



TP N° 70

Usure des composants électroniques dans les estimations de fiabilité

Ce TP est issu de l'ouvrage « Sûreté de Fonctionnement & optimisation des systèmes » de la collection « La fiabilité en pratique ». Il est disponible au format Word avec les fichiers Excel incrustés sur le site : cabinnovation.com/shop.

$\lambda(t)$

Avec l'intégration toujours plus poussée des composants électroniques, l'hypothèse du taux de panne constant, considérée dans les recueils de fiabilité, devient discutable car des phénomènes d'usure (wear-out) apparaissent après quelques années d'utilisation. L'objet de ce TP est de montrer comment prendre en compte l'usure des composants électroniques dans les estimations de fiabilité.

1 – Modélisation de la deuxième et la troisième partie de la courbe en baignoire

Proposer une loi de probabilité adaptée à la modélisation de l'usure des composants électroniques.

2 – Ajustement du modèle de fiabilité

Ajuster le modèle de fiabilité à partir de données accélérées.

3 – Fiabilité d'une carte électrique

Estimer la fiabilité d'une carte électrique.

4 – Fiabilité/ Disponibilité d'architecture de système

Estimer la fiabilité ou la disponibilité d'une architecture de système.

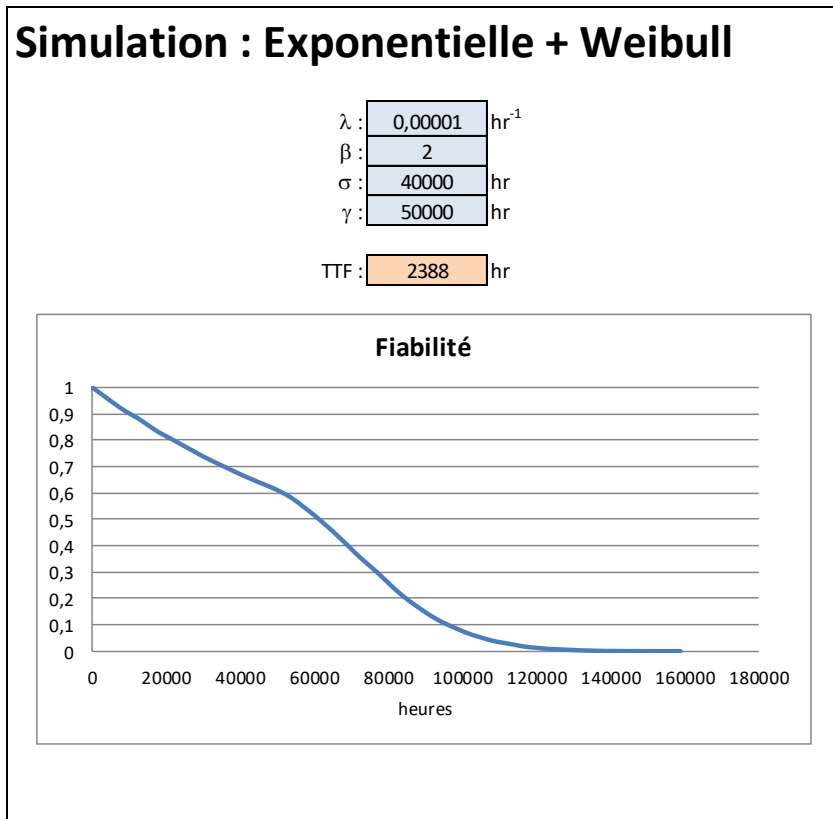
I – Modélisation de la deuxième et la troisième partie de la courbe en baignoire

La deuxième et la troisième partie de la courbe en baignoire $\lambda(t)$ peuvent se modéliser simplement en couplant une loi exponentielle à une loi de Weibull simultanément ou successivement (modèle de Bertholon).

Nous choisirons ici le couplage simultané d'une loi exponentielle et d'une loi de Weibull (le modèle de Bertholon ayant déjà fait l'objet d'un précédent TP), soit le modèle additif :

$$\lambda(t) = \lambda + \beta(t - \gamma)^{\beta-1} / \sigma^\beta \qquad R(t) = \exp(-\lambda t) * \exp(-[(t - \gamma) / \sigma]^\beta)$$

La durée de fonctionnement se simule en appliquant une valeur aléatoire entre 0 et 1 à la fonction réciproque de la fiabilité, comme le montre la courbe de fiabilité simulée suivante.



2 – Ajustement du modèle de fiabilité

L'estimation des paramètres du modèle nécessite des données de retour d'expérience ou d'essais (accélérés) acquises après une durée d'utilisation suffisamment longue pour caractériser les dégradations et les outils d'ajustement utilisés doivent être performants (optimisation globale multi-paramètres).

A titre d'exemple, un ajustement a été réalisé, ci-après, au moyen de l'outil Gencab, à partir de données accélérées hétérogènes (à diverses conditions de stress), préalablement simulées (300 valeurs environ).

Les 6 paramètres des lois de probabilité et d'accélération utilisées pour simuler les données sont quasiment retrouvés par l'ajustement (seul le taux λ est très légèrement en dehors de l'intervalle de confiance à 90 %).

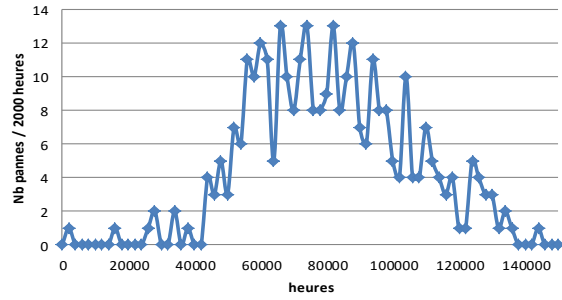
Données simulées

EYRING + Exponentielle + Weibull

λ :	0,000001	hr ⁻¹	Ea :	0,7
β :	2		m :	0,5
σ :	50000	hr		
γ :	40000	hr		

Variable 142404,95	Covariables		Facteur d'accélération	TTF/AF
	T°C	i (A)		
TTF	Réf : 25	1,2		
129630	75	2	64,850068	1998,912
129587	112	1	432,20014	299,83128
63575	59	2	21,054167	3019,5747
48355	41	1	3,661538	13206,271
68722	59	2	21,054167	3264,0373
70108	31	4	3,1268075	22421,464
50674	51	2	11,506854	4403,7948
91877	25	5	2,0412415	45010,468
86808	89	5	252,90245	343,24634
94233	86	5	209,65816	449,45859

Distribution des défaillances (avant accélération)



Feuille de calcul
Microsoft Excel

Ajustement

Maximum de vraisemblance

Accélération : EYRING (2 covariables)

Ea :	0,69868132
m :	0,51592737

Loi de probabilité : Exponentielle + Weibull

λ :	6,2702E-07
β :	2,01279148
σ :	48382,2563
γ :	40224,7503

LN Vraisemblance

-2627,17961

Non censurées

LN K (non censurées)

-2627,17961

Variable	Réf :	Covariables		Facteur d'accélération	AF * ti	Taux : $\lambda(ti)$	R(ti) = 1-F(ti)	Densité : f(ti)	Ln(f(ti))
		T°C	i (A)						
1998,91204		25	1,2	64,8992285	129727,849	0,005074788	0,02928838	0,000148632	-8,8140348
299,831282		75	2	425,974885	127720,596	0,032558671	0,03420527	0,001113678	-6,80008699
3019,5747		112	1	21,1148276	63757,7991	0,000436579	0,76003579	0,000331815	-8,01093186
13206,271		59	2	3,64137968	48089,0469	2,63412E-05	0,94557051	2,49075E-05	-10,6003421
3264,03731		41	1	21,1148276	68919,585	0,000530746	0,67528381	0,000358404	-7,93384966
22421,4643		59	2	3,18411721	71392,5704	8,68518E-05	0,6329083	5,49692E-05	-9,80873665
4403,7948		31	4	11,5531485	50877,6955	0,000111042	0,92362191	0,000102561	-9,18505207
45010,4677		51	2	2,08817064	93989,537	9,79759E-05	0,27376709	2,68226E-05	-10,5262663
343,246337		25	5	256,378538	88000,994	0,010691284	0,35696157	0,003816377	-5,56845361
449,458589		89	5	212,614963	95561,6214	0,010267318	0,25402649	0,002608171	-5,94910612
		86	5						



Feuille de calcul
Microsoft Excel

Taux de confiance : 90%

	Min	Max	
Lambda :	6,2702E-07	3E-07	9,9205E-07
Bêta :	2,01279148	1,7513	2,27428964
Sigma :	48382,2563	43188	53576,5187
Gamma :	40224,7503	36438	44011,5064
Ea :	0,69868132	0,6919	0,70546323
m :	0,51592737	0,4684	0,56342553

2,152E+13	-5E+06	-516,314488	-994,519836	359377302	69864097,8
-4758212,74	122,77	-0,00259202	0,00458802	-139,874773	-73,1654803
-516,314488	-0,0026	5,1225E-07	4,4463E-07	-0,17303405	-0,03991545
-994,519836	0,0046	4,4463E-07	1,1044E-06	-0,30358485	-0,0593292
359377302	-139,87	-0,17303405	-0,30358485	156171,147	19665,8064
69864097,8	-73,165	-0,03991545	-0,0593292	19665,8064	5224,6653

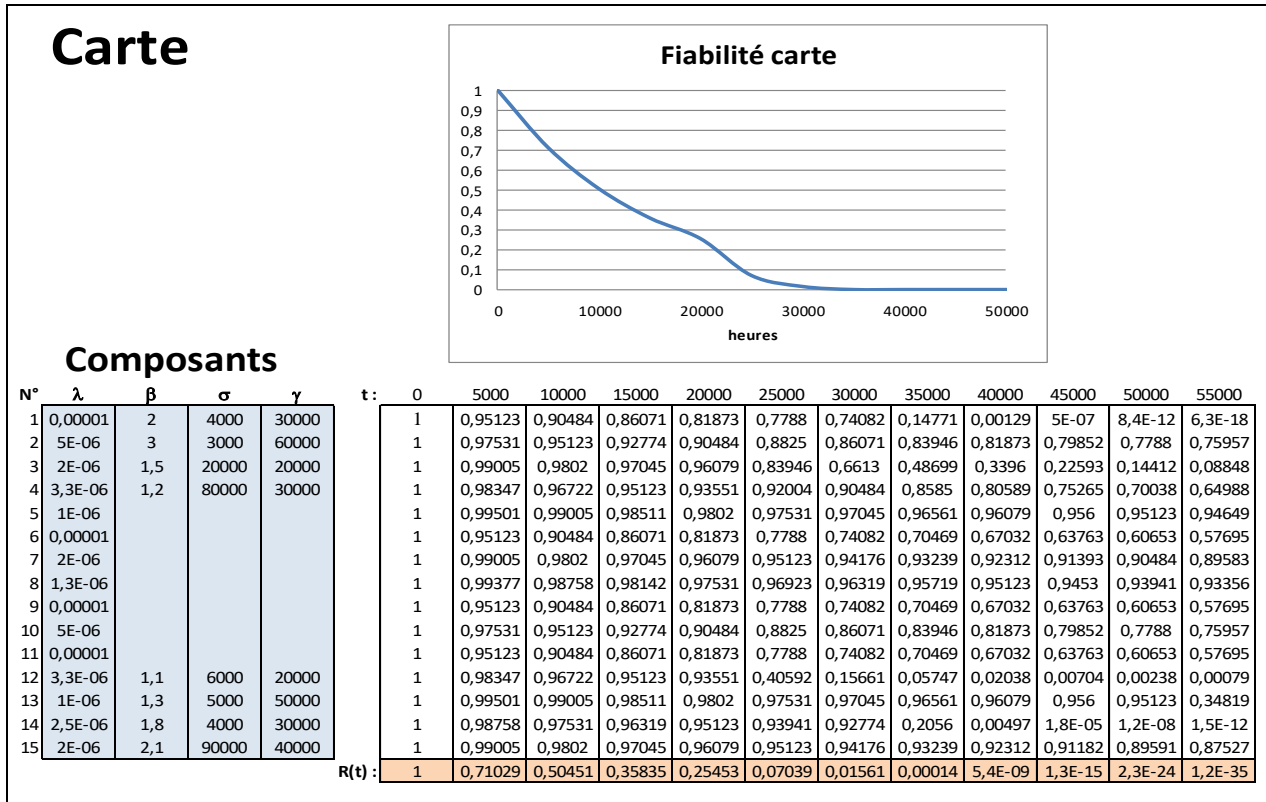
4,925E-14	3E-09	3,0636E-05	-1,3376E-05	-6,7003E-11	-2,8486E-10
2,8094E-09	0,0253	352,889141	-247,242582	-0,00018867	0,00091496
3,0636E-05	352,89	9972252,3	-3012079,15	-0,79457562	49,505099
-1,3376E-05	-247,24	-3012079,15	5300052,54	4,76663934	15,9482768
-6,7003E-11	-0,0002	-0,79457562	4,76663934	1,7E-05	-1,7677E-05
-2,8486E-10	0,0009	49,505099	15,9482768	-1,7677E-05	0,00083387



Feuille de calcul
Microsoft Excel

3 – Fiabilité d'une carte électrique

La fiabilité des cartes électroniques ne peut plus s'estimer par une simple sommation des λ mais leur courbe de fiabilité s'obtient par le produit des fiabilités des composants à différents instants, comme dans l'exemple suivant.



Feuille de calcul
Microsoft Excel

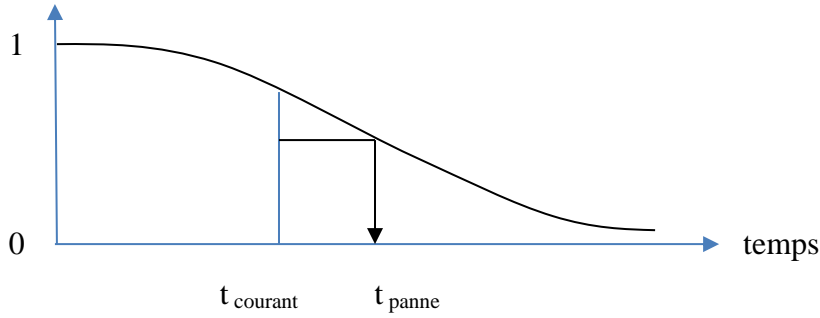
4 – Fiabilité/ Disponibilité d'architecture de système

La fiabilité et la disponibilité des architectures de systèmes ne peuvent plus se calculer au moyen de modèles markoviens homogènes (à taux constants), mais peuvent être estimées par simulation de Monte-Carlo en simulant des durées de défaillances conditionnées à l'absence de panne à l'instant courant.

Pour ce faire, différentes méthodes peuvent être utilisées.

- La première consiste à renouveler les tirages aléatoires tant que la durée de fonctionnement est inférieure à celle qui a déjà été réalisée. Cette dernière est alors soustraite à la valeur obtenue pour calculer la durée avant la prochaine défaillance.

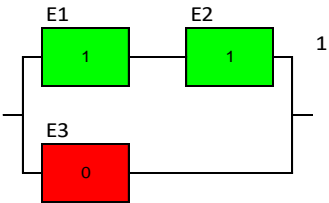
- La seconde consiste à simuler directement la durée avant la prochaine panne en appliquant une valeur aléatoire entre 0 et $R(t_{\text{courant}})$ à la fonction réciproque de $R(t / t > t_{\text{courant}})$, comme indiquée à la figure suivante.



Simulation de la durée avant la prochaine défaillance

- La troisième méthode consiste à tirer initialement la durée de fonctionnement à partir de la courbe de fiabilité puis à décrémenter ce temps au cours de la simulation jusqu'à l'occurrence de la panne. Cette méthode est notamment mise en œuvre dans le simulateur d'architecture de systèmes de l'outil SIMCAB (cas non markovien), comme le montre l'exemple suivant.

	T0	Ti		Tj		DeltaT
	0	0		34456		34456
Equipements			TTF	TTR		
E1 :	1	1	80279,78		1	Initialisation
E2 :	1	1	1993258,08		1	Pas_à_pas
E3 :	1	1	34456,28		0	Simulation



Dans le cas où un modèle aditif associant une loi exponentielle et une loi de Weibull a été choisi pour caractériser la fiabilité des composants, il est possible de modéliser et de simuler séparément l'usure et les pannes aléatoires des cartes électroniques et du système.

Par ailleurs, les hypothèses de fiabilité des composants à l'état off restent à déterminer par les experts du domaine, en suggérant de privilégier la simplicité, dans la mesure du possible.

On pourrait faire ainsi l'hypothèse qu'il n'y a pas d'usure à l'état off, même si l'intégration des composants est plus poussée, et qu'un taux de défaillance constant reste applicable ($\lambda_{on} / 10$ par exemple).

Cette simple hypothèse complique déjà la simulation qui ne peut plus s'exécuter par un tirage préalable de la durée de fonctionnement.

En revanche, le tirage de cette durée à l'instant courant reste possible mais nécessite de mémoriser le temps cumulé de fonctionnement à l'état on.