

## TP SdF N° 22

# Modélisation et optimisation de la maintenance d'un matériel réparable

Après une maintenance corrective, l'état d'un équipement peut être :

- Aussi bon que neuf (as good as new)
- Dans l'état correspondant à son âge (as bad as old)
- Dans un état intermédiaire (better than old but worse than new)

en excluant les états mieux que neuf ou pire que son âge.

Aussi 3 modèles ont-ils été proposés pour modéliser respectivement ces 3 types de maintenance :

- Le processus de remplacement RP (Renewal Process)
- Le processus non homogène de Poisson NHPP (Non-homogeneous Poisson process)
- Le processus de remplacement généralisé GRP (Generalized Renewal Process) de type 1 ou 2.

L'objet de ce TP est d'étudier ces 3 modèles, de les ajuster à partir de données opérationnelles et de simuler les différents processus de maintenance. Il propose également une optimisation de la durée d'amortissement d'un matériel après exploitation de données de retour d'expérience.

### 1- Modèle RP

1.1 – Ajuster les paramètres  $\beta$  et  $\sigma$  d'une loi de Weibull dans un processus RP à partir du REX suivant :

|            |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t(hr)      | 243 | 360 | 463 | 552 | 852 | 1320 | 1464 | 1543 | 1930 | 1956 | 2101 | 2219 | 2257 | 2331 | 2337 | 2339 | 2370 | 2481 | 2523 | 2594 |
| N°de panne | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   |

1.2 – Estimer, par simulation de Monte-Carlo, le nombre de pannes avant 5000 heures dans le cas d'un processus RP régi par une loi de Weibull de paramètres  $\beta = 2$  et  $\sigma = 500$ .

### 2 – Modèle NHPP

2.1 – Ajuster ces mêmes paramètres dans le cas d'un processus NHPP à partir du REX précédent.

2.2 – Estimer le nombre de pannes avant 5000 heures dans le cas d'un processus NHPP régi par une loi de Weibull de paramètres  $\beta = 2$  et  $\sigma = 500$ .

### 3 - Modèle GRP type 1 et 2

3.1 – Ajuster ces mêmes paramètres dans le cas d'un processus GRP à partir du REX précédent.

3.2 – Estimer le nombre de pannes avant 5000 heures dans le cas d'un processus GRP régi par une loi de Weibull de paramètres  $\beta = 2$ ,  $\sigma = 500$  avec pour facteur de rajeunissement  $p = 0,5$ .

### 4 - Optimisation de la durée d'amortissement

Sachant que la maintenance corrective conduisant au REX précédent a un certain effet de rajeunissement et que son coût représente 10% du coût de remplacement de l'équipement, optimiser la durée d'amortissement de ce dernier (on utilisera le modèle GPR 1).

## 1 - Processus de remplacement RP (Renewal Process)

L'équipement est aussi bon que neuf après chaque action de maintenance corrective. Chaque période de fonctionnement peut être modélisé par une loi de Weibull à 2 paramètres  $\beta$  et  $\sigma$ .

$$\text{Densité de probabilité : } f(t) = \beta t^{\beta-1} / \sigma^\beta \exp(-[t/\sigma]^\beta)$$

1.1. L'ajustement de la loi peut s'effectuer à partir de données opérationnelles (non censurées dans cet exemple) au moyen d'un outil d'optimisation par la méthode du maximum de vraisemblance (voir TP 20). Cette méthode consiste à rechercher le modèle théorique qui donne la densité de probabilité maximale pour les valeurs expérimentales (maximum du produit des densités ou de la somme des logarithmes des densités) :

### Processus de maintenance RP

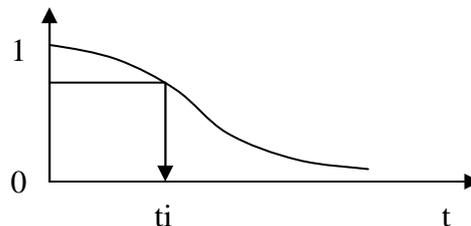
| Ajustement |  | Weibull |
|------------|--|---------|
| Bêta :     |  | 1.04    |
| Sigma :    |  | 131.65  |

| N° de panne | t(hr) | Durée de fonctionnement | Densité de probabilité (logarithmes) |
|-------------|-------|-------------------------|--------------------------------------|
| 1           | 243   | 243                     | -6,70959377                          |
| 2           | 360   | 117                     | -5,7324197                           |
| 3           | 463   | 103                     | -5,62970504                          |
| 4           | 552   | 89                      | -5,52344972                          |
| 5           | 852   | 300                     | -7,16350712                          |
| 6           | 1320  | 467                     | -8,51751817                          |
| 7           | 1464  | 145                     | -5,94328047                          |
| 8           | 1543  | 78                      | -5,44682018                          |
| 9           | 1930  | 387                     | -7,86515336                          |
| 10          | 1956  | 27                      | -5,0933531                           |
| 11          | 2101  | 145                     | -5,94208946                          |
| 12          | 2219  | 118                     | -5,73610189                          |
| 13          | 2257  | 38                      | -5,1663549                           |
| 14          | 2331  | 74                      | -5,41341658                          |
| 15          | 2337  | 6                       | -5,00050336                          |
| 16          | 2339  | 3                       | -5,00813215                          |
| 17          | 2370  | 30                      | -5,11545064                          |
| 18          | 2481  | 112                     | -5,69149645                          |
| 19          | 2523  | 42                      | -5,19054222                          |
| 20          | 2594  | 71                      | -5,39588725                          |
|             |       |                         | -117,284776 Max                      |



Ajustement RP.xls  
(14 Ko)

1.2. Chaque période de fonctionnement peut être simulée en tirant une valeur aléatoire entre 0 et 1 et en lui appliquant l'inverse de la fonction de répartition de la loi de Weibull :



Fonction de répartition :  $F(t) = 1 - \exp(-[t/\sigma]^\beta)$

Fonction inverse :  $t = -\sigma \cdot \ln(1 - F(t))^{1/\beta}$

$t_i = \sigma \cdot (-\ln(\text{ALEA}()))^{1/\beta}$  sous Excel ou  $t_i = L\_Wei(\beta; \sigma; 0)$  sous l'outil SIMCAB

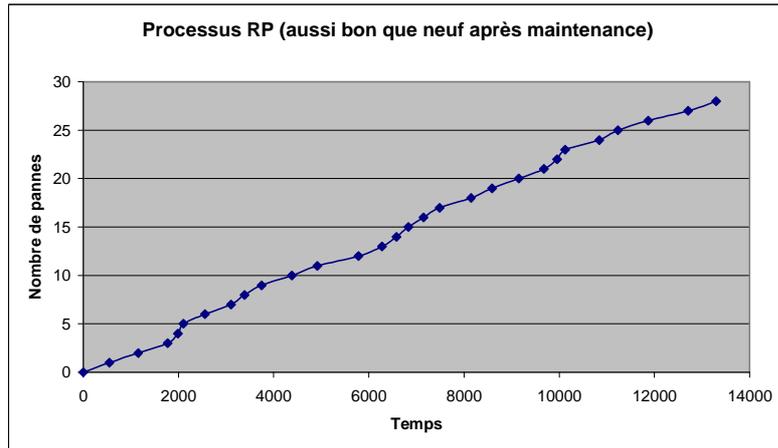
L'instant de la ième panne correspond alors à la somme des i périodes de fonctionnement :

$$T_i = \sum_{l=1}^i t_l$$

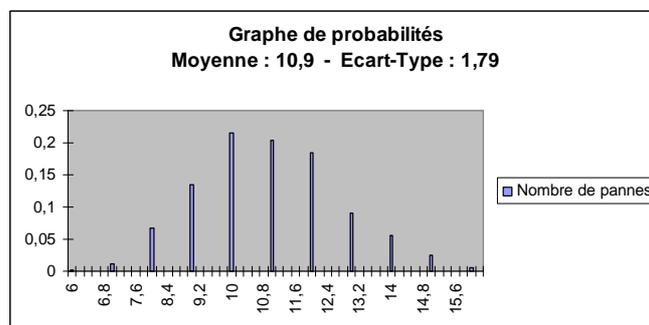
## Processus de maintenance RP

Bêta : 2  
Sigma : 500

| T     | Nb pannes |
|-------|-----------|
| 0     | 0         |
| 548   | 1         |
| 1152  | 2         |
| 1773  | 3         |
| 1987  | 4         |
| 2108  | 5         |
| 2559  | 6         |
| 3106  | 7         |
| 3386  | 8         |
| 3743  | 9         |
| 4380  | 10        |
| 4916  | 11        |
| 5782  | 12        |
| 6276  | 13        |
| 6581  | 14        |
| 6827  | 15        |
| 7145  | 16        |
| 7490  | 17        |
| 8144  | 18        |
| 8590  | 19        |
| 9152  | 20        |
| 9680  | 21        |
| 9956  | 22        |
| 10125 | 23        |
| 10836 | 24        |
| 11230 | 25        |
| 11864 | 26        |
| 12703 | 27        |
| 13292 | 28        |
| 13823 | 29        |
| 13865 | 30        |
| 14330 | 31        |
| 15404 | 32        |
| 16007 | 33        |
| 16511 | 34        |
| 17214 | 35        |
| 17442 | 36        |
| 17736 | 37        |



Nombre de pannes avant 5000 heures : 11



RP.xls (46 Ko)

## 2 - Processus non homogène de Poisson NHPP (Non-homogeneous Poisson process)

La maintenance corrective n'a pas d'effet sur le vieillissement de l'équipement.

La probabilité que l'équipement soit en panne à  $t$ , sachant qu'il a été réparé à  $t_r$  est égale à :

$$[F(t)-F(t_r)]/R(t_r) = (1-R(t)-1+R(t_r)) / R(t_r) = 1 - R(t)/R(t_r)$$

La fonction de répartition correspondante est :  $F'(t) = 1 - \exp[-(t/\sigma)^\beta - (t_r/\sigma)^\beta]$

Et celle de la densité de probabilité est :  $f'(t) = \beta t^{\beta-1}/\sigma^\beta \exp[-(t_r/\sigma)^\beta - (t/\sigma)^\beta]$

2.1. L'ajustement de la loi peut s'effectuer de la même manière que précédemment à partir de l'expression de la densité de probabilité.

# Processus de maintenance NHPP

Weibull  
 Bêta : 1,66  
 Sigma : 426,39

| N° de panne | t(hr) | Durée de fonctionnement | Densité de probabilité (logarithmes) |
|-------------|-------|-------------------------|--------------------------------------|
| 1           | 243   | 243                     | -6,31311217                          |
| 2           | 360   | 117                     | -6,02236295                          |
| 3           | 463   | 103                     | -5,88680438                          |
| 4           | 552   | 89                      | -5,76673715                          |
| 5           | 852   | 300                     | -6,71223432                          |
| 6           | 1320  | 467                     | -8,16451459                          |
| 7           | 1464  | 145                     | -5,96452886                          |
| 8           | 1543  | 78                      | -5,40178675                          |
| 9           | 1930  | 387                     | -8,35240905                          |
| 10          | 1956  | 27                      | -4,82564987                          |
| 11          | 2101  | 145                     | -6,0711842                           |
| 12          | 2219  | 118                     | -5,79407358                          |
| 13          | 2257  | 38                      | -4,89348962                          |
| 14          | 2331  | 74                      | -5,3000978                           |
| 15          | 2337  | 6                       | -4,50186862                          |
| 16          | 2339  | 3                       | -4,45877744                          |
| 17          | 2370  | 30                      | -4,78068848                          |
| 18          | 2481  | 112                     | -5,75347523                          |
| 19          | 2523  | 42                      | -4,89964297                          |
| 20          | 2594  | 71                      | -5,26355104                          |
|             |       |                         | -115,126989 Max                      |



Ajustement NHPP.xls (17 Ko)

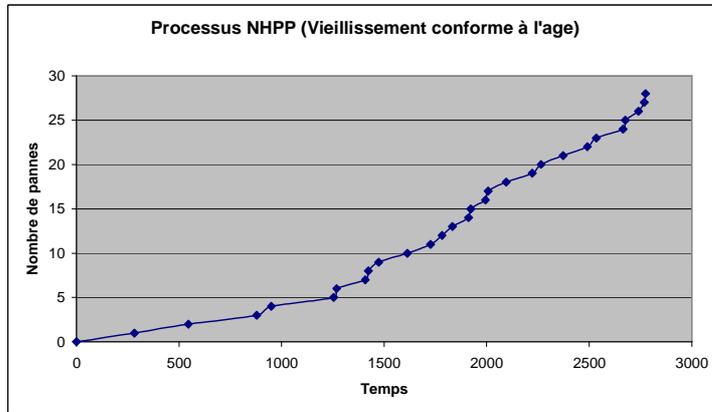
2.2. L'occurrence des pannes peut être simulée en tirant une valeur aléatoire entre 0 et 1 et en lui appliquant l'inverse de la fonction de répartition :

Fonction inverse :  $t = \sigma[-\ln(1-F'(t)) + (tr/\sigma)^\beta]^{1/\beta}$        $t_j = \sigma * (-\ln(ALEA())) + (t_i/\sigma)^\beta)^{1/\beta}$  sous Excel

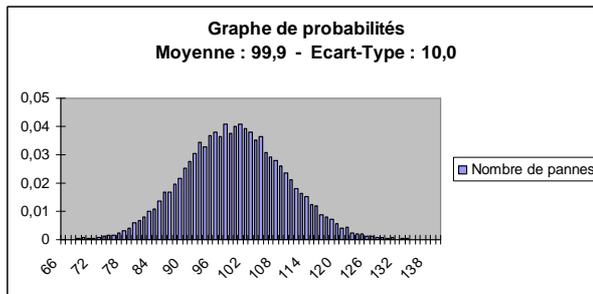
## Processus de maintenance NHPP

Bêta : 2  
 Sigma : 500

| T    | Nb pannes |
|------|-----------|
| 0    | 0         |
| 283  | 1         |
| 545  | 2         |
| 879  | 3         |
| 950  | 4         |
| 1255 | 5         |
| 1268 | 6         |
| 1408 | 7         |
| 1423 | 8         |
| 1473 | 9         |
| 1613 | 10        |
| 1726 | 11        |
| 1782 | 12        |
| 1833 | 13        |
| 1912 | 14        |
| 1921 | 15        |
| 1993 | 16        |
| 2007 | 17        |
| 2094 | 18        |
| 2221 | 19        |
| 2265 | 20        |
| 2373 | 21        |
| 2491 | 22        |
| 2534 | 23        |
| 2665 | 24        |
| 2676 | 25        |
| 2739 | 26        |
| 2768 | 27        |
| 2774 | 28        |
| 2801 | 29        |
| 2838 | 30        |
| 2867 | 31        |
| 2873 | 32        |
| 2881 | 33        |
| 2929 | 34        |
| 2954 | 35        |
| 2998 | 36        |
| 3017 | 37        |



Nombre de pannes avant 5000 heures : 96



NHPP.xls (61 Ko)

### 3 - Processus de remplacement généralisé GRP (Generalized Renewal Process)

#### 3.1. GRP type 1 ou modèle de Kijima1

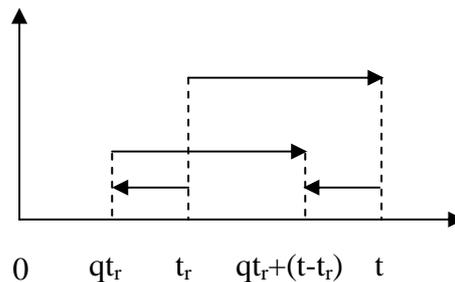
Dans le modèle GRP type 1, la maintenance corrective a un effet de rajeunissement de l'équipement proportionnel à la durée écoulée depuis la maintenance précédente. L'âge virtuel  $A_r$  de l'équipement à l'instant  $t_r$  juste après la  $r^{\text{ème}}$  action de maintenance est égal à :

$$A_r = A_{r-1} + q^*(t_r - t_{r-1}) = A_{r-2} + q^*(t_{r-1} - t_{r-2}) + q^*(t_r - t_{r-1}) = q^*t_r$$

avec  $q$  le facteur de rajeunissement.

$q = 0$  : rajeunissement complet (équivalent à un processus RP)

$q = 1$  : absence de rajeunissement (équivalent à un processus NHPP)



La fonction de répartition correspondante est :  $F'(t) = 1 - \exp[-(qt_r/\sigma)^\beta - ((qt_r+(t-t_r))/\sigma)^\beta]$

Et celle de la densité de probabilité est :  $f'(t) = \beta(qt_r+(t-t_r))^{\beta-1}/\sigma^\beta \exp[-(qt_r/\sigma)^\beta - ((qt_r+(t-t_r))/\sigma)^\beta]$

L'ajustement de la loi peut s'effectuer de la même manière que précédemment à partir de l'expression de la densité de probabilité.

## Processus de maintenance GRP 1

|            |         |        |
|------------|---------|--------|
| Ajustement | Weibull |        |
|            | Bêta :  | 2,09   |
|            | Sigma : | 329,85 |
|            | q :     | 0,23   |

| N° de panne | t(hr) | Durée de fonctionnement | Densité de probabilité (logarithmes) |
|-------------|-------|-------------------------|--------------------------------------|
| 1           | 243   | 243                     | -5,92383484                          |
| 2           | 360   | 117                     | -6,00150898                          |
| 3           | 463   | 103                     | -5,93401072                          |
| 4           | 552   | 89                      | -5,87513562                          |
| 5           | 852   | 300                     | -6,35766891                          |
| 6           | 1320  | 467                     | -8,2500704                           |
| 7           | 1464  | 145                     | -5,78491128                          |
| 8           | 1543  | 78                      | -5,38730482                          |
| 9           | 1930  | 387                     | -8,42863974                          |
| 10          | 1956  | 27                      | -4,92190638                          |
| 11          | 2101  | 145                     | -5,92704926                          |
| 12          | 2219  | 118                     | -5,68464885                          |
| 13          | 2257  | 38                      | -4,91806633                          |
| 14          | 2331  | 74                      | -5,25022307                          |
| 15          | 2337  | 6                       | -4,59656735                          |
| 16          | 2339  | 3                       | -4,56280448                          |
| 17          | 2370  | 30                      | -4,81131328                          |
| 18          | 2481  | 112                     | -5,66643929                          |
| 19          | 2523  | 42                      | -4,89297745                          |
| 20          | 2594  | 71                      | -5,21366001                          |
|             |       |                         | -114,388741 Max                      |



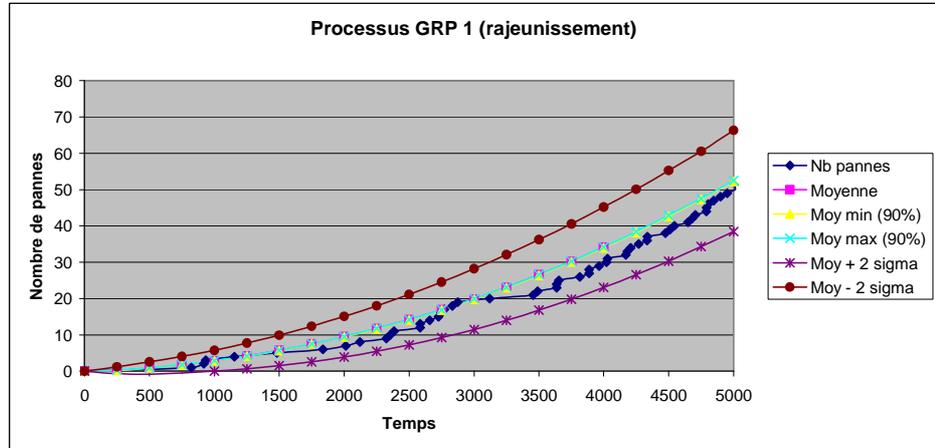
Ajustement  
GRP\_1.xls (17 Ko)

La fonction inverse de la fonction de répartition est alors :

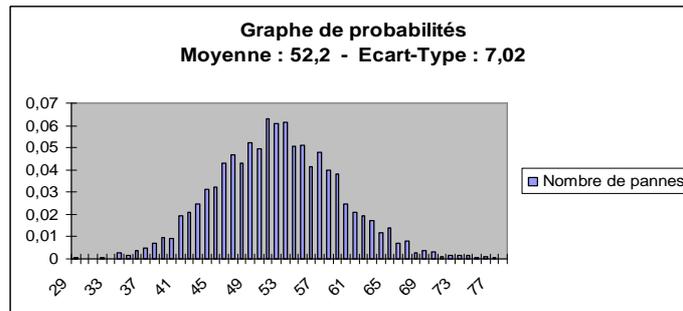
$$t = tr + \sigma [-\ln(1 - F'(t)) + (q * tr / \sigma)^\beta]^{1/\beta} - q * tr$$

### Processus de maintenance GRP 1

|          |                  |
|----------|------------------|
| Bêta :   | 2                |
| Sigma :  | 500              |
| q :      | 0,5              |
| <b>T</b> | <b>Nb pannes</b> |
| 0        | 0                |
| 822      | 1                |
| 918      | 2                |
| 935      | 3                |
| 1154     | 4                |
| 1482     | 5                |
| 1836     | 6                |
| 2012     | 7                |
| 2121     | 8                |
| 2324     | 9                |
| 2355     | 10               |
| 2385     | 11               |
| 2586     | 12               |
| 2587     | 13               |
| 2657     | 14               |
| 2727     | 15               |
| 2747     | 16               |
| 2772     | 17               |
| 2832     | 18               |
| 2876     | 19               |
| 3119     | 20               |
| 3455     | 21               |
| 3490     | 22               |
| 3635     | 23               |
| 3637     | 24               |
| 3654     | 25               |
| 3816     | 26               |
| 3885     | 27               |
| 3886     | 28               |
| 3962     | 29               |
| 4021     | 30               |
| 4027     | 31               |
| 4169     | 32               |
| 4183     | 33               |
| 4206     | 34               |
| 4269     | 35               |
| 4334     | 36               |
| 4336     | 37               |
| 4476     | 38               |



Nombre de pannes avant 5000 heures : 49



GRP1.xls (49 Ko)

### 3.2. GRP type 2 ou modèle de Kijima2

Le modèle GRP type 2 diffère du modèle GRP type 1 par le fait que la maintenance corrective conduit à un rajeunissement de l'équipement proportionnel à son âge virtuel. L'âge virtuel  $A_r$  de l'équipement à l'instant  $t_r$  juste après la  $r^{\text{ème}}$  action de maintenance est égal à :

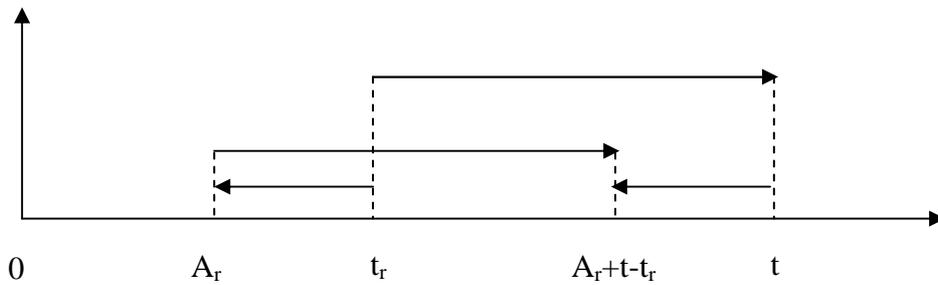
$$A_r = q * (A_{r-1} + t_r - t_{r-1}) = q * (q * (A_{r-2} + t_{r-1} - t_{r-2}) + t_r - t_{r-1}) = q^r * t_1 + q^{r-1} * (t_2 - t_1) + \dots + q * (t_r - t_{r-1})$$

$$A_r = \sum_{i=1}^r q^{r-i+1} * (t_i - t_{i-1})$$

avec  $q$  le facteur de rajeunissement.

$q = 0$  : rajeunissement complet (équivalent à un processus RP)

$q = 1$  : absence de rajeunissement (équivalent à un processus NHPP)



La fonction de répartition correspondante est :

$$F'(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{A_r}{\sigma}\right)^\beta - \left(\frac{A_r + t - t_r}{\sigma}\right)^\beta\right]$$

Et celle de la densité de probabilité est :

$$f'(t) = \beta(A_r + t - t_r)^{\beta-1} / \sigma^\beta \exp\left[-\left(\frac{A_r}{\sigma}\right)^\beta - \left(\frac{A_r + t - t_r}{\sigma}\right)^\beta\right]$$

L'ajustement de la loi peut s'effectuer de la même manière que précédemment à partir de l'expression de la densité de probabilité.

## Processus de maintenance GRP 2

| Ajustement |  | Weibull |
|------------|--|---------|
| Bêta :     |  | 1,66    |
| Sigma :    |  | 426,39  |
| q :        |  | 1,00    |

| N° de panne | t(hr) | Durée de fonctionnement | Age virtuel | Densité de probabilité (logarithmes) |
|-------------|-------|-------------------------|-------------|--------------------------------------|
| 1           | 243   | 243                     | 243         | -6,31311211                          |
| 2           | 360   | 117                     | 360         | -6,02236289                          |
| 3           | 463   | 103                     | 463         | -5,88680433                          |
| 4           | 552   | 89                      | 552         | -5,7667371                           |
| 5           | 852   | 300                     | 852         | -6,71223437                          |
| 6           | 1320  | 467                     | 1320        | -8,16451474                          |
| 7           | 1464  | 145                     | 1464        | -5,96452887                          |
| 8           | 1543  | 78                      | 1543        | -5,40178674                          |
| 9           | 1930  | 387                     | 1930        | -8,35240919                          |
| 10          | 1956  | 27                      | 1956        | -4,82564984                          |
| 11          | 2101  | 145                     | 2101        | -6,07118423                          |
| 12          | 2219  | 118                     | 2219        | -5,79407359                          |
| 13          | 2257  | 38                      | 2257        | -4,89348959                          |
| 14          | 2331  | 74                      | 2331        | -5,3000978                           |
| 15          | 2337  | 6                       | 2337        | -4,50186858                          |
| 16          | 2339  | 3                       | 2339        | -4,4587774                           |
| 17          | 2370  | 30                      | 2370        | -4,78068846                          |
| 18          | 2481  | 112                     | 2481        | -5,75347525                          |
| 19          | 2523  | 42                      | 2523        | -4,89964295                          |
| 20          | 2594  | 71                      | 2594        | -5,26355104                          |
|             |       |                         |             | -115,126989 Max                      |



Ajustement  
GRP\_2.xls (18 Ko)

On constate qu'avec les données fournies, le coefficient q vient en limite de son domaine (la maintenance a un effet de vieillissement et non pas de rajeunissement par rapport à l'âge virtuel).

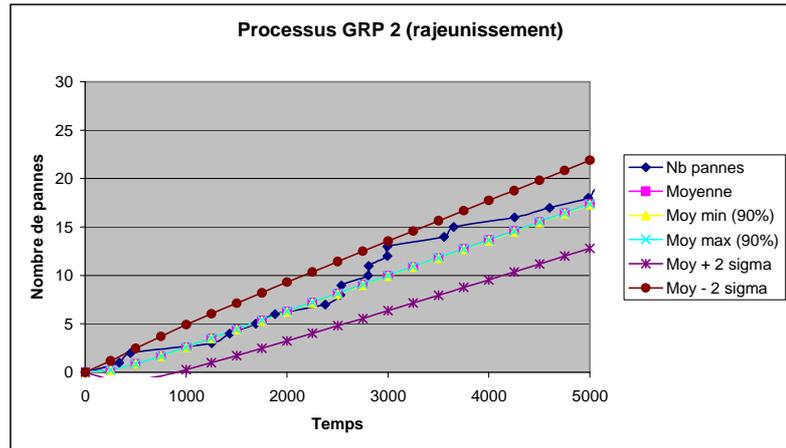
La fonction inverse de la fonction de répartition est alors :

$$t = t_r + \sigma \left[ -\ln(1 - F'(t)) + \left(\frac{A_r}{\sigma}\right)^\beta \right]^{1/\beta} - A_r$$

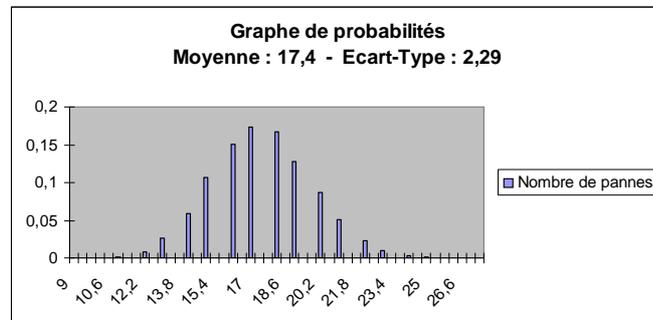
## Processus de maintenance GRP 2

Bêta : 2  
Sigma : 500  
q : 0,5

| T    | Age virtuel | Nb pannes |
|------|-------------|-----------|
| 0    | 0           | 0         |
| 336  | 168         | 1         |
| 447  | 140         | 2         |
| 1251 | 472         | 3         |
| 1429 | 325         | 4         |
| 1688 | 292         | 5         |
| 1881 | 243         | 6         |
| 2379 | 370         | 7         |
| 2529 | 260         | 8         |
| 2536 | 133         | 9         |
| 2804 | 200         | 10        |
| 2809 | 103         | 11        |
| 2992 | 143         | 12        |
| 2994 | 72          | 13        |
| 3554 | 316         | 14        |
| 3651 | 207         | 15        |
| 4253 | 404         | 16        |
| 4600 | 376         | 17        |
| 4982 | 379         | 18        |
| 5072 | 234         | 19        |
| 5523 | 343         | 20        |
| 5524 | 172         | 21        |
| 5547 | 97          | 22        |
| 5725 | 138         | 23        |
| 6523 | 468         | 24        |
| 6680 | 312         | 25        |
| 6887 | 260         | 26        |
| 6964 | 169         | 27        |
| 7068 | 136         | 28        |
| 7332 | 200         | 29        |
| 7607 | 237         | 30        |
| 7824 | 227         | 31        |
| 8016 | 210         | 32        |
| 8050 | 122         | 33        |
| 8362 | 217         | 34        |
| 8585 | 220         | 35        |
| 8624 | 129         | 36        |
| 8801 | 153         | 37        |
| 9387 | 369         | 38        |



Nombre de pannes avant 5000 heures : 18



GRP2.xls (83 Ko)

Afin de valider les modèles d'ajustement et de simulation, les paramètres initiaux peuvent être retrouvés par ajustement à partir de valeurs simulées (200 valeurs environ) :

## Processus de maintenance GRP 2

Ajustement Weibull

Bêta : 2,13  
Sigma : 523,64  
q : 0,53

| N° de panne | t(hr) | Durée de fonctionnement | Age virtuel | Densité de probabilité (logarithmes) |
|-------------|-------|-------------------------|-------------|--------------------------------------|
| 1           | 561   | 561                     | 300         | -6,58254864                          |
| 2           | 662   | 102                     | 215         | -6,06717449                          |
| 3           | 778   | 115                     | 177         | -6,25022157                          |
| 4           | 912   | 134                     | 166         | -6,32406909                          |
| 5           | 1407  | 495                     | 354         | -6,79641983                          |
| 6           | 1531  | 125                     | 256         | -5,99721766                          |
| 7           | 1915  | 384                     | 342         | -6,59321524                          |
| 8           | 1961  | 45                      | 207         | -5,96644382                          |
| 9           | 2107  | 146                     | 189         | -6,24235221                          |
| 10          | 2526  | 419                     | 325         | -6,59542749                          |
| 11          | 2692  | 167                     | 263         | -6,08696065                          |
| 12          | 3094  | 402                     | 356         | -6,66744369                          |
| 13          | 3235  | 141                     | 266         | -6,01876929                          |
| 14          | 3713  | 477                     | 398         | -6,98040961                          |
| 15          | 3856  | 144                     | 290         | -5,98319561                          |
| 16          | 4113  | 257                     | 292         | -6,26714011                          |
| 17          | 4267  | 154                     | 239         | -6,10706708                          |
| 18          | 4457  | 190                     | 229         | -6,19553572                          |
| 19          | 4944  | 488                     | 384         | -6,93001783                          |
| 20          | 5097  | 153                     | 287         | -6,01380561                          |
| 21          | 5337  | 240                     | 282         | -6,23238467                          |



Ajustement iRP\_2\_bis.xls (48 K..)

## 4 - Optimisation de la durée d'amortissement

L'optimisation de la durée d'amortissement peut s'effectuer simplement en couplant le modèle de simulation du processus de maintenance, ajusté à partir du REX, à un outil d'optimisation.

Le critère d'optimisation est alors le coût horaire calculé en fonction du nombre de pannes survenues pendant la période de renouvellement du matériel.

### Remarques :

Les ajustements présentés ici nécessitent l'emploi d'un outil ayant une réelle capacité à trouver l'optimum global d'une fonction à paramètres multiples. L'outil GEN CAB utilisé couple une méthode globale (les algorithmes génétiques) à une méthode locale (le simplexe).

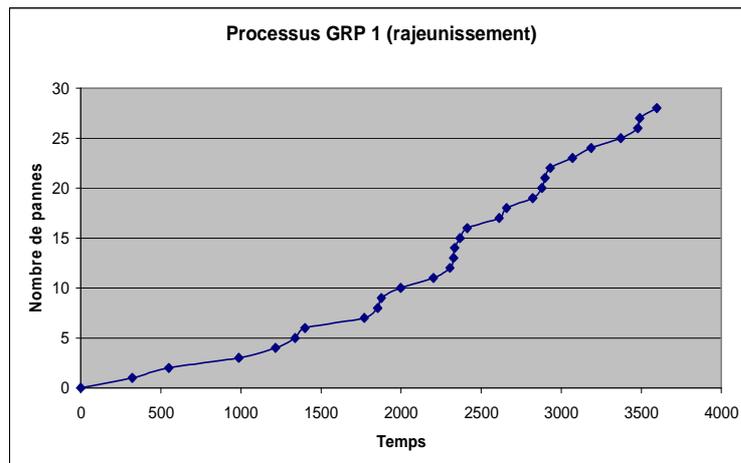
Le couplage entre un outil d'optimisation et de simulation de Monte-Carlo est très pénalisant en temps de calcul. Aussi un algorithme original de couplage a-t-il été implanté entre les outils SIMCAB et GEN CAB. Dans cet exemple à 2000 simulations par évaluation, il permet de diviser cette durée par 16 environ.

Ces mêmes traitements peuvent être réalisés à partir de modèles regroupant la maintenance corrective et préventive.

### Optimisation processus de maintenance GRP 1

|         |        |
|---------|--------|
| Bêta :  | 2,09   |
| Sigma : | 329,85 |
| q :     | 0,23   |

| T    | Nb pannes |
|------|-----------|
| 0    | 0         |
| 322  | 1         |
| 550  | 2         |
| 986  | 3         |
| 1216 | 4         |
| 1339 | 5         |
| 1400 | 6         |
| 1770 | 7         |
| 1854 | 8         |
| 1877 | 9         |
| 1998 | 10        |
| 2202 | 11        |
| 2305 | 12        |
| 2328 | 13        |
| 2334 | 14        |
| 2367 | 15        |
| 2413 | 16        |
| 2612 | 17        |
| 2659 | 18        |
| 2823 | 19        |
| 2880 | 20        |
| 2898 | 21        |
| 2931 | 22        |
| 3070 | 23        |
| 3187 | 24        |
| 3372 | 25        |



|  |          |                                    |
|--|----------|------------------------------------|
| T <sub>remplacement</sub> :                        | 2065,73  |                                    |
| Nombre de pannes avant T <sub>remplacement</sub> : | 10       | 13,36 Moyenne sur 2000 simulations |
| Coût / heure :                                     | 0,000968 | 0,001131                           |



Optimisation.xls (33 Ko)