



Workshop RYTHMS – Bordeaux 7-8/04/2022

A decorative horizontal bar consisting of a long grey rectangle followed by a series of smaller grey squares of varying sizes, arranged in a descending sequence from left to right.


# Méthodologie de caractérisation de fiabilité des composants soumis à usure

André Cabarbaye

**CAB INNOVATION**

3 rue de la coquille, 31500 Toulouse – Tel : 05 61 54 68 08

Courriel : [contact@cabinnovation.com](mailto:contact@cabinnovation.com) Site : [cabinnovation.com](http://cabinnovation.com)

- 
- Certains composants électroniques sont soumis à des phénomènes d'usure (wear out) et leur fiabilité ne peut pas être caractérisée par un taux de défaillance constant (loi exponentielle) comme dans le cas des pannes aléatoires.
  - Le suivi d'un phénomène de dégradation permet d'acquérir beaucoup plus d'informations que le recueil des seules durées de fonctionnement utilisées pour ajuster une loi de fiabilité de type Weibull ou lognormale.
  - Un modèle de trajectoire d'usure peut alors être établi et ajusté à partir du niveau de dégradation observé en essai ou en opération.

## □ Mais comment modéliser un processus de dégradation ?

- Les modèles explicatifs sont rares car ils nécessitent de connaître précisément la physique des phénomènes.
- Les modèles à espace d'états (ou multi-états) sont peu utilisés opérationnellement (modèles markoviens considérant des états de dégradation plus ou moins prononcée).
- Les modèles continus portent sur une grandeur physique observable (largeur de fissure, courant de fuite, échauffement...) dont on cherche à modéliser la trajectoire d'évolution.

□ Les dégradations peuvent être modélisées par des processus de Lévy selon l'évolution des phénomènes :

- croissante monotone

### Processus gamma

- continue avec un bruit aléatoire

### Processus de Wiener

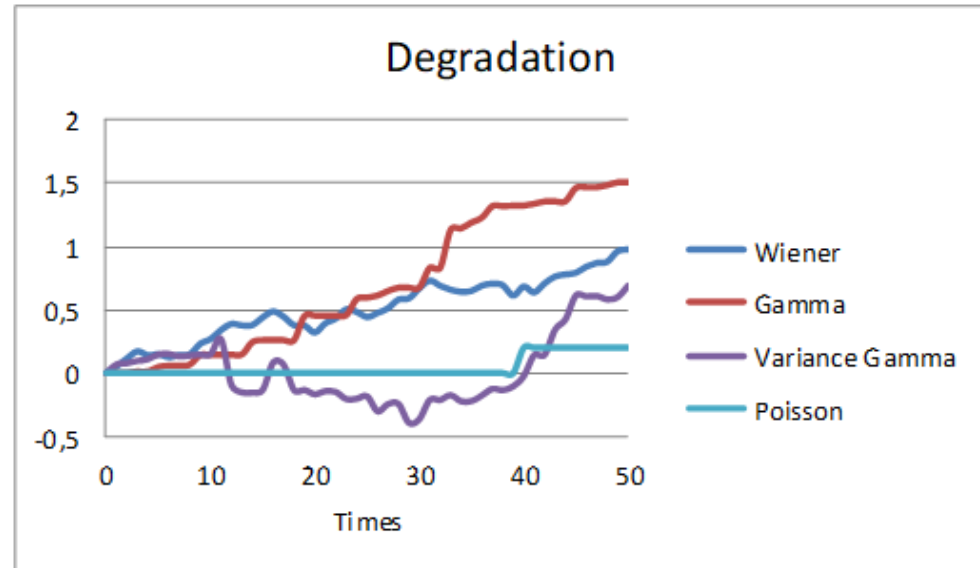
(mouvement brownien avec dérive)

- avec sauts à différents instants

### Processus de Poisson composé

- discontinue et non monotone

### Processus Variance Gamma



□ Ces processus stationnaires sont caractérisés par des incréments indépendants qui ne dépendent que de la longueur de l'intervalle de temps (vitesse moyenne de dégradation constante)

## □ Processus de Lévy

- Gamma :  $X(t+h) - X(t) \sim$  Loi Gamma ( $\alpha h, \beta$ )
- Wiener :  $X(t+h) - X(t) \sim$  Loi Normale ( $\nu h, \sigma\sqrt{h}$ )
- Poisson composé :  $X(t+h) - X(t) \sim$  Loi de Poisson ( $\lambda h$ ) \*  $X_u$
- Variance Gamma :  $X(t+h) - X(t) \sim$  loi Variance Gamma ( $h, \mu, \nu, \theta, \sigma$ )

## □ Processus Variance Gamma

- Processus à 4 ou 5 paramètres introduit en finance pour représenter le prix des options (Madan, 1998).
- Correspond à un processus de Wiener soumis à des changements de temps aléatoires selon un processus gamma ou à la différence de deux processus gamma.
- Sa fonction de densité de probabilité peut s'exprimer au moyen d'une fonction de Bessel du second type  $K_\alpha(x)$  :

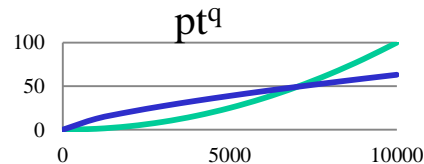
$$f_{X_t}(X) = \frac{2e^{\frac{x(-\mu)}{\sigma^2}}}{\nu^{\frac{t}{2}} 2\sqrt{\pi} \left(\frac{t}{\nu}\right)} \left(\frac{x(-\mu)^2}{\frac{2\sigma^2}{\nu} + \theta^2}\right)^{\frac{t}{\nu} - \frac{1}{4}} K_{\frac{t}{\nu} - \frac{1}{2}}\left(\frac{1}{\sigma^2} \sqrt{x(-\mu)^2 \left(\frac{2\sigma^2}{\nu} + \theta^2\right)}\right)$$



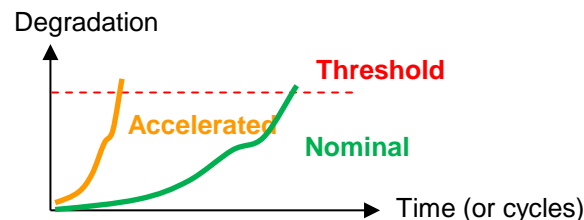
- Les processus de Lévy peuvent devenir non stationnaires par un changement de la variable temps et peuvent être accélérés par un facteur d'accélération (AF) :

$$h' = p(AF*(t+h))^q - p(AF*t)^q \quad \text{ou}$$

$$h' = p(AF_e(t+h)*(t+h))^q - p(AF_e(t)*t)^q \quad \text{avec des stress variables}$$



- Le choix d'un seuil de fonctionnement permet de passer d'un modèle de dégradation à un modèle de fiabilité.



## □ Fiabilité ou loi du premier franchissement d'un seuil $\alpha$

- La courbe de fiabilité peut être obtenue de manière analytique ou par simulation de Monte-Carlo.

- Processus Gamma :

$$1 - R(t) = P( X(t - t_0) \leq \alpha - X_0 ) \text{ avec } X(t) \text{ la loi Gamma}$$

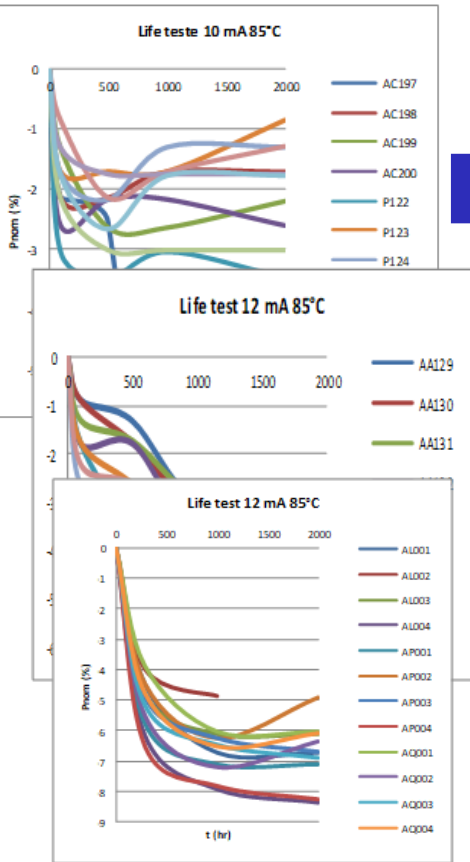
- Processus de Wiener : loi inverse-gaussienne de densité de probabilité :

$$f(x, \lambda, \mu) = \left( \frac{\lambda}{2\pi x^3} \right)^{1/2} e^{-\frac{\lambda(x-\mu)^2}{2\mu^2 x}} \quad \text{avec } \lambda = \alpha/v \text{ et } \mu = \alpha^2/\sigma^2$$

*Sous réserve en attente d'évaluation*

- A partir de la courbe de fiabilité, une loi de type Weibull ou lognormale peut être ajustée par la méthode des moindres carrés.

## □ Dégradation non monotone des composants VCSELS en test accéléré



Wiener process accelerated in temperature and current:  $Ga(m(FA \times (t+Dt) - m(FA \times t), \beta)) \quad m(t) = pt^a$

$\sigma$ : 0,989818213  
 $\theta$ : 0,216650209  
 $p$ : 0,016092456  
 $q$ : 0,633472823  
 $Ea$ : 0,523293719  
 $n$ : 2,554803223

Confidence rate:  
60%

Confidence interval:

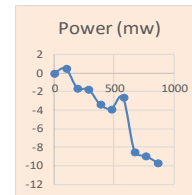
	Min	Max
$\sigma$	0,9898	5,2316
$\theta$	0,2167	2,0737
$p$	0,0161	0,1541
$q$	0,6335	0,6738
$Ea$	0,5233	0,576
$n$	2,5548	2,9669

Ln Likelihood: -3117,029109 All  
 -2070,106265 Life test  
 -541,985157 Life test without 125°C test  
 -324,5861668 Life test without 125°C test, AC197 and AL002

Loss: < -37% = 2db

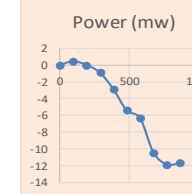
E165	T <sub>REF</sub>		i <sub>REF</sub>		FA	t <sub>equivalent</sub>	Pnom [%]	f(t)	Ln(f(t))
	t	Tj	i (ma)	S					
0	0	50,345	8	5	0	0	0	0	0
1	96	50,351	8	5	6,1833	1	-1,754386	0,109801	-2,209086428
2	192	85,35	8	5	38,712	3	-1,3157895	0,260181	-1,346377576
3	288	100,35	8	5	76,475	5	-2,1929825	0,268419	-1,315205572
4	384	110,35	8	5	116,89	7	-1,754386	0,215252	-1,535944693
5	480	120,35	8	5	174,85	10	-0,4385965	0,122911	-2,096297776
6	576	130,35	8	5	256,38	13	-2,1929825	0,187709	-1,672860554
7	672	140,35	8	5	369,05	17	-3,9473684	0,183039	-1,698058714
8	768	150,35	8	5	522,17	22	-5,2631579	0,18538	-1,685349421
9	864	50,35	8	5	6,1829	22	-6,1403509	0,215331	-1,535580931

Simulation Power (mw)	
0	0
1	0,461165442
2	-1,623325462
3	-1,781668961
4	-3,410080746
5	-3,850624128
6	-2,657491251
7	-8,476626451
8	-8,964928398
9	-9,67998929



E166	T <sub>j</sub>		i (ma)		FA	t <sub>equivalent</sub>	Pnom [%]	f(t)	Ln(f(t))
	t	Tj	i (ma)	S					
0	0	50,344	8	5	0	0	0	0	0
1	96	50,35	8	5	6,1831	1	-1,2931034	0,216344	-1,530885739
2	192	85,35	8	5	38,711	3	-1,7241379	0,316004	-1,151999435
3	288	100,35	8	5	76,471	5	-1,7241379	0,267647	-1,318085384
4	384	110,35	8	5	116,88	7	-1,7241379	0,247197	-1,397569537
5	480	120,35	8	5	174,84	10	-2,1551724	0,23993	-1,427409787
6	576	130,35	8	5	256,38	13	-3,0172414	0,221022	-1,50949118
7	672	140,35	8	5	369,04	17	-3,8793103	0,203749	-1,590865796
8	768	150,35	8	5	522,14	22	-4,7413793	0,187002	-1,676635882
9	864	50,348	8	5	6,1823	22	-6,0344828	0,041746	-3,176155747

Simulation Power (mw)	
0	0
1	0,447314942
2	0,014675404
3	-0,917735519
4	-2,873960245
5	-5,424245077
6	-6,344294251
7	-10,4599817
8	-11,88299078
9	-11,73360411



Fisher's Matrix:

659,42	-0,025011	20278	3925,6	1124,2	153,13
-0,025	2642,314	35573	7145,7	2101,4	301,79
20278	35572,8	1E+06	216929	62865	8772,4
3925,6	7145,702	216929	43668	12864	1754,3
1124,2	2101,394	62865	12864	4091,4	510,11
153,13	301,7888	8772,4	1754,3	510,11	74,994

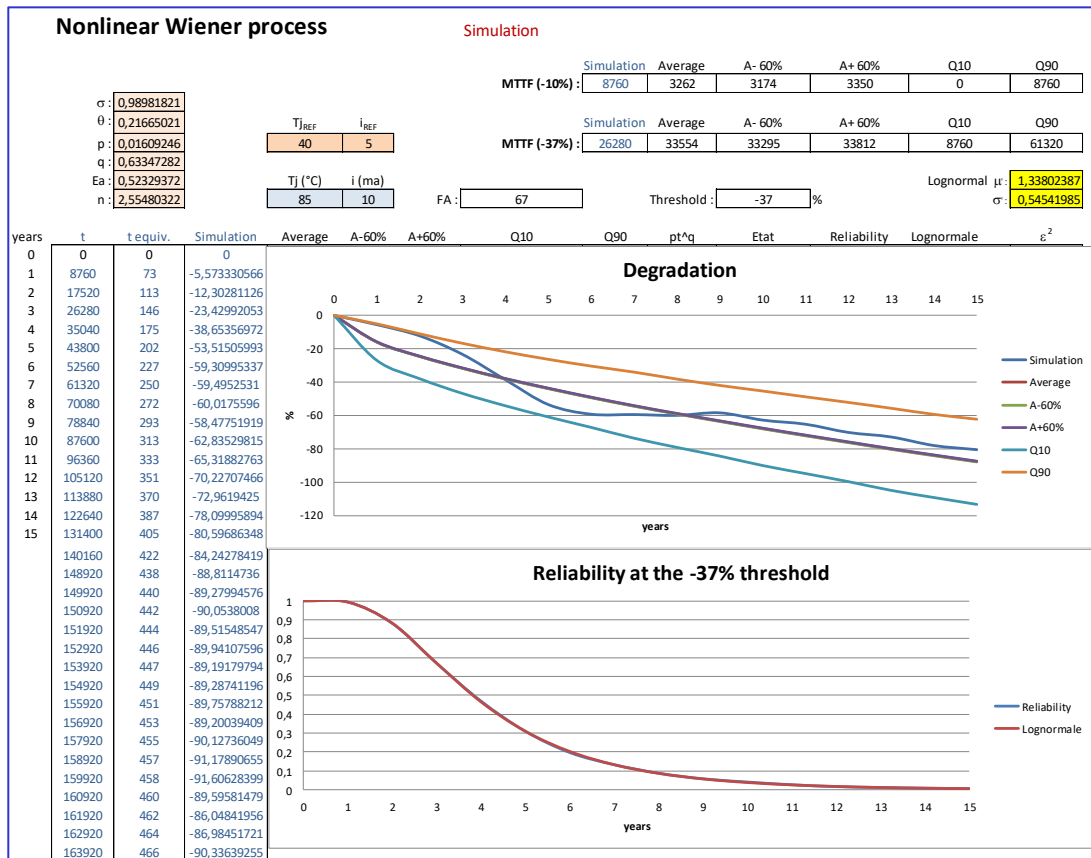
Variance-covariance matrix:

25,402	11,12014	-0,826	-5E-04	0,001	0,0058
11,12	4,868709	-0,362	-2E-04	0,0004	0,0002
-0,826	-0,361582	0,0269	-2E-04	0,0001	-6E-04
-5E-04	-0,000249	-2E-04	0,0023	-0,002	-0,009
0,001	0,000397	0,0001	-0,002	0,0039	0,0039
0,0058	0,000157	-6E-04	-0,009	0,0039	0,2398

- Ajustement d'un processus de Wiener non stationnaire accéléré (outil Gencab)
  - ✓ Large intervalle de confiance pour les paramètres p et θ (ou ν) fortement corrélés



## □ Trajectoire d'usure et courbe de fiabilité au niveau de seuil $\alpha$




$T : 85^{\circ}\text{C}$

$I : 10\text{mA}$

$\alpha : -37\%$  de la puissance optique

- Traitement par simulation de Monte-Carlo (outil Simcab)
- Ajustement d'une loi lognormale par la méthode des moindres carrés

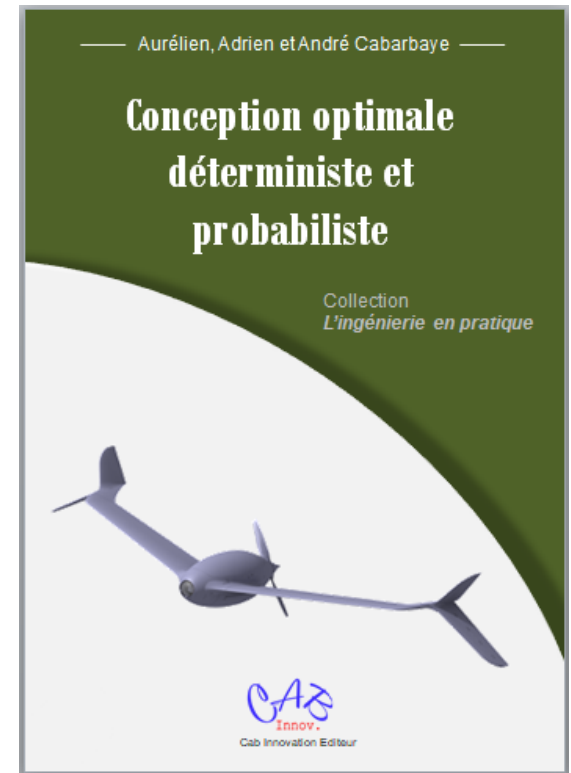
- 
- ❑ Les processus de Lévy sont bien adaptés à la modélisation des phénomènes de dégradation, tels que l'usure ou la propagation de fissures.
  - ❑ Ils peuvent devenir non stationnaires pour pouvoir considérer des vitesses de dégradation variables et être accélérés pour tenir compte des conditions d'utilisation et d'environnement.
  - ❑ Parmi ces processus, le processus Variance Gamma présente une grande souplesse pour représenter la diversité des phénomènes de dégradation, mais comprend davantage de paramètres (4 ou 5).
  - ❑ Associant des algorithmes génétiques au simplexe (Nelder-Mead), l'outil Gencab (sous Excel) intègre désormais une fonction de calcul de la densité de probabilité de la loi Variance Gamma.
  - ❑ Cette dernière a fait l'objet d'une récente communication :  
A., A. & A. CABARBAYE, Degradation modelling for predictive maintenance under various operating and environmental conditions / ESREL, 19-23 September 2021, Angers.



ISBN : 979-10-97287-12-2



ISBN : 979-10-97287-13-9



A paraître