



**FIMA**  
**21 Octobre 2010**

## FIABILITE DES COMPOSANTS AERONAUTIQUES

Grégoire RIZZOTTI

Master 2

Mathématiques et Applications, Modélisation Statistique

Intervenants : Jean-Yves DAUXOIS (UFC)  
Franck BAYLE (THALES)  
Olivier GAUDOIN (ENSIMAG)

21/10/2010

## » Présentation de l'entreprise

## » Présentation du sujet

- Contexte et objectif
- Problématique
- Méthodologie

## » Systèmes non-réparables avec remplacements

- Loi exponentielle
- Loi de Weibull
- Mélange de deux exponentielles

## » Systèmes réparables

- Mises en services simultanées
- Mises en services échelonnées et données opérationnelles

## » Conclusion et perspectives



## » Présentation de l'entreprise

## » Présentation du sujet

- Contexte et objectif
- Problématique
- Méthodologie

## » Systèmes non-réparables avec remplacements

- Loi exponentielle
- Loi de Weibull
- Mélange de deux exponentielles

## » Systèmes réparables

- Mises en services simultanées
- Mises en services échelonnées et données opérationnelles

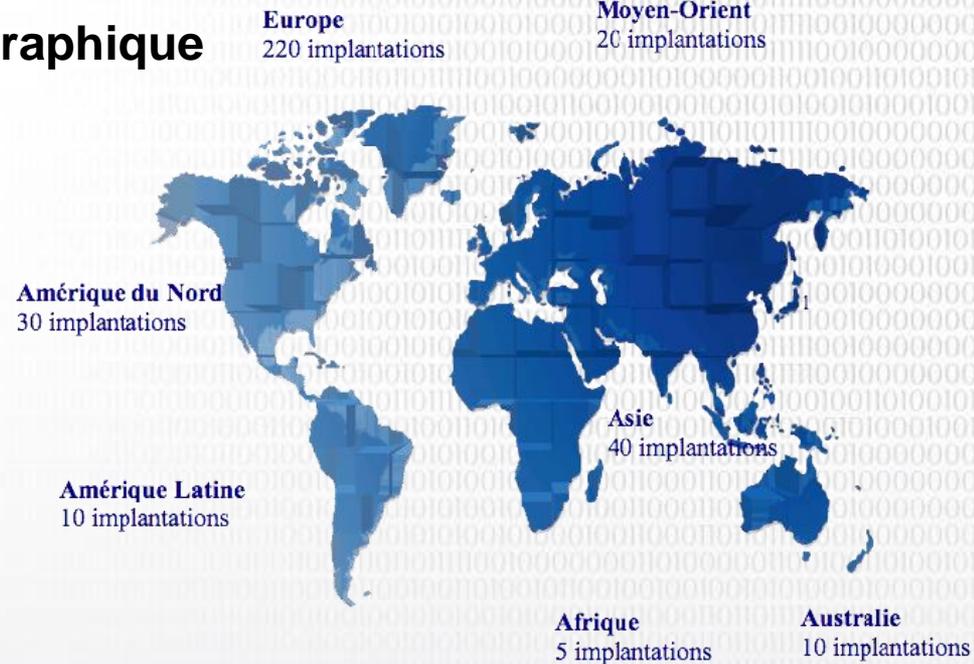
## » Conclusion et perspectives



THALES Group

THALES AVIONICS Valence

## » Répartition géographique



## » Zone d'activité



THALES Group

THALES AVIONICS Valence

## » Zone géographique



## » Les 3 activités majeures

- Systèmes et équipements pour hélicoptères
- Navigation pour avions civils et militaires
- Systèmes d'information

## » Les métiers

- Avionique
  - Electronique
  - Logiciel
  - Micro technologies
  - Capteurs
- MEF**
- 



## » Présentation de l'entreprise

## » Présentation du sujet

- Contexte et objectif
- Problématique
- Méthodologie

## » Systèmes non-réparables avec remplacements

- Loi exponentielle
- Loi de Weibull
- Mélange de deux exponentielles

## » Systèmes réparables

- Mises en services simultanées
- Mises en services échelonnées et données opérationnelles

## » Conclusion et perspectives



Nature des données

Problématique

Méthodologie

## On s'intéresse à la fiabilité opérationnelle d'équipements de l'aéronautique civile

- » Grand nombre d'équipements identiques mis en service à des dates échelonnées en fonction du flux de livraison programmé
- » Déposes confirmées
- » Réparation = renouveler les composants défectueux mais pas l'équipement complet
- » Haut niveau de fiabilité = très peu de pannes observées par équipement
  
- » Objectif client spécifié pour chaque type d'équipement
- » Données fournies mensuellement :
  - par les compagnies aériennes en termes d'heures de vol
  - par les centres de réparation en termes de nombre de déposes observées
  
- » On observe souvent une croissance de fiabilité sur une période pouvant durer plusieurs années



Nature des données

Problématique

Méthodologie

- » Objectif client en terme de MTBF
- » Pénalités si MTBF observé inférieur au MTBF objectif
- » MTBF observé :

$$MTBF_{cum} = \frac{\sum_i FH_i}{\sum_i r_i}$$

- » Questions :
  - Que mesure-t-on avec ce critère ?
  - Peut-on le considérer comme une estimation de la durée de vie moyenne (théorique) de la flotte.
  - Quelle est sa validité, l'erreur commise, ... ?
  - Pourquoi observe-t-on souvent une croissance de fiabilité ?



Nature des données

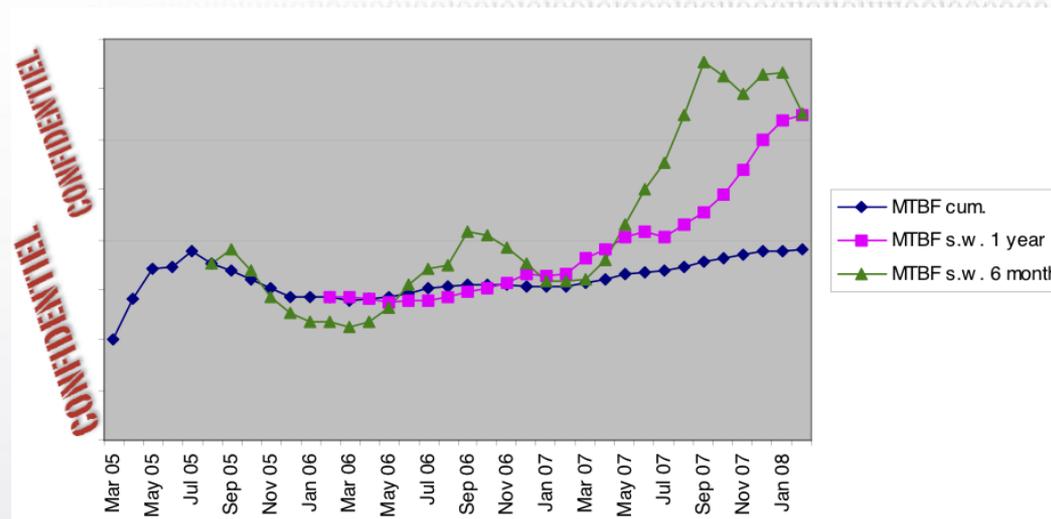
Problématique

Méthodologie

» MTBF sur fenêtre glissante :

$$MTBF_T = \left( \frac{\sum_i FH_i}{\sum_i r_i} \right)_T$$

» Exemple :



» Question :

- Quelle estimation du MTBF est la meilleure ?



Nature des données

Problématique

Méthodologie

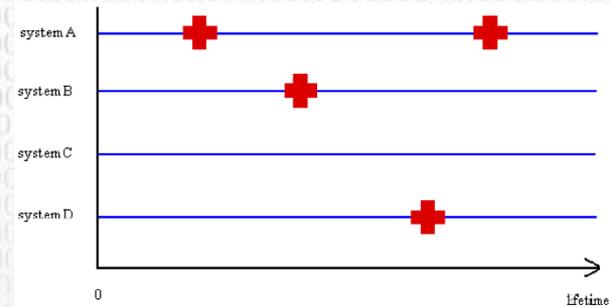
» Durées de vie observées depuis la mise en service jusqu'à un instant  $T_c$   
 ⇒ plan d'essais censuré de type 1 (censure temporelle)

»  $X_i$  = durée de bon fonctionnement de l'équipement  $i$

» Hypothèses :

- $X_i$  sont i.i.d
- Temps de réparation négligeables

$$\Rightarrow MTBF_{th} = \mathbb{E}[X_i]$$



»  $MTBF_{cum}$  est-il un bon estimateur de  $MTBF_{th}$  ?

- En l'absence de censure :

-  $MTBF_{cum}$  = moyenne empirique des durées de bon fonctionnement

⇒ Excellent estimateur de  $MTBF_{th}$

- Déterminer l'impact de la censure



Nature des données

Problématique

Méthodologie

## » 4 cas distincts

- Sans changement de configuration avec loi  $\mathcal{E}(\lambda)$
- Sans changement de configuration avec loi  $\mathcal{W}(\eta, \beta)$
- Avec un changement de configuration avec lois  $\mathcal{E}(\lambda_1)$  et  $\mathcal{E}(\lambda_2)$
- Sans changement de configuration avec loi  $\text{PLP}(\alpha, \beta)$

»  $MTBF_{cum}$  est un bon estimateur sous certaines hypothèses

» Comparaison avec  $MTBF_{MV}$

Comparaison basée sur un calcul d'EQM

» Hypothèses pour les simulations :

Temps de vol commun à chaque avion et constant par mois de 392 heures



## » Présentation de l'entreprise

## » Présentation du sujet

- Contexte et objectif
- Problématique
- Méthodologie

## » **Systemes non-réparables avec remplacements**

- Loi exponentielle
- Loi de Weibull
- Mélange de deux exponentielles

## » **Systemes réparables**

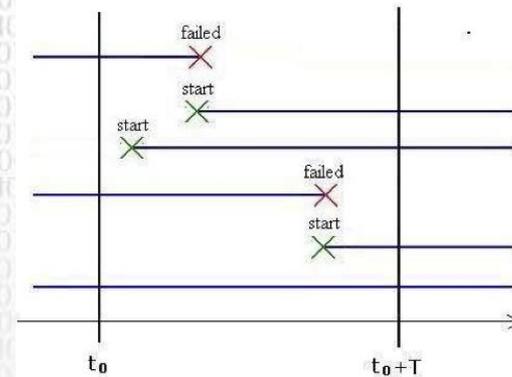
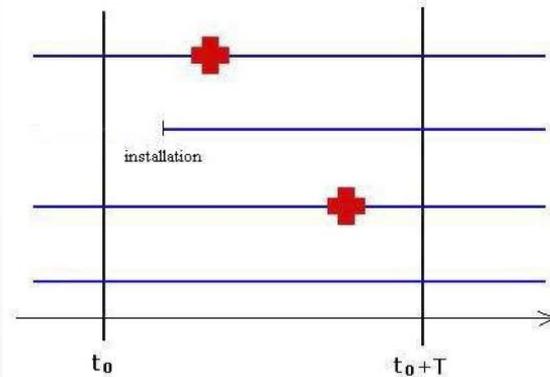
- Mises en services simultanées
- Mises en services échelonnées et données opérationnelles

## » Conclusion et perspectives



» **Processus de renouvellement :**

un système qui présente une panne est remplacé par un neuf identique



» **Lois des durées de vie inconnues**



**simulation des conditions avec MTBF théorique connu.**



# Systèmes non-réparables avec remplacements

Introduction

La loi Exponentielle

La loi de Weibull

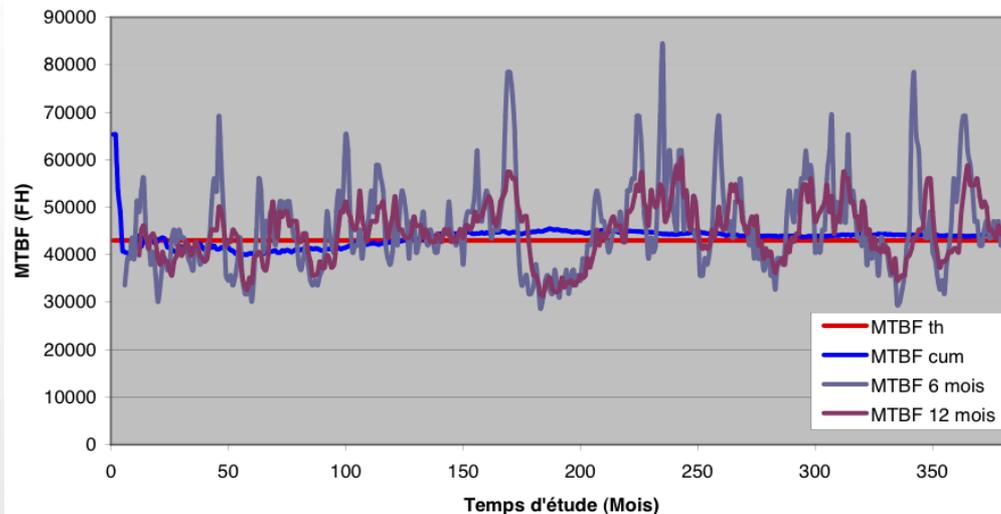
Mélange de deux exponentielles

» On fixe  $MTBF_{th} = 43\ 000$  FH

» **MTBF théorique** :  $MTBF_{th} = 1/\lambda$    $\lambda = 1/43\ 000$

» **MTBF MV** :  $MTBF_{MV} = \frac{1}{\hat{\lambda}_{MV}} = \frac{N \cdot T_C}{r} = MTBF_{cum}$

MTBF cumulé et fenêtres glissantes sur 6 et 12 mois



| Estimateur    | EQM                 |
|---------------|---------------------|
| $MTBF_{cum}$  | $5.253 \times 10^6$ |
| $MTBF_{T=6}$  | $1.062 \times 10^8$ |
| $MTBF_{T=12}$ | $4.345 \times 10^7$ |

» **Meilleur estimateur** :  $MTBF_{cum}$  ( $= MTBF_{MV}$ )

» **Aucun intérêt à l'utilisation de la fenêtre glissante**



# Systèmes non-réparables avec remplacements

Introduction

La loi Exponentielle

La loi de Weibull

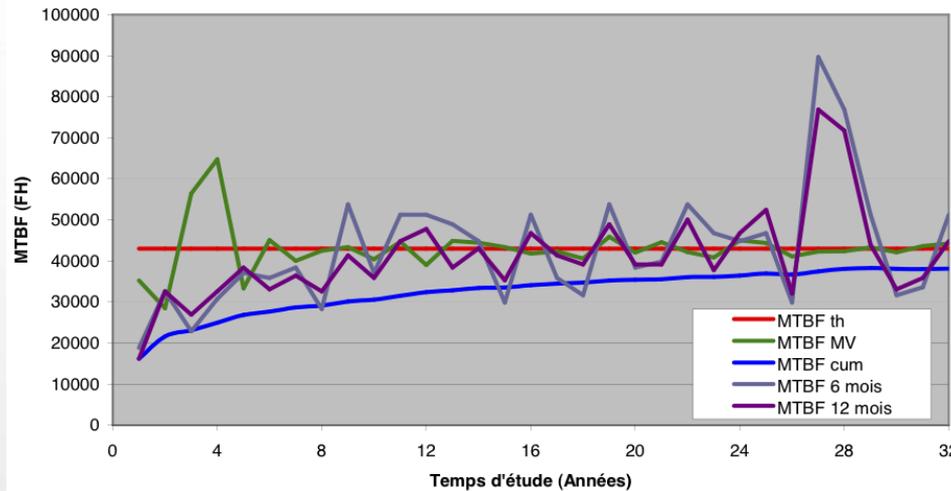
Mélange de deux exponentielles

» On fixe  $MTBF_{th} = 43\ 000$  FH

» **MTBF théorique** :  $MTBF_{th} = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$   $\rightarrow \begin{cases} \beta = 0,7 \\ \eta = 33\ 970 \end{cases}$

» **MTBF MV** :  $\hat{\beta}^{MV}$  et  $\hat{\eta}^{MV}$

MTBF cumulé, fenêtres glissantes et MV



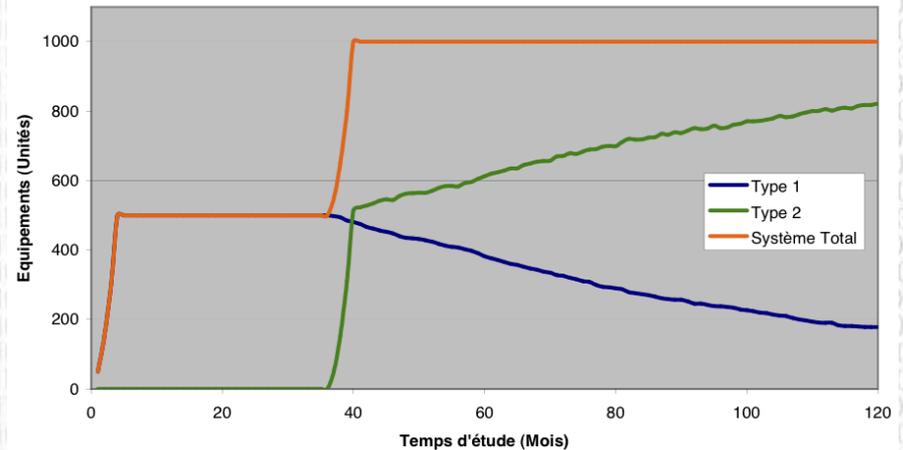
| Estimateur    | EQM                 |
|---------------|---------------------|
| $MTBF_{cum}$  | $1.373 \times 10^8$ |
| $MTBF_{T=6}$  | $2.018 \times 10^8$ |
| $MTBF_{T=12}$ | $1.296 \times 10^8$ |
| $MTBF_{MV}$   | $3.437 \times 10^7$ |

» **Meilleur estimateur** :  $MTBF_{MV} (\neq MTBF_{cum})$

» **Inconvénient** : durées de fonctionnement nécessaires



» Nombre de systèmes considérés :



» MTBF théorique :

$$MTBF_i^{th} = \mathbb{E}[p_i Y_{i,1} + (1 - p_i) Y_{i,2}] = \frac{p_i}{\lambda_1^{th}} + \frac{1 - p_i}{\lambda_2^{th}}$$

» MTBF MV :

$$MTBF_i^{MV} = \frac{p_{i,1}}{\hat{\lambda}_{i,1}^{MV_C}} + \frac{p_{i,2}}{\hat{\lambda}_{i,2}^{MV_C}}$$

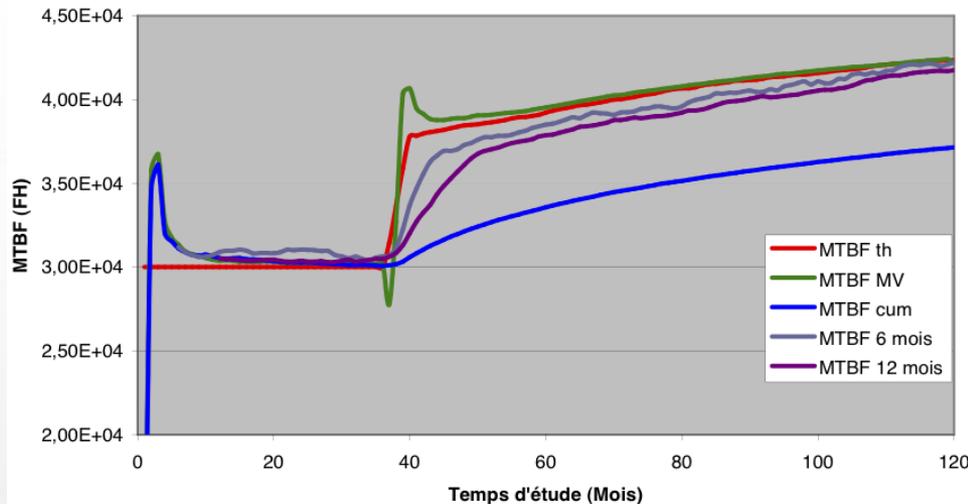
avec  $\hat{\lambda}_{i,k}^{MV_C} = \frac{\sum_{j=1}^i r_{j,k}}{\sum_{k=j} F H_{j,k}}$



## » Remarque : 1 000 simulations

D'où l'absence des variations pour MTBF  $T=6$  et  $T=12$  mois.

Comparaison MTBF MV et non-paramétrique



| Estimateur    | EQM                 |
|---------------|---------------------|
| $MTBF_{cum}$  | $2.673 \times 10^7$ |
| $MTBF_{T=6}$  | $1.05 \times 10^6$  |
| $MTBF_{T=12}$ | $2.643 \times 10^6$ |
| $MTBF_{MV}$   | $5.84 \times 10^5$  |

## » Meilleur estimateur : $MTBF_{MV}$



## » Présentation de l'entreprise

## » Présentation du sujet

- Contexte et objectif
- Problématique
- Méthodologie

## » Systèmes non-réparables avec remplacements

- Loi exponentielle
- Loi de Weibull
- Mélange de deux exponentielles

## » Systèmes réparables

- Mises en services simultanées
- Mises en services échelonnées et données opérationnelles

## » Conclusion et perspectives



» **Les équipements défaillants sont partiellement réparés**

Modèles dédiés à la fiabilité des systèmes réparables  $\implies$  NHPP (PLP)

» **Le PLP est le NHPP dont l'intensité de défaillance est une puissance du temps :**

$$\lambda_t = \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \underbrace{=}_{\alpha = \frac{1}{\eta^\beta}} \alpha \beta t^{\beta-1} \quad \forall \alpha, \beta \in \mathbb{R}^+$$

» **Comparaison avec le logiciel RGA**

Logiciel actuel de THALES pour l'analyse des données

» **Etude**

- Mises en services simultanées
- Mises en services échelonnées
- Données opérationnelles



## » Comparaison des MTBF

- Non-paramétriques :

- Cumulé

$$MTBF_i^{cum} = \frac{\sum_{j=1}^i FH_j}{\sum_{j=1}^i r_j}$$

Fenêtre glissante

$$MTBF_i^T = \frac{\sum_{j=i-T}^i FH_j}{\sum_{j=i-T}^i r_j}$$

- MTTF

$$MTTF_i^{MV} = e^{\hat{\alpha}_i^{MV} \cdot t^{\hat{\beta}_i^{MV}}} \cdot \Gamma \left( \frac{1}{\hat{\beta}_i^{MV}} + 1 \right) \cdot (\hat{\alpha}_i^{MV})^{-\frac{1}{\hat{\beta}_i^{MV}}} \cdot \left[ 1 - F_{\mathcal{G}} \left( \frac{1}{\hat{\beta}_i^{MV}}, \hat{\alpha}_i^{MV} \right) \left( t^{\hat{\beta}_i^{MV}} \right) \right]$$

- Crow :

- Cumulé

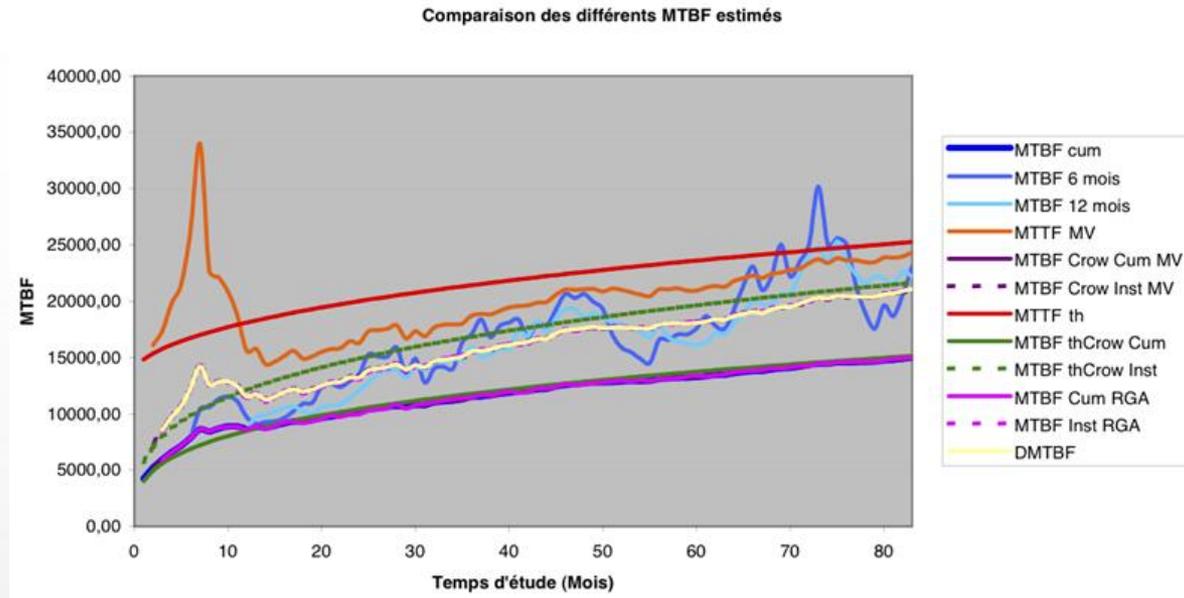
$$MTBF_c(t) = \frac{1}{\alpha} t^{1-\beta}$$

Instantané

$$MTBF_i(t) = \frac{1}{\alpha \beta} t^{1-\beta}$$



## » RGA utilise la méthode de résolution par maximum de vraisemblance



## » 3 comportements distincts :

- MTBF cumulé : temps moyen entre deux pannes en tenant compte du passé
- MTBF instantané : temps moyen entre deux pannes sans tenir compte du passé
- MTTF : estimation du futur temps de panne

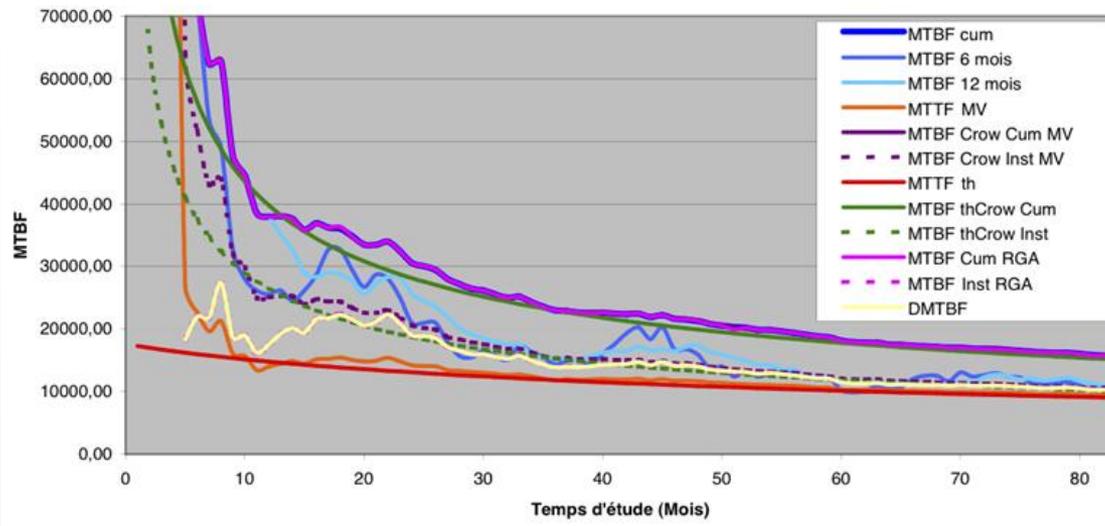


## Cas d'une décroissance de fiabilité

$$\beta = 1,5 \implies \alpha \text{ modifié}$$

- » L'estimation selon RGA n'est plus identique au maximum de vraisemblance

Comparaison des différents MTBF estimés



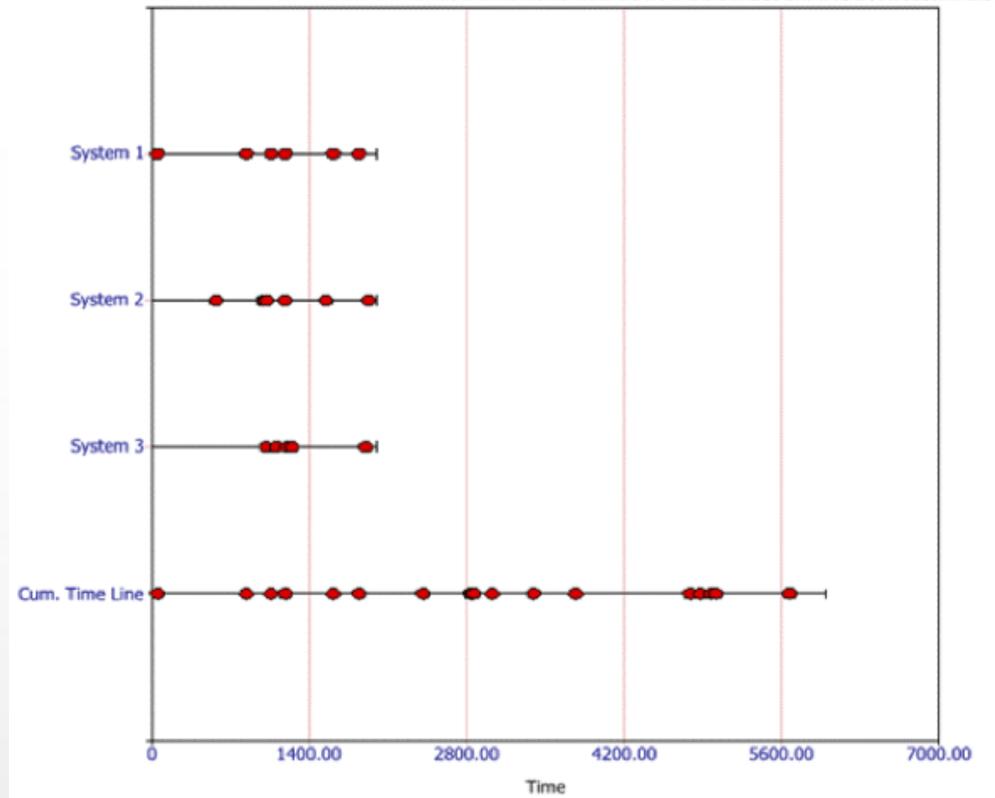
- » Différences d'estimations entre RGA et MV dans le cas instantané
- » Définitions du MTBF cumulé, instantané et MTTF plausibles



Introduction

Mises en services simultanées

Mises en services échelonnées et données opérationnelles

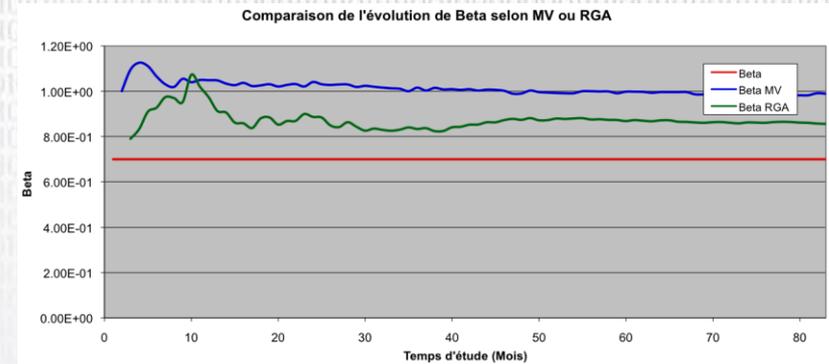
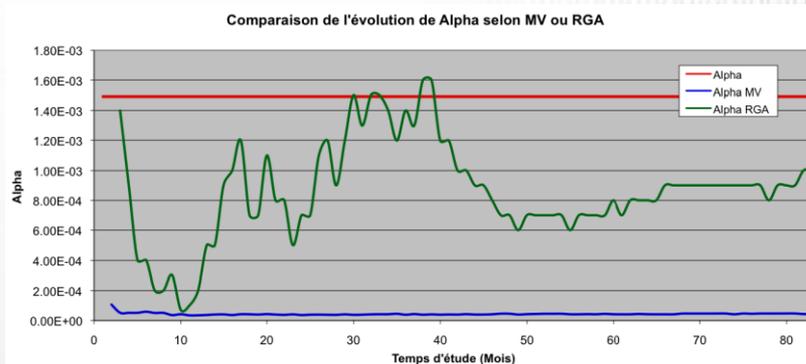


- » Vérifié uniquement dans le cas d'une croissance de fiabilité
- » Conclusion : il apparaît plus logique d'utiliser l'estimation cumulée



## » Mises en services échelonnées

- Flux de livraison basée sur données réelles
- Mauvaises estimations des paramètres
  - Erreur dans l'écriture des équations ?
  - Oubli d'hypothèse(s) ?



## » Données opérationnelles

- Temps de vol par mois variables



## » Présentation de l'entreprise

## » Présentation du sujet

- Contexte et objectif
- Problématique
- Méthodologie

## » Systèmes non-réparables avec remplacements

- Loi exponentielle
- Loi de Weibull
- Mélange de deux exponentielles

## » Systèmes réparables

- Mises en services simultanées
- Mises en services échelonnées et données opérationnelles

## » Conclusion et perspectives



## » Pas raisonnable d'estimer systématiquement le MTBF par le MTBF cumulé

- Estimation correcte si taux de défaillance constant (cas loi exponentielle)
- Sinon l'estimateur par MV est le meilleur ou alors fenêtrage (cas de Weibull ou mélange de deux exponentielles)

## » Démarche idéale :

- Test d'hypothèse sur taux de défaillance et modèle de loi approprié
- Retenir les temps de pannes si le modèle de Weibull est retenu
- Surveiller l'introduction des nouveaux composants

⇒ Évaluation de la fiabilité plus représentative de la réalité

⇒ Mieux répondre à l'exigence client

## » Cas d'un PLP :

- Estimateur non-paramétriques = estimateurs par MV  
(sauf dans le cas instantané pour une décroissance de fiabilité)
- Différence entre MTBF cumulé et MTBF instantané ?



- » **Terminer l'étude d'un PLP dans le cas des mises en service échelonnées avant d'appliquer aux données opérationnelles**
  - ⇒ Réponses sur MTBF cumulé, instantané et MTTF
  
- » **Développer une étude de changement de configuration dans le cas des systèmes réparables**
  
- » **Étude d'un mélange de loi (exponentielle et Weibull)**
  - ⇒ Composants électroniques et composants mécaniques
  
- » **Résolution par MV pour une fenêtre glissante**
  - ⇒ Systèmes réparables et non-réparables





**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

