

## TP SdF N° 36

# Exploitation d'un REX hétérogène

L'objet de ce TP est de montrer l'intérêt d'exploiter des données de retour d'expérience, même quand celles-ci résultent de conditions d'environnement ou d'usage hétérogènes. Les données sont soit traduites au cours de leur traitement dans des mêmes conditions de référence, au moyen de divers facteurs d'accélération, soit directement exploitées par un modèle intégrant des facteurs de dégradation, tel que le modèle de COX.

----

Le retour d'expérience d'une flotte de 100 équipements de même type, mais fonctionnant dans des conditions différentes, est fourni ci-dessous. Parmi ceux-ci, 4 équipements fonctionnent toujours (censure à droite), 3 équipements fonctionnaient déjà à la mise en place du suivi (censure à gauche), et un équipement est tombé en panne pendant une période de congés (censure par intervalle).


**1 – Proposer un modèle prévisionnel de survie de ce type d'équipement en fonction de ses conditions d'exploitation.**

**2 – Caractériser les facteurs de dégradation de cet équipement au moyen d'un modèle de COX que l'on couplera à une loi de Weibull.**

**3 – Identifier la cause probable de défaillance de ce type d'équipement qui n'a pas répondu à l'exigence de fiabilité escomptée.**

| Données                          |                    |                    |                                  |                                | Température | Humidité | Vibration |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------|----------|-----------|
| Durée de fonctionnement (heures) |                    |                    |                                  |                                |             |          |           |
| Données complètes                | Censurées à droite | Censurées à gauche | Censurées par intervalle (début) | Censurées par intervalle (fin) | °C          | %        | gRMS      |
|                                  |                    | 2480,27            |                                  |                                | 46,21       | 26,29    | 31,68     |
|                                  |                    | 1355,06            |                                  |                                | 37,60       | 68,33    | 34,19     |
|                                  |                    | 4702,18            |                                  |                                | 8,11        | 36,52    | 26,75     |
|                                  | 7939,06            |                    |                                  |                                | 52,66       | 23,67    | 2,19      |
|                                  | 8894,08            |                    |                                  |                                | 4,70        | 44,16    | 38,86     |
|                                  | 7107,75            |                    |                                  |                                | 2,32        | 30,30    | 30,03     |
|                                  | 8341,83            |                    |                                  |                                | 27,46       | 49,23    | 37,50     |
|                                  |                    |                    | 6799,66                          | 7299,66                        | 53,42       | 88,03    | 5,88      |
| 4435,93                          |                    |                    |                                  |                                | 47,83       | 68,42    | 45,34     |
| 2366,07                          |                    |                    |                                  |                                | 55,44       | 43,37    | 27,18     |
| 5176,08                          |                    |                    |                                  |                                | 30,97       | 82,41    | 26,60     |
| 4306,05                          |                    |                    |                                  |                                | 59,55       | 76,72    | 3,89      |
| 1715,66                          |                    |                    |                                  |                                | 16,98       | 25,02    | 0,22      |
| 3616,41                          |                    |                    |                                  |                                | 30,67       | 84,90    | 59,04     |
| 4471,53                          |                    |                    |                                  |                                | 37,60       | 46,84    | 14,30     |
| 2070,66                          |                    |                    |                                  |                                | 6,47        | 58,66    | 53,42     |
| 1625,83                          |                    |                    |                                  |                                | 52,57       | 36,98    | 27,83     |
| 3912,78                          |                    |                    |                                  |                                | 6,45        | 34,19    | 46,73     |

*Cliquer sur l'icône pour ouvrir le fichier Excel :*



Données

# 1 - Modèle prévisionnel de survie

N'ayant aucune connaissance a priori sur l'équipement, une loi de Weibull à 3 paramètres est choisie comme loi de survie.

Les durées de fonctionnement sont préalablement converties dans des conditions de référence identiques (à 25°C, 50% d'humidité et 10 gRMS de niveau de vibration par exemple) au moyen d'un facteur d'accélération, tel qu'une loi d'Eyring couplant la loi d'Arrhenius pour la température à 2 lois de type puissance inverse pour l'humidité et le niveau de vibration.

L'ajustement est directement réalisé au moyen du logiciel GENCAB par la méthode du maximum de vraisemblance.

Cette dernière est égale à :

$$\prod_{l=1}^m f(t_i, \theta) \text{ (pour les données complètes)}$$

$$* \prod_{m+1}^n (1-F(t_j, \theta)) \text{ (pour les données censurées à droite)}$$

$$* \prod_{n+1}^o F(t_k, \theta) \text{ (pour les données censurées à gauche)}$$

$$* \prod_{o+1}^p (F(t_m, \theta) - F(t_l, \theta)) \text{ (pour les données censurées par intervalle entre l et m)}$$

avec  $f(t)$  la densité de probabilité et  $F(t)$  la fonction de répartition.

Les adresses des plages de cellules du fichier de données sont saisies au moyen d'une boîte de dialogue puis l'outil génère un fichier de calcul et le traite comme indiqué ci-après.

|    | Durée de fonctionnement (heures) |                    |                    |                                  |                                | Température | Humidité | Vibration |
|----|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------|----------|-----------|
|    | Données complètes                | Censurées à droite | Censurées à gauche | Censurées par intervalle (début) | Censurées par intervalle (fin) | °C          | %        | gRMS      |
| 1  |                                  |                    |                    |                                  |                                | 25          | 50%      | 10        |
| 2  |                                  |                    |                    |                                  |                                | 46,21       | 26,29    | 31,68     |
| 3  |                                  |                    |                    |                                  |                                | 37,60       | 68,33    | 34,19     |
| 4  |                                  |                    | 2480,27            |                                  |                                | 8,11        | 36,52    | 26,75     |
| 5  |                                  |                    | 1365,06            |                                  |                                | 52,66       | 23,67    | 2,19      |
| 6  |                                  |                    | 4702,18            |                                  |                                | 4,70        | 44,16    | 38,86     |
| 7  |                                  | 7939,06            |                    |                                  |                                | 2,32        | 30,30    | 30,03     |
| 8  |                                  | 8894,08            |                    |                                  |                                | 27,46       | 49,23    | 37,60     |
| 9  |                                  | 7107,75            |                    |                                  |                                | 53,42       | 88,03    | 5,88      |
| 10 |                                  | 8341,83            |                    |                                  |                                | 47,83       | 68,42    | 45,34     |
| 11 |                                  |                    |                    | 6799,66                          | 7299,66                        | 55,44       | 43,37    | 27,18     |
| 12 | 4435,93                          |                    |                    |                                  |                                | 30,97       | 82,41    | 26,60     |
| 13 | 2366,07                          |                    |                    |                                  |                                | 59,55       | 76,72    | 3,89      |
| 14 | 5176,08                          |                    |                    |                                  |                                | 16,98       | 25,02    | 0,22      |
| 15 | 5176,08                          |                    |                    |                                  |                                | 30,67       | 84,90    | 59,04     |
| 16 | 4306,05                          |                    |                    |                                  |                                | 37,60       | 46,84    | 14,30     |
| 17 | 1715,66                          |                    |                    |                                  |                                | 6,47        | 58,66    | 53,42     |
| 18 | 3616,41                          |                    |                    |                                  |                                | 52,57       | 36,98    | 27,83     |
| 19 | 4471,53                          |                    |                    |                                  |                                | 6,45        | 34,19    | 46,73     |
| 20 | 2070,66                          |                    |                    |                                  |                                | 4,12        | 24,90    | 18,50     |
| 21 | 1625,83                          |                    |                    |                                  |                                | 11,52       | 68,94    | 48,93     |
| 22 | 3912,78                          |                    |                    |                                  |                                | 28,00       | 58,38    | 3,76      |
| 23 | 2772,24                          |                    |                    |                                  |                                | 37,73       | 71,70    | 49,46     |
| 24 | 3957,96                          |                    |                    |                                  |                                | 22,08       | 51,79    | 26,22     |
| 25 | 471,89                           |                    |                    |                                  |                                | 36,07       | 97,01    | 42,67     |
| 26 | 3103,52                          |                    |                    |                                  |                                | 42,54       | 60,72    | 24,75     |
| 27 | 5091,92                          |                    |                    |                                  |                                | 55,95       | 5,87     | 22,55     |
| 28 | 7372,99                          |                    |                    |                                  |                                |             |          |           |
| 29 | 5176,98                          |                    |                    |                                  |                                |             |          |           |
| 30 | 153,40                           |                    |                    |                                  |                                |             |          |           |

**AJUSTEMENT DE LOIS DE PROBABILITE**

LOI : WEIBULL (3 paramètres)

ACCELERATION : EYRING (3 covariables)

DONNEES (référence des plages de cellules) :

Noms (optionnel) :

Conditions de référence :

Non censurées :

Censurées à droite :

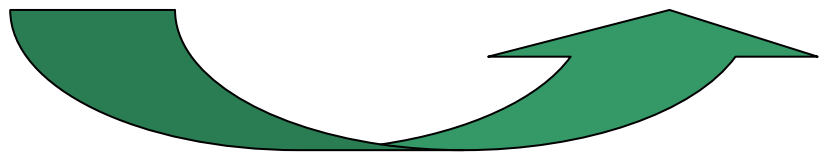
Censurées à gauche :

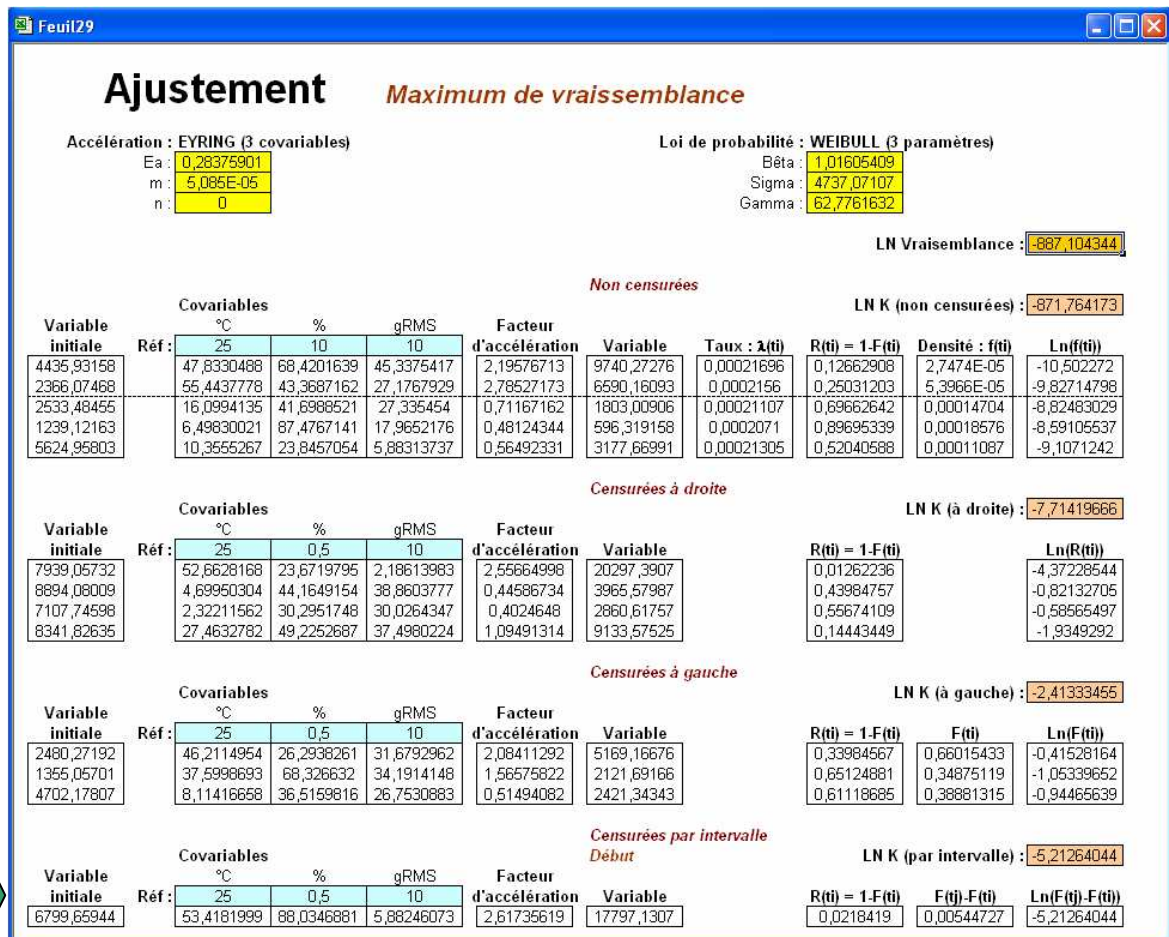
Censurées par intervalle (panne dans l'intervalle)

Début censure :

Fin censure :

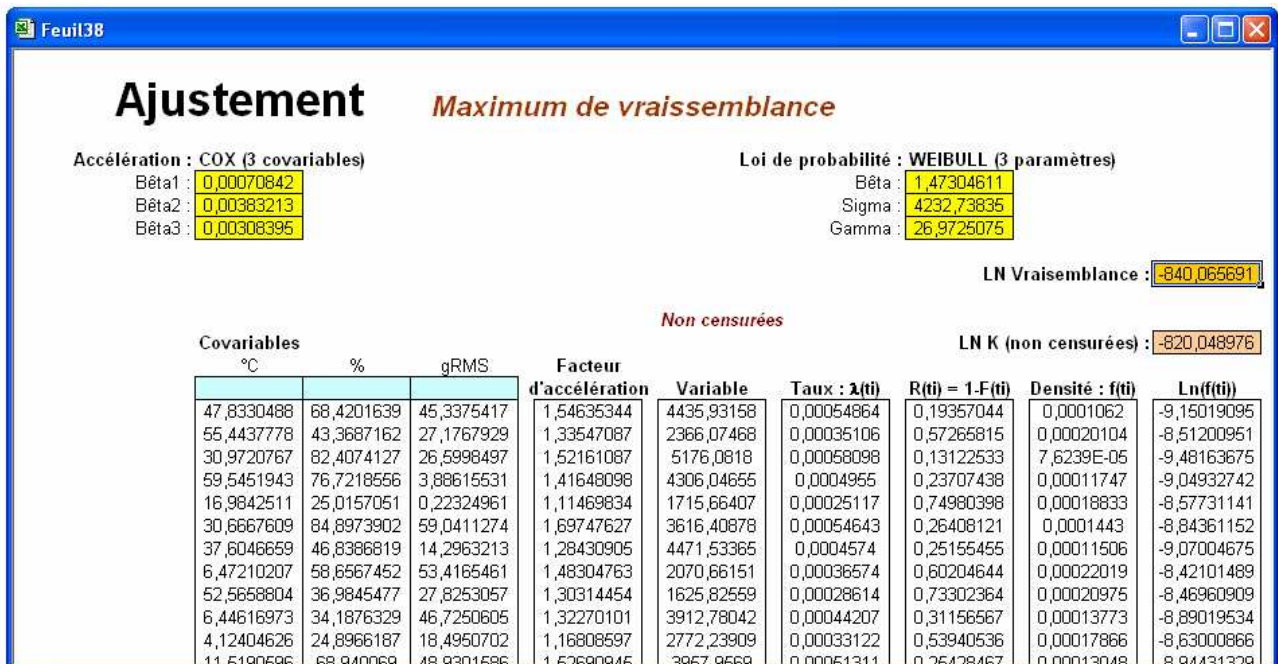
OK      Annuler





## 2 – Caractérisation des facteurs de dégradation de l'équipement au moyen d'un modèle de COX couplé à une loi de Weibull

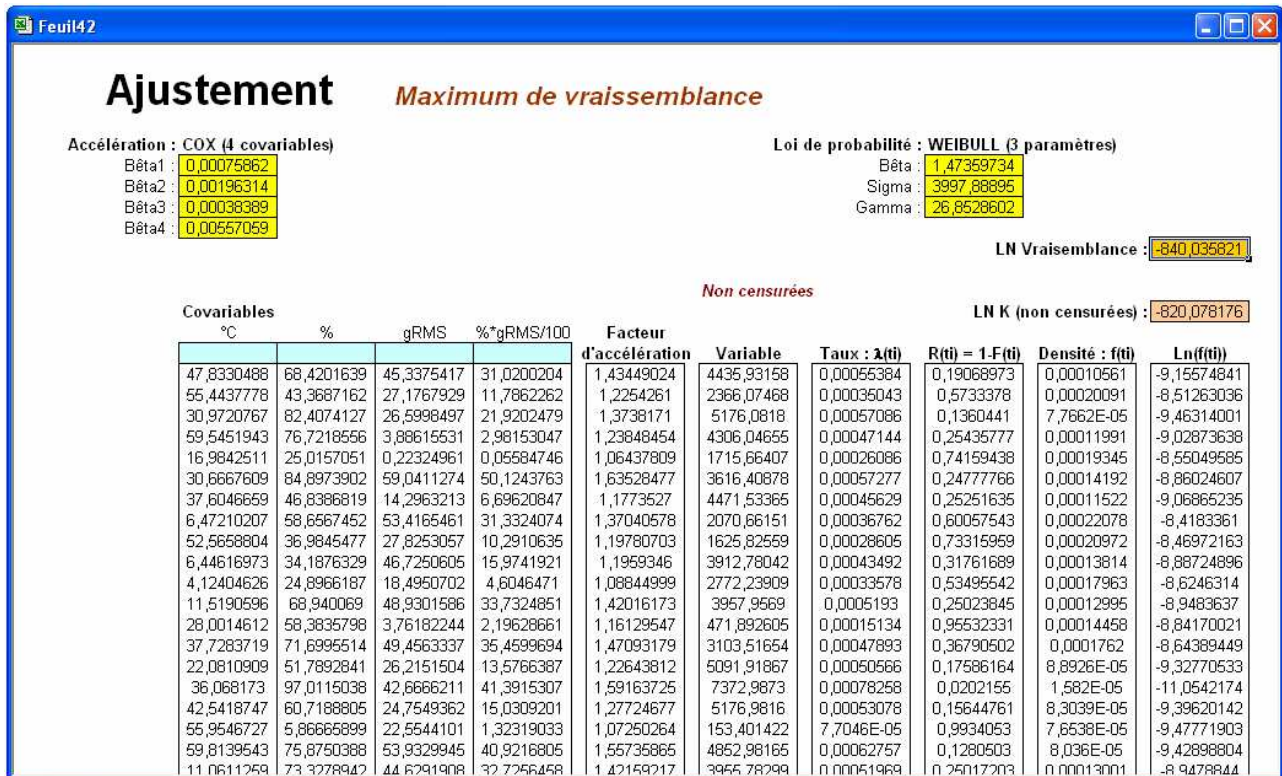
On procède de la même manière que précédemment avec un modèle de COX à 3 covariables.



On constate que l'humidité et les vibrations sont les facteurs de dégradation prépondérants.

Mais existe-il un couplage entre ces 2 facteurs ?

Pour tester cette hypothèse, on considère un facteur supplémentaire fictif égal au produit des deux précédents (que l'on divise par 100 pour rester dans une plage de variation à peu près homogène).



Modèle de COX

Fichier Excel correspondant :

Le nouveau facteur apparaît très prépondérant. Aussi pouvons-nous suggérer au concepteur de l'équipement de vérifier la tenue de l'étanchéité de ce dernier aux vibrations.

**Remarque 1 :**

Le scénario de cette petite enquête était évidemment prévisible puisque le fichier de données a été simulé préalablement de la manière suivante :

Température = ALEA()\*60 Humidité = ALEA()\*100 Vibration = ALEA()\*60

$$T = \text{Gamma} + \text{Sigma} * (-\text{LN}(\text{ALEA}()) / \text{EXP}(\text{Bêta}_1 * X_1 + \text{Bêta}_2 * X_2 + \text{Bêta}_3 * X_3 + \text{Bêta}_4 * X_2 * X_3 / 100))^{1/\text{Bêta}}$$

Avec Bêta = 1,5 ; Sigma = 4000 ; Gamma = 0 ; Bêta<sub>1</sub> = 0,0001 ; Bêta<sub>2</sub> = 0,0002 ; Bêta<sub>3</sub> = 0,0002 et Bêta<sub>4</sub> = 0,005

Nous retrouvons pratiquement ces paramètres après ajustement.

**Remarque 2 :** l'outil propose des plages de variation pour chacun des paramètres qu'il faut parfois modifier pour éviter des limitations numériques quand les termes de densité ou de taux de panne se révèlent trop grands.