

# Prise en compte de l'usure des composants électroniques dans les estimations de fiabilité

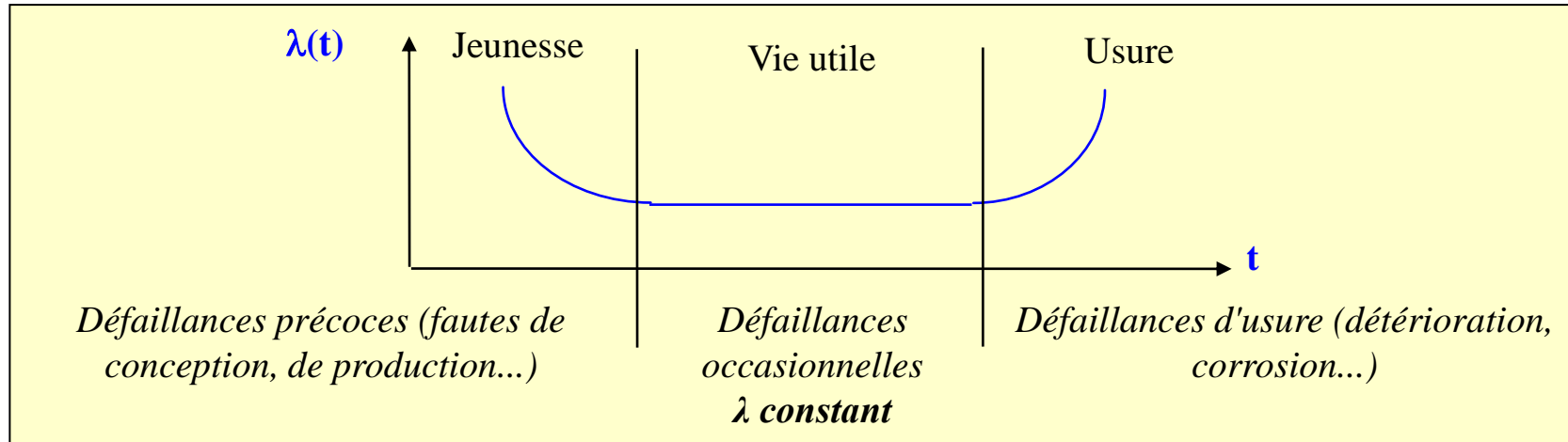
-

*Groupe SdF Occitanie*

*15 juin 2018*

- Introduction
- Impact du vieillissement
- Modèle de fiabilité des composants
- Ajustement du modèle de fiabilité
- Acquisition de données
- Fiabilité des cartes électroniques
- Fiabilité/disponibilité de systèmes
- Pannes à l'état off
- Conclusion
- Références

- L'intégration toujours plus poussée des composants électroniques conduit à des phénomènes d'usure (wear-out) qui apparaissent après quelques années d'utilisation.
- L'hypothèse du taux de panne constant, considérée dans les recueils de fiabilité (MIL HDBK 217, FIDES, etc.), devient alors discutable.
- Au-delà des débats d'experts en électronique, il apparaît opportun de se préparer à cette problématique en émergence en envisageant une évolution des pratiques d'estimation de fiabilité des systèmes.
- L'objet de cette communication est de montrer l'impact de l'usure des composants électroniques sur la fiabilité, du niveau composant au niveau système, et de proposer des méthodes d'estimation adéquates.



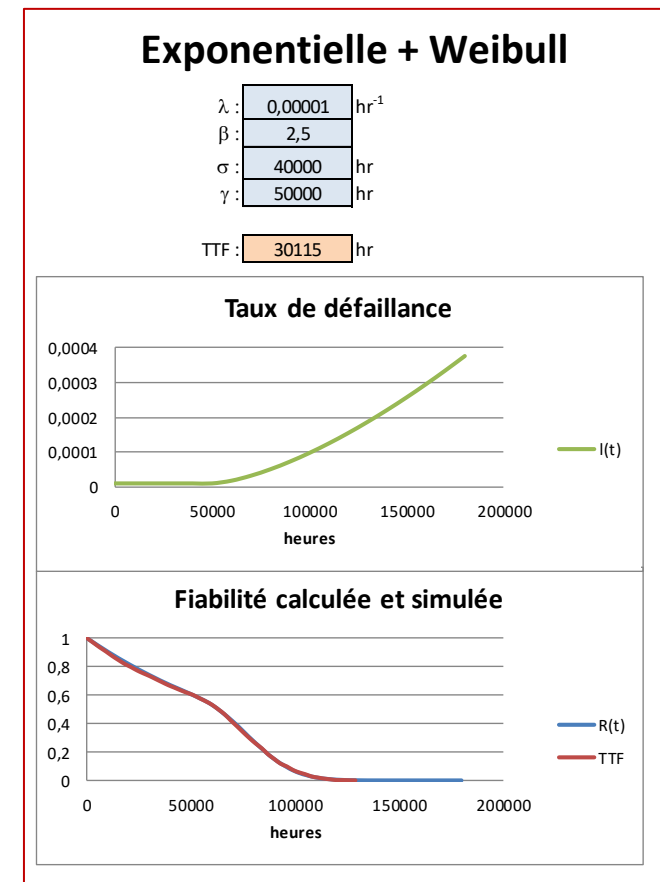
- ❑ La seconde et la troisième partie de la courbe en baignoire du taux de défaillance, doivent être associées dans les modèles de fiabilité des composants.
- ❑ L'estimation des paramètres des modèles nécessite plus de données de retour d'expérience ou d'essais et celles-ci doivent être acquises pendant une durée suffisamment longue pour caractériser les phénomènes de dégradation.

- La séparation des données relatives aux pannes aléatoires ou d'usure simplifie les traitements quand une expertise est possible.
- Les outils d'ajustement doivent estimer correctement les paramètres des modèles de fiabilité et d'accélération relatifs aux stress subis.
- La fiabilité des cartes électroniques ne peut plus s'estimer à partir d'une simple sommation des taux de défaillance mais leur courbe de fiabilité peut s'obtenir en calculant le produit des fiabilités des composants à différents instants.
- La fiabilité et la disponibilité des architectures de systèmes ne peuvent plus s'évaluer au moyen de modèles markoviens homogènes (à taux constants).
- Les hypothèses de fiabilité des composants à l'état off restent à déterminer par les experts du domaine.

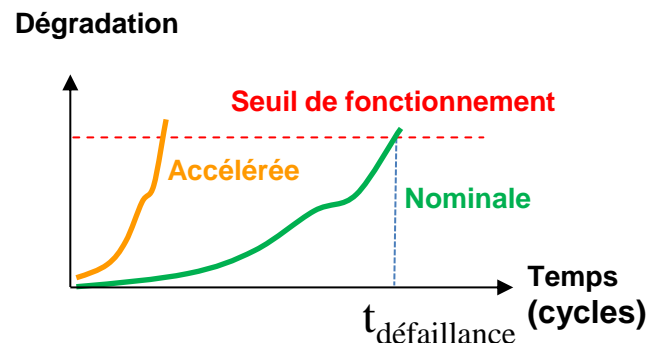
□ La deuxième et la troisième partie de la courbe en baignoire peuvent se modéliser en couplant une loi exponentielle à une loi de Weibull, successivement ou simultanément dans un modèle additif des taux de défaillance (modèle de Bertholon)

- Coexistence de phénomènes d'usure et de pannes aléatoires
- $\lambda(t) = \lambda + \beta(t - \gamma)^{\beta-1} / \sigma^\beta$
- $R(t) = \exp(-\lambda t) * \exp(-[(t - \gamma) / \sigma]^\beta)$
- Simulation sous Excel :

$$TTF = \text{MIN}(-\text{LN}(\text{ALEA}()) / \lambda; \gamma + \sigma * (-\text{LN}(\text{ALEA()}))^{1/\beta})$$



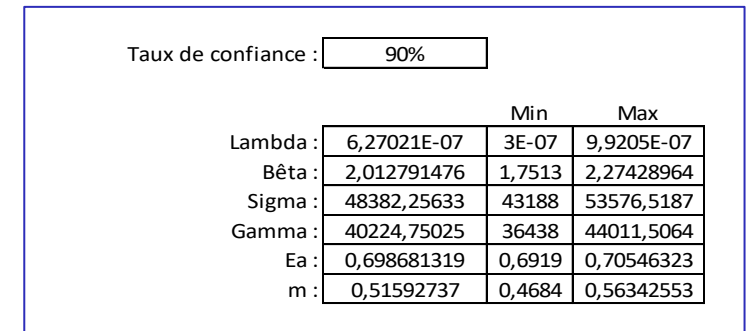
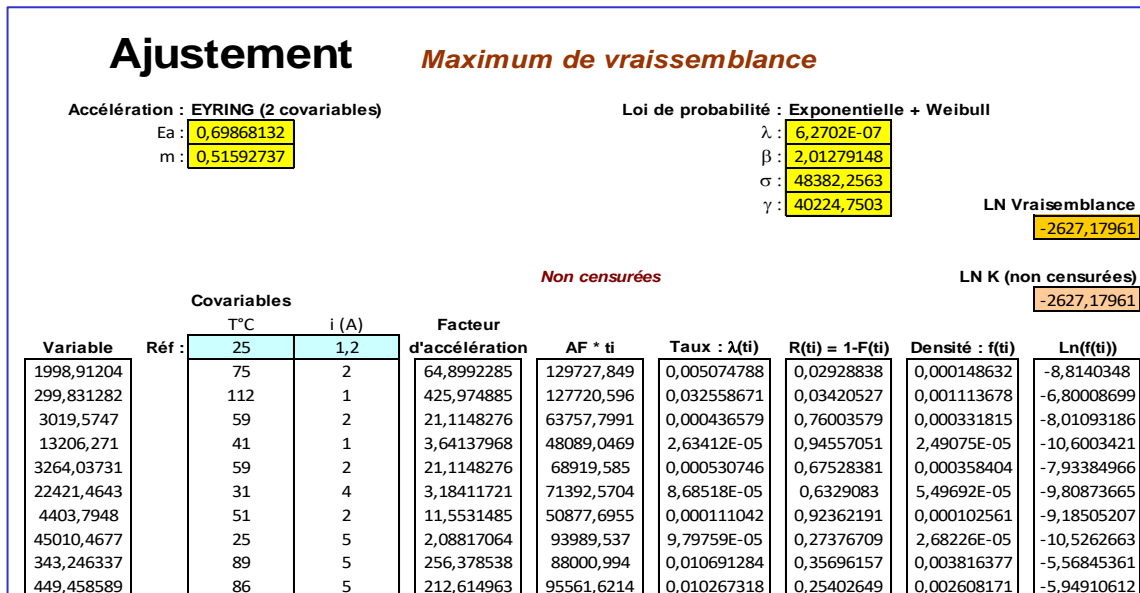
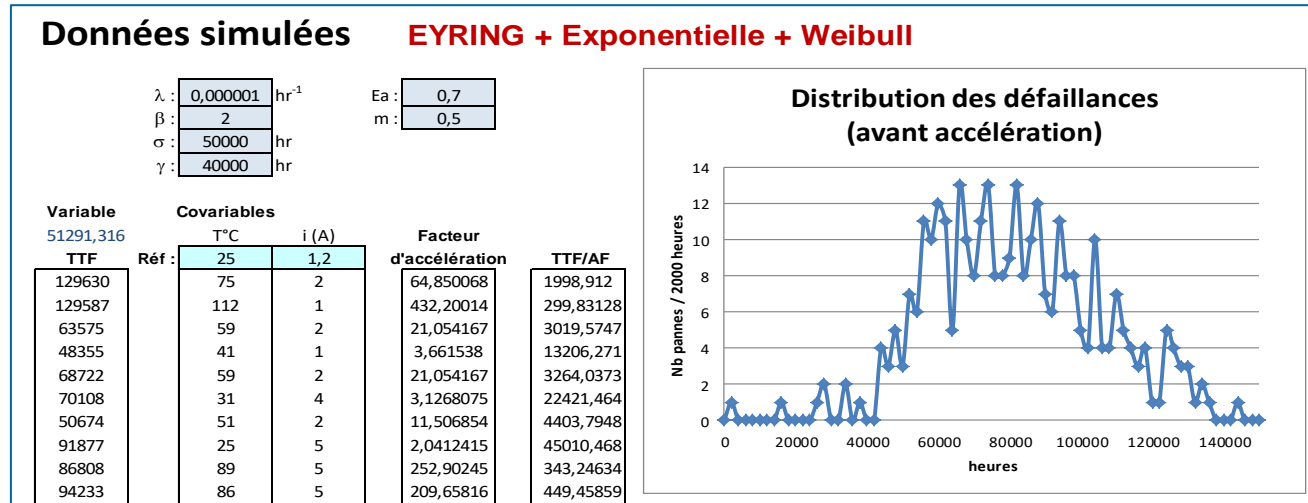
- La fiabilité peut également se modéliser par un modèle de dégradation (associé à une loi exponentielle pour les pannes aléatoires) si on peut quantifier le niveau de dégradation et fixer un seuil limite de fonctionnement (opto-coupleur).
  
- Le phénomène de dégradation peut se modéliser par un processus Gamma, si la dégradation est toujours croissante, ou par un processus de Wiener, si elle peut se réduire momentanément.
  
- Ces modèles peuvent être accélérés et rendus non uniformes au moyen d'une fonction croissante telle que :  $m(t) = p t^q$  avec  $p$  et  $q > 0$



- La caractérisation de l'usure des composants nécessite plus de données sur une plus longue durée.
- L'observation du niveau d'usure permet d'acquérir beaucoup de données d'un même composant.
- Les essais peuvent être accélérés par l'action de plusieurs stress simultanés (dans les domaines de qualification) avec des stratégies de mise en œuvre optimisées pour en réduire les coûts :
  - Stress maximaux avant perte d'un certain nombre d'équipements puis réduction progressive de leur intensité en fonction de l'occurrence des défaillances, etc.
- Des méthodes de planification optimale peuvent être employées pour réduire les coût et/ou améliorer la précision des résultats.
  - Méthode Caboum fondée sur la D-optimalité et des techniques bayésiennes, etc.

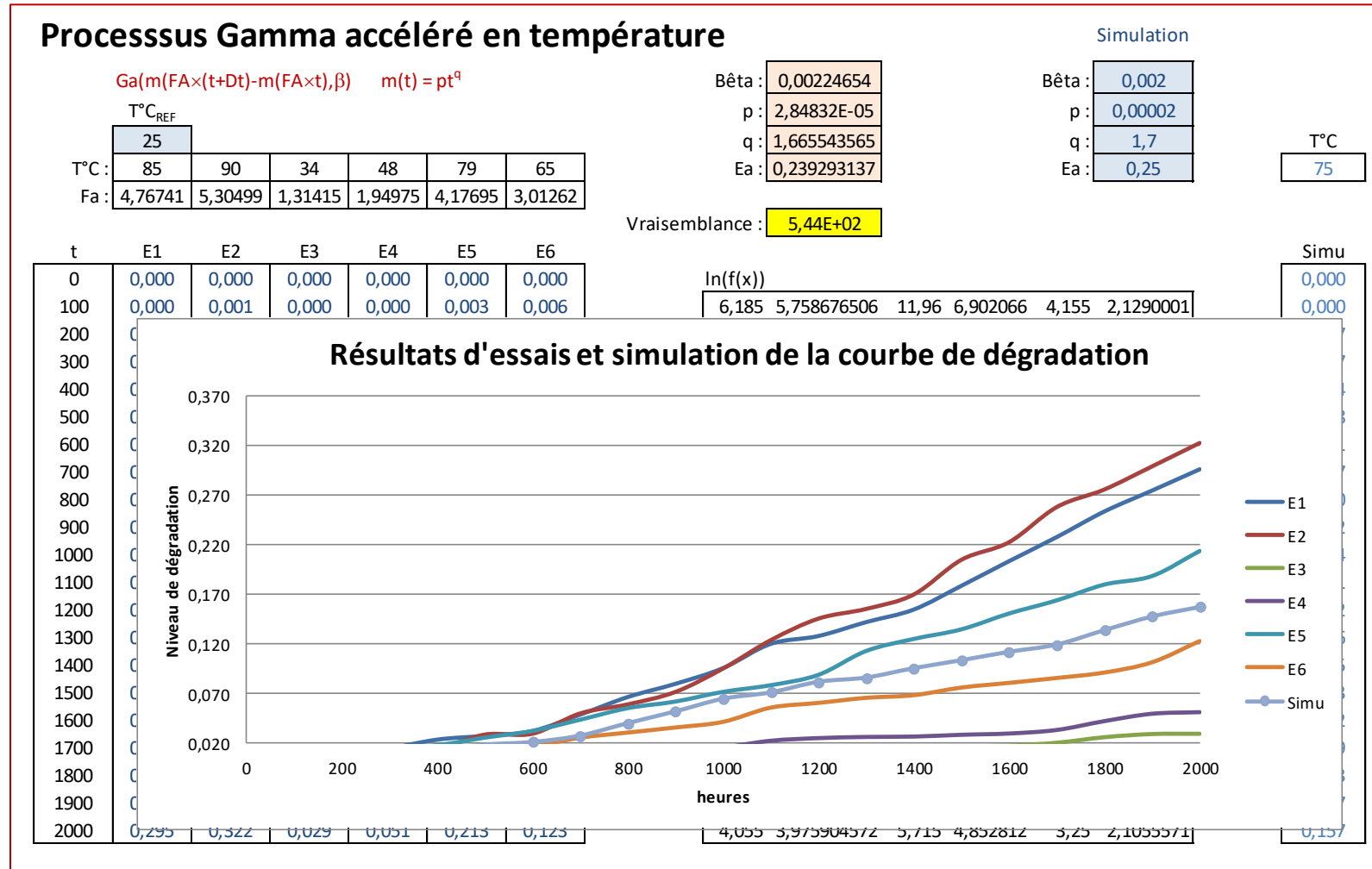


## □ Ajustement à partir de données accélérées simulées (outil Gencab)



Les 6 paramètres utilisés pour la simulation sont quasiment retrouvés ( $\lambda$  légèrement en dehors  $I_{90\%}$ )

## □ Ajustement à partir d'observations de dégradation simulées

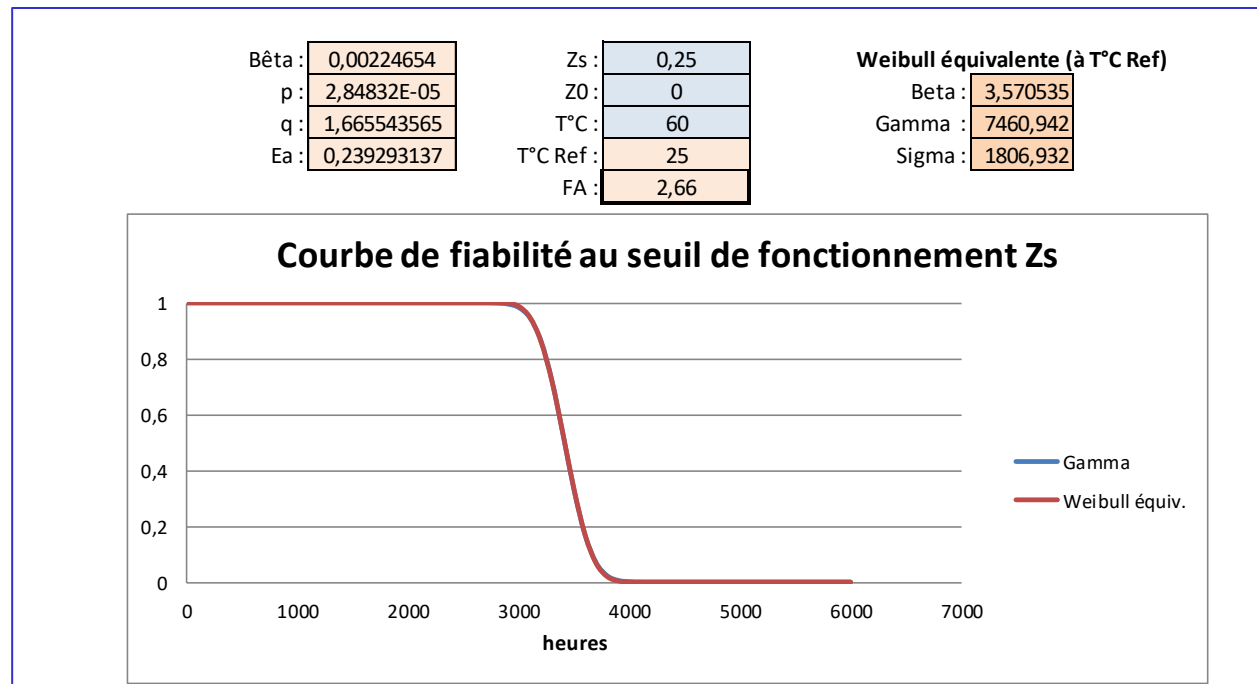


Les 4 paramètres utilisés pour la simulation sont quasiment retrouvés

- La loi du premier temps de franchissement d'un seuil  $z_s$  par un processus gamma non stationnaire a pour fonction de répartition :

$$FS(t) = P(Z(t) \geq z_s - z_0) = 1 - R(t) \quad \text{avec } Z(t) \text{ la loi Gamma } \Gamma(m(t) - m(t_0), \beta)$$

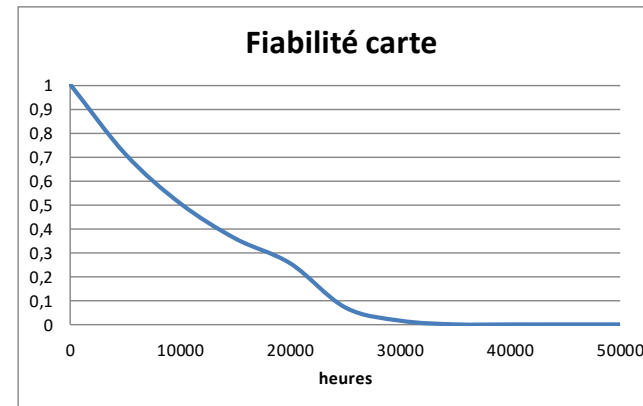
ou  $\Gamma(m(Fa t) - m(Fa t_0), \beta)$  cas *accéléré*



- Une telle loi n'existe pas pour un processus de Wiener dont la fiabilité peut être estimée par simulation de Monte-Carlo.
- Une loi de Weibull équivalente peut être obtenue par la méthode des moindres carrés.

□ La fiabilité ne peut plus s'estimer à partir d'une simple sommation des  $\lambda$  mais la courbe de fiabilité des cartes peut s'obtenir par le produit des fiabilités des composants à différents instants.

## Carte électronique

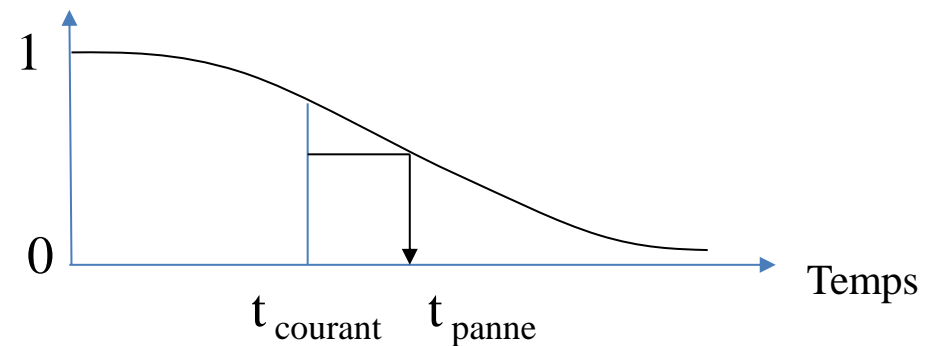


## Composants

N°	$\lambda$	$\beta$	$\sigma$	$\gamma$	t:	0	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	
1	0,00001	2	4000	30000	1	0,95123	0,90484	0,86071	0,81873	0,7788	0,74082	0,14771	0,00129	5E-07	8,4E-12	6,3E-18		
2	5E-06	3	3000	60000	1	0,97531	0,95123	0,92774	0,90484	0,8825	0,86071	0,83946	0,81873	0,79852	0,7788	0,75957		
3	2E-06	1,5	20000	20000	1	0,99005	0,9802	0,97045	0,96079	0,83946	0,6613	0,48699	0,3396	0,22593	0,14412	0,08848		
4	3,3E-06	1,2	80000	30000	1	0,98347	0,96722	0,95123	0,93551	0,92004	0,90484	0,8585	0,80589	0,75265	0,70038	0,64988		
5	1E-06				1	0,99501	0,99005	0,98511	0,9802	0,97531	0,97045	0,96561	0,96079	0,956	0,95123	0,94649		
6	0,00001				1	0,95123	0,90484	0,86071	0,81873	0,7788	0,74082	0,70469	0,67032	0,63763	0,60653	0,57695		
7	2E-06				1	0,99005	0,9802	0,97045	0,96079	0,95123	0,94176	0,93239	0,92312	0,91393	0,90484	0,89583		
8	1,3E-06				1	0,99377	0,98758	0,98142	0,97531	0,96923	0,96319	0,95719	0,95123	0,9453	0,93941	0,93356		
9	0,00001				1	0,95123	0,90484	0,86071	0,81873	0,7788	0,74082	0,70469	0,67032	0,63763	0,60653	0,57695		
10	5E-06				1	0,97531	0,95123	0,92774	0,90484	0,8825	0,86071	0,83946	0,81873	0,79852	0,7788	0,75957		
11	0,00001				1	0,95123	0,90484	0,86071	0,81873	0,7788	0,74082	0,70469	0,67032	0,63763	0,60653	0,57695		
12	3,3E-06	1,1	6000	20000	1	0,98347	0,96722	0,95123	0,93551	0,40592	0,15661	0,05747	0,02038	0,00704	0,00238	0,00079		
13	1E-06	1,3	5000	50000	1	0,99501	0,99005	0,98511	0,9802	0,97531	0,97045	0,96561	0,96079	0,956	0,95123	0,34819		
14	2,5E-06	1,8	4000	30000	1	0,98758	0,97531	0,96319	0,95123	0,93941	0,92774	0,2056	0,00497	1,8E-05	1,2E-08	1,5E-12		
15	2E-06	2,1	90000	40000	1	0,99005	0,9802	0,97045	0,96079	0,95123	0,94176	0,93239	0,92312	0,91182	0,89591	0,87527		
<b>R(t) :</b>						1	0,71029	0,50451	0,35835	0,25453	0,07039	0,01561	0,00014	5,4E-09	1,3E-15	2,3E-24	1,2E-35	

□ La fiabilité des architectures peut encore s'évaluer par des calculs analytiques (formules de redondance) ou numériques (redondance froide), mais plus la disponibilité.

□ Celle-ci peut être estimée par simulation de Monte-Carlo en simulant des durées de fonctionnement conditionnées à l'absence de panne à l'instant courant.



□ Différentes méthodes peuvent être pour cela employées :

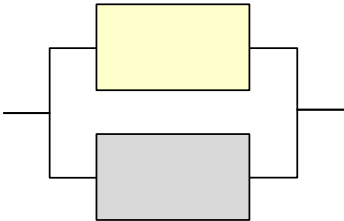
- renouveler les tirages tant que la durée de fonctionnement simulée est inférieure à celle qui a déjà été réalisée,
- simuler la durée avant la prochaine panne en appliquant une valeur aléatoire entre 0 et  $R(t_{\text{courant}})$  à la fonction réciproque de  $R(t)$ ,

- tirer initialement la durée de fonctionnement à partir de la courbe de fiabilité puis décrémenter ce temps au cours de la simulation jusqu'à l'occurrence de la panne.

Cette dernière méthode est notamment mise en œuvre dans les cas non markoviens des modèles de simulation récursive (outil Simcab):

	T0	Ti		Tj
	0	0		34456
<b>Equipements</b>			<b>TTF</b>	<b>TTR</b>
E1 :	1	1	80279,78	1
				45824
E2 :	1	1	1993258,08	1
E3 :	1	1	34456,28	0

- ❑ Les hypothèses de fiabilité des composants à l'état off restent à déterminer par les experts du domaine.
- ❑ La prise en compte d'une usure à l'état off compliquerait les estimations de fiabilité et rendrait notamment hypothétique l'usage de la loi de Weibull qui ne peut pas modéliser deux modes d'usure successifs.
- ❑ Taux de défaillance constant à l'état off (ex.  $\lambda_{off} = \lambda_{on} / 10$ ) :



$\beta$ :	2
$\sigma$ :	5000
$\gamma$ :	1000
$\lambda_{off}$ :	0,0002

Simulation	
TTF N :	5530 = $\gamma + \sigma * (-\text{LN}(\text{ALEA}()))^{1/\beta}$
TTF R off :	2526 = $-\text{LN}(\text{ALEA}()) / \lambda_{off}$
TTF R :	8447
TTF :	5530 = $\text{TTF}_N + \text{SI}(\text{TTF}_R_{off} > \text{TTF}_N; \text{TTF}_R; 0)$

**Pas de formule analytique**

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\sigma}\right)^\beta} + \int_{\tau=0}^t \frac{\beta(\tau-\gamma)^{\beta-1}}{\sigma^\beta} e^{-\left(\frac{\tau-\gamma}{\sigma}\right)^\beta} e^{-\lambda_{off}\tau} e^{-\left(\frac{t-\tau-\gamma}{\sigma}\right)^\beta} d\tau$$

- La prise en compte de l'usure des composants électroniques complique les estimations de fiabilité qui peuvent être cependant menées correctement en adaptant les méthodes et outils utilisés.
- La simulation de Monte-Carlo devient rapidement incontournable pour évaluer la disponibilité des systèmes.
- L'exploitation des données de retour d'expériences ou d'essais est plus délicate à réaliser et nécessite l'emploi d'outils d'ajustement performants.
- Les hypothèses de fiabilité des composants à l'état off restent à déterminer par les experts du domaine auxquels nous suggérons la simplicité d'un taux de panne constant.



- [1] H. Bertholon, Une modélisation du vieillissement, thèse de doctorat en Mathématiques appliquées soutenue en 2001 à Grenoble 1.
- [2] A. Cabarbaye, S. Bosse, G. Quadri, O. Gilard Modèle prédictif de dégradation non linéaire dans des conditions d'environnement variés, Lambda mu 18, Tours, 2012.
- [3] A. Cabarbaye, J. Faure, R. Laulheret, Apport des modèles de simulation récursive à l'évaluation des systèmes, Lambda mu 15, Lille, 2006.
- [4] A. Cabarbaye, R. Laulheret, Planification et exploitation des essais par la méthode Caboum, Qualita 2017, Bourges.
- [5] A. Cabarbaye, Sûreté de Fonctionnement & Optimisation des systèmes, Edition Cab Innovation 2017.