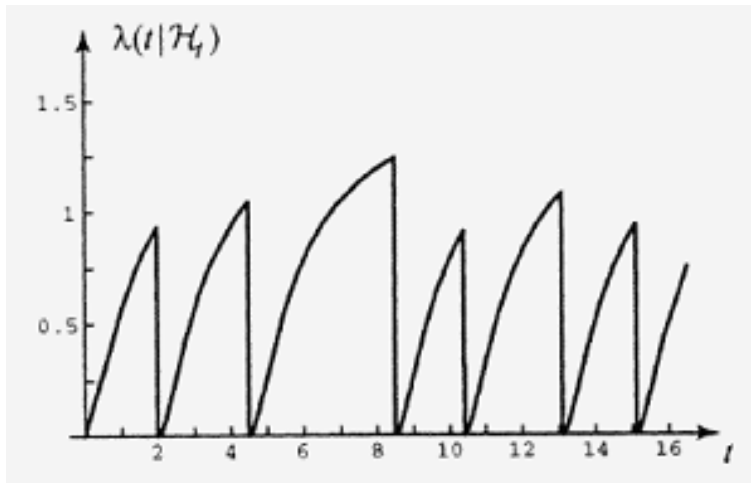
Taux de défaillance vs surface de contrainte



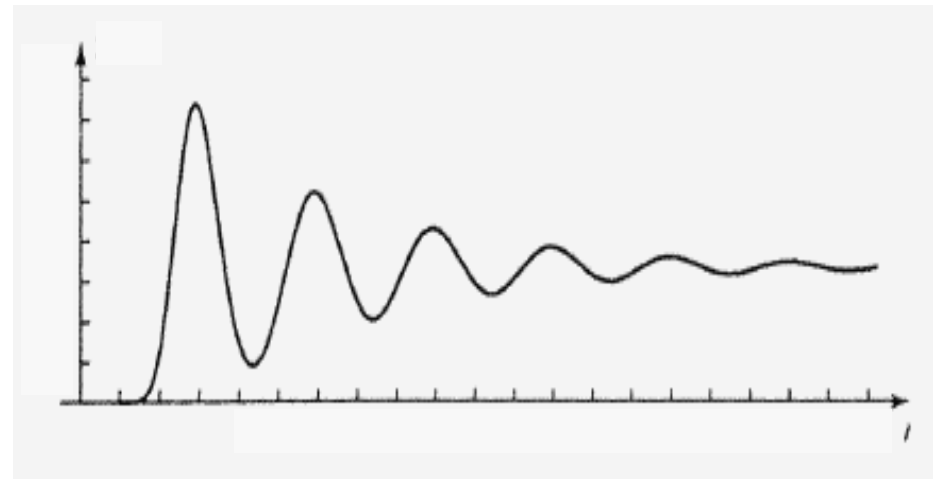


- » Pour un processus de Poisson, Intensité de défaillance \Leftrightarrow Rocof
Ce n'est pas le cas des processus de renouvellement

Illustration :



Intensité de défaillance



Rocof

La **fiabilité** d'un **équipement complet** peut **uniquement** s'exprimer par la notion de **Rocof**.



- » MTBF pour un parc de systèmes en exploitation : généralement défini par :

$$MTBF = \frac{\sum Hrs(T)}{N(T)}$$

Où | ΣHrs est le nombre d'heures de fonctionnement cumulées
| T est la durée d'observation

- » Nombre moyen de pannes du système complet dans le cas d'une distribution de Weibull pour le sous-ensemble à durée de vie limitée :

$$E[N(T)] = \lambda_{elec} \cdot T + \sum_{i=1}^{\infty} \exp^{(i)} \left(- \left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta} \right)$$

S/E
électroniques

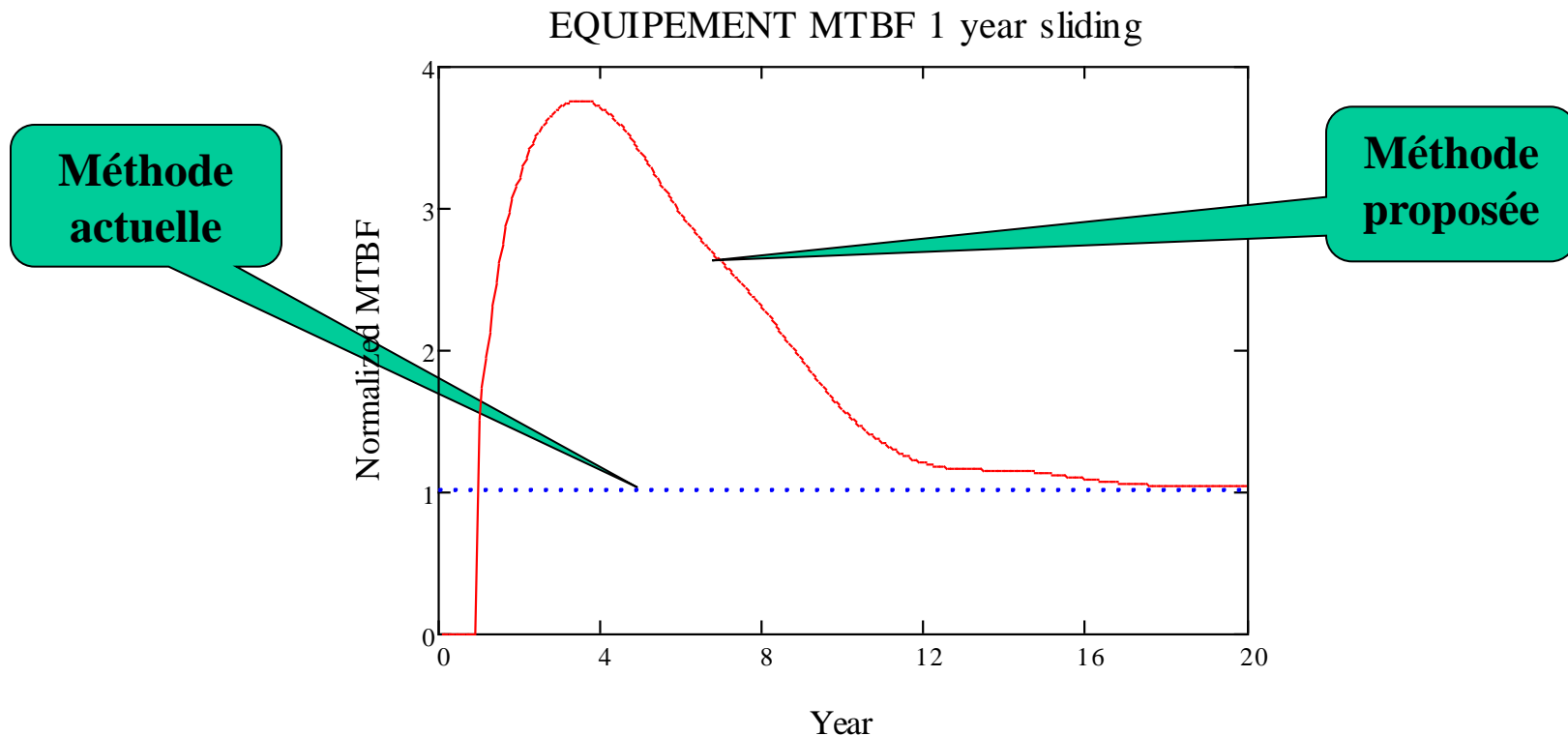
S/E à durée
de vie limitée



EXEMPLE SUR UN EQUIPEMENT AERONAUTIQUE



- » La figure ci dessous illustre la méthode pour un système aéronautique constitué de différentes cartes électroniques et d'un capteur.



- » ***On remarque une différence notable entre les 2 méthodes : le MTBF n'est pas du tout constant dans notre approche.***





- » Le **dimensionnement des stocks** est impacté par la nouvelle expression du nombre de défaillances prévisionnelles.
- » Le **calcul des coûts de garantie** est impacté par la nouvelle expression du MTBF prévisionnel.
- » Le **calcul des coûts de réparation** est impacté par la nouvelle expression du MTBF prévisionnel.

Les résultats obtenus tiennent plus compte de la réalité

Travaux en cours

On observe souvent pendant les 1ères années d'exploitation une croissance de fiabilité due à un manque de maturité des systèmes. Ceci peut être pris en compte par un processus PLP.

