

# NRTW 2025

## National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

# Estimation de la fiabilité des composants électroniques et de leur durée de vie

Christophe GUERIN – **THALES**  
AVIONICS

Organisé par :



L'objectif consiste à démontrer qu'un équipement électronique et les technologies qu'il intègre peuvent réussir leur mission sur toute leur durée opérationnelle avec le niveau de fiabilité exigé.

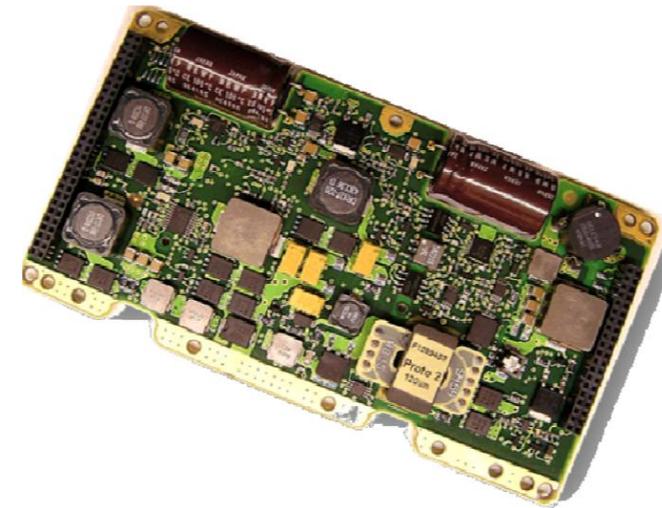
L'analyse de fiabilité est réalisée principalement grâce à FIDES.

Cependant pour certaines technologies, il n'y a pas de modèle représentatif de composant permettant d'avoir une estimation du taux de défaillance.

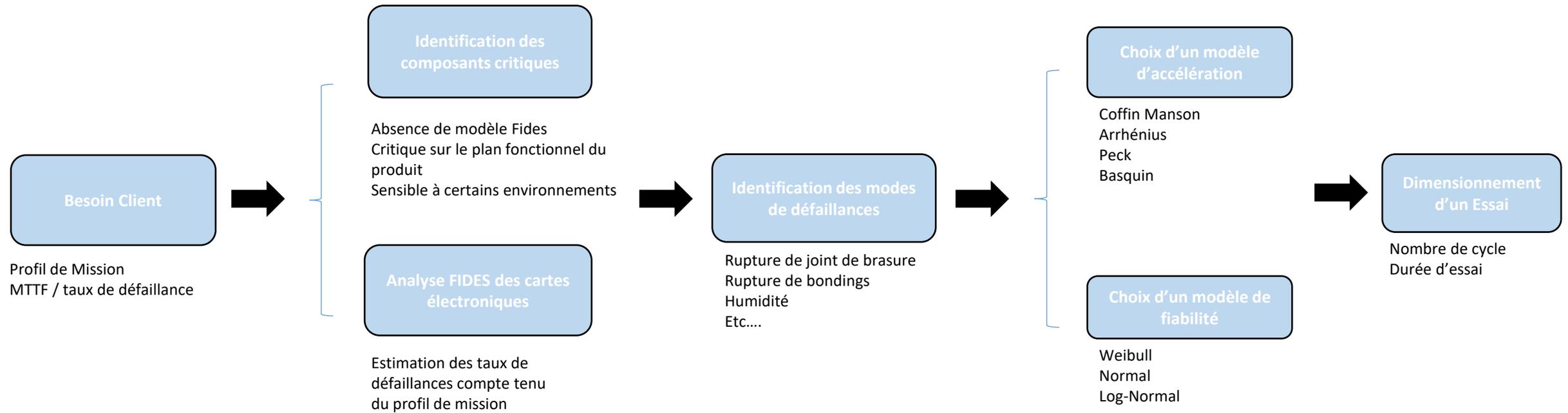
Certains composants clefs – critiques pour le succès de la mission - peuvent mériter d'être dérisqués par essais.



On présente une approche fondée à la fois sur une analyse FIDES de l'équipement ainsi que sur les normes NF-X50-144.



# ● ● ● Démarche de dimensionnement d'un essai de fiabilité



Cartes	Composants Critiques	Mode de Défaillance		Loi d'Accélération		Loi de Probabilité	Taux de défaillance cible	Nombre de composants testés	Niveau d'essai	Durée d'essai	
		Type	Environnement	Type	Parametres					Mission profile 1	Mission Profile 2
Carte 1	Component 1	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Carte 2	Component 2	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	Component 3	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	Component 4	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

# Exemple d'un Equipement GNSS



## Etape 1 : Exigence Client

Profil de mission : Hélicoptère / Avion Civil  
L'exigence client est de le faire voler 20 ans.  
MTTF = 8000h.

L'Equipement contient 2 cartes.

On s'intéresse à vérifier par une analyse FIDES et par essai que l'Equipement répond à ce besoin.

Avion civil moyen courrier, calculateur baie avionique														
Intitulé de la phase	Temps calendaire  (heures)	Thermique et Humidité			Cyclage thermique*				Mécanique	Chimique			Induit  II application	
		On/Off	Température ambiante  (°C)	Taux d'humidité  (%)	ΔT  (°C)	Nombre de cycles  (/an)	Durée du cycle  (heures)	Température maximale au cours du cyclage  (°C)	Vibrations aléatoires  (Grms)	Pollution saline	Pollution d'environnement	Pollution d'application		Niveau de protection
① Sol - Fonctionnement ON/OFF	700	On	40	30	25	350	13,6	40	0,05	Faible	Modéré	Modéré	Non hermétique	4,8
② Sol - Fonctionnement Escale	1400	On	55	30	15	700	2,00	55	0,05	Faible	Modéré	Modéré	Non hermétique	2,0
③ Sol - -Roulage	630	On	40	10	-	-	-	-	5	Faible	Faible	Modéré	Non hermétique	1,2
④ Vol - Montée/Descente	1050	On	40	10	-	-	-	-	0,6	Faible	Faible	Modéré	Non hermétique	1,1
⑤ Vol - Stabilisé	3150	On	40	10	-	-	-	-	0,6	Faible	Faible	Modéré	Non hermétique	1,1
⑥ Sol - Dormant	1830	Off	15	70	10	365	5,01	20	0,01	Faible	Modéré	Faible	Non hermétique	3,3

Profil de mission type FIDES [4]

Table 3.6.1 Mission profile of an equipment of a geostationary satellite. (1)

Phase name	On / Off	Calendar time	Reference temperature	Δt	Cycle duration	Number of cycles	Maximum temperature during cycling
Launch	ON	2h	15°C	0°C	2h	1	15°C
Time to reach orbit	ON	48h	15°C	10°C	24h	2	20°C
Geostationary satellite	ON	131 400h	25°C	5°C	24h	5 475	27,5°C

[5] <https://handbook.reliability.space/en/latest/home.html> (2020)

# Etape 2 : Composants Critiques & Modes de défaillances

Board	Critical Component	Failure mode		Acceleration law		Weibull Parameters	Failure Rate	N	Optimized Number of Cycles
		Location	Type	Type	Parameters				
Board 1	MEMS Oscillator	Bonding Failure	Thermal Cycling				1.25E-05		
		Solder ball SAC 305	Thermal Cycling				1.25E-05		
	QFN	SAC 305 solder joint	Thermal Cycling				2.50E-06		
Board 2	CBGA 625	Solder ball SAC 305	Thermal Cycling				2.50E-05		
	SCM	Cu based metalisation corrosion	Humidity				5.00E-07		

Liste des composants critiques (non-exhaustive)

Allocation :

$$MTTF_{Equipment} = \frac{1}{\lambda_{Equipment}} \text{ et } \lambda_{Equipment} = \sum \lambda_{Components} + \sum \lambda_{CCi}$$

$$\lambda_{CC} = \sum \lambda_{CCi} = \lambda_{Equipment} - \sum \lambda_{Components}$$

Application numérique :

$$MTTF_{Equipment} = 8000 \text{ h}$$

$$\lambda_{Equipment} = 1.25E-04 /h$$

Analyse FIDES :

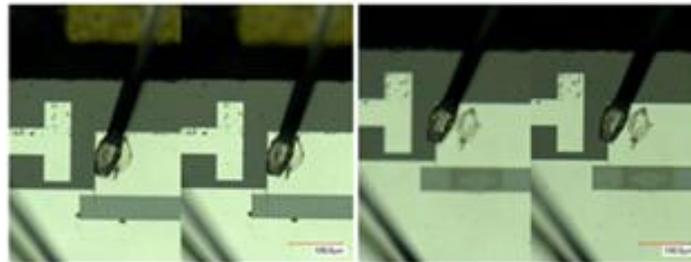
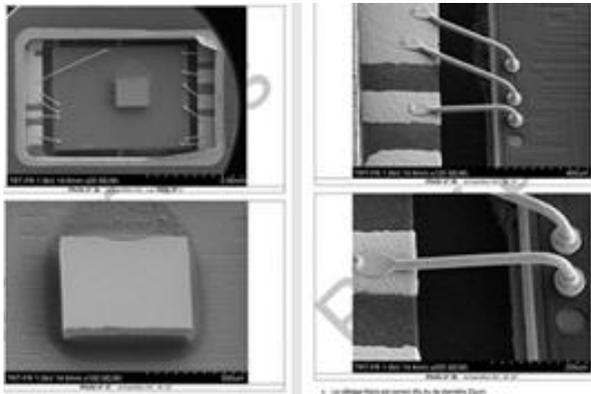
$$\sum \lambda_{Components} = 6.20E-05 /h$$

Taux de défaillance max. pour les composants critiques:

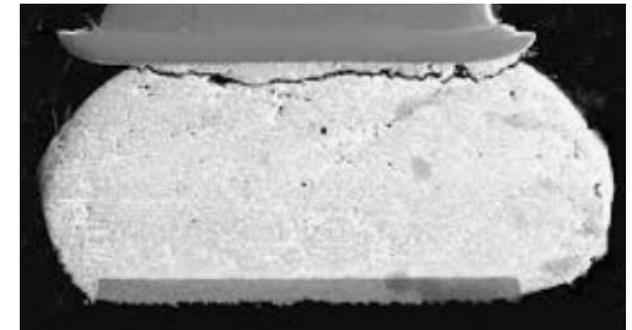
$$\lambda_{CC} = 6.30E-05 /h$$

## Exemple d'un Oscillateur MEMS :

**Mode de défaillance 1** → Rupture des bondings, absence de boucle d'aisance pour absorber les déformations thermomécaniques.



**Mode de défaillance 2** → Rupture des joints de brasure SAC 305 par fatigue par cyclage thermique.



# Etapes 3 et 4 : Lois et leurs paramètres

Board	Critical Component	Failure mode		Acceleration law		Weibull Parameters	Failure Rate	N	Test Level	Test number of cycles (Level of Confidence 95%)		Failure Rate allocation optimization	Optimized Number of Cycles
		Location	Type	Type	Parameters					Helicopter Civil	Civil Aircraft		
Board 1	MEMS Oscillator	Bonding Failure	Thermal Cycling	Coffin Manson	n=3.7 [11]	Beta=6.9 / CVr=17% [11]	1.25E-05	7	100°C / -40°C				
		Solder ball SAC 305	Thermal Cycling	Norris Landzberg	n=2.3 / m=0.3 / Ea/k=4562 [3]-page 408	Beta=12 / CVr=10%	1.25E-05	7	100°C / -40°C				
	QFN	SAC 305 solder joint	Thermal Cycling	Norris Landzberg	n=2.3 / m=0.3 / Ea/k=4562 [3]-page 408	Beta = 3.28 / CVr=34% [18]	2.50E-06	5	100°C / -40°C				
Board 2	CBGA 625	Solder ball SAC 305	Thermal Cycling	Norris Landzberg	n=1.9 / m=0.3 / Ea/k=1414 [14]	Beta=8 / CVr=15% [15]	2.50E-05	5	100°C / -40°C				
	SCM	Cu based metalisation corrosion	Humidity	Peck	Ea=1.59 eV / g=1.436 [12]	Beta=12 / CVr=10%	5.00E-07	5	T test max = 90°C / Hr test=95%				

On va concevoir une carte test contenant N composants critiques de chaque type.

Une analyse technologique a permis de déceler les modes défaillances des composants critiques.

Une revue de la littérature, ou des essais permettent de trouver les lois et leurs paramètres.

L'essai (ici: cyclage thermique -40°C / 100°C) est dimensionné pour rester dans le cadre d'usage fonctionnel du composant.

On peut alors calculer des essais margés ([7],[8]) afin de déterminer un nombre de cycle ou une durée d'essai.

Une étude paramétrique est possible pour étudier la sensibilité du résultat aux paramètres.

## Exemple d'un Oscillateur MEMS :

### Rupture des bondings :

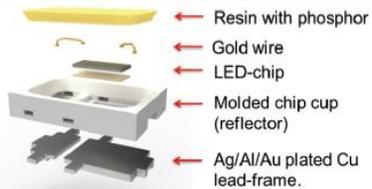


Coffin Manson:

$$AF_{Op/Op,acc} = \frac{n_{Op}}{n_{Op,acc}} = \left( \frac{\Delta T_{Test}}{\Delta T_{eq,Op}} \right)^\alpha$$

Model:	Inverse Power Law
Distribution:	Weibull
Analysis:	RRX
Beta:	6.9
$\eta_1$	1433
$\eta_2$	760
$\alpha$ :	3.7

Table 4 Analysis parameters



Zang,B, Guoqiao T. (2014), Optimized Thermal Shock Model for Mid-Power LED Wire-Bonding Reliability. IEEE, 10.1109/IPFA.2014.6898199 [11]

### Fissuration du joint de brasure SAC 305 :

Norris Landzberg:

$$AF = \left( \frac{t_{essai}}{t_{field}} \right)^m \cdot \left( \frac{\Delta T_{essai}}{\Delta T_{field}} \right)^n \cdot e^{\frac{Ea}{k} \cdot \left( \frac{1}{T_{max,field}} - \frac{1}{T_{max,essai}} \right)}$$

Paramètres	Valeurs
m	0.3
n	2.3
$E_a/k$ (K)	4562

Paramètres spécifiques au joint de brasure et au type de composant

John H. Lau Ning-Cheng Lee (2020), Assembly and Reliability of Lead-Free Solder Joints, Springer, <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3920-6> [3]

# Etape 5 : Dimensionnement de l'essai



Board	Critical Component	Failure mode		Acceleration law		Weibull Parameters	Failure Rate	N	Test Level	Test number of cycles (Level of Confidence 95%)		Failure Rate allocation optimization	Optimized Number of Cycles
		Location	Type	Type	Parameters					Helicopter Civil	Civil Aircraft		
Board 1	MEMS Oscillator	Bonding Failure	Thermal Cycling	Coffin Manson	n=3.7 [11]	Beta=6.9 / CVr=17% [11]	1.25E-05	7	100°C / -40°C	249	632	2.1E-05	376
		Solder ball SAC 305	Thermal Cycling	Norris Landzberg	n=2.3 / m=0.3 / Ea/k=4562 [3]-page 408	Beta=12 / CVr=10%	1.25E-05	7	100°C / -40°C	99	120	4E-06	
	QFN	SAC 305 solder joint	Thermal Cycling	Norris Landzberg	n=2.3 / m=0.3 / Ea/k=4562 [3]-page 408	Beta= 3.28 / CVr=34% [18]	2.50E-06	5	100°C / -40°C	484	588	No Optimization	
Board 2	CBGA 625	Solder ball SAC 305	Thermal Cycling	Norris Landzberg	n=1.9/ m=0.3 / Ea/k=1414 [14]	Beta=8 / CVr=15% [15]	2.50E-05	5	100°C / -40°C	512	704	No Optimization	
	SCM	Cu based metalisation corrosion	Humidity	Peck	Ea=1.59 eV / g=1.436 [12]	Beta=12 / CVr=10%	5.00E-07	5	T test max = 90°C / Hr test=95%	387	40	No Optimization	

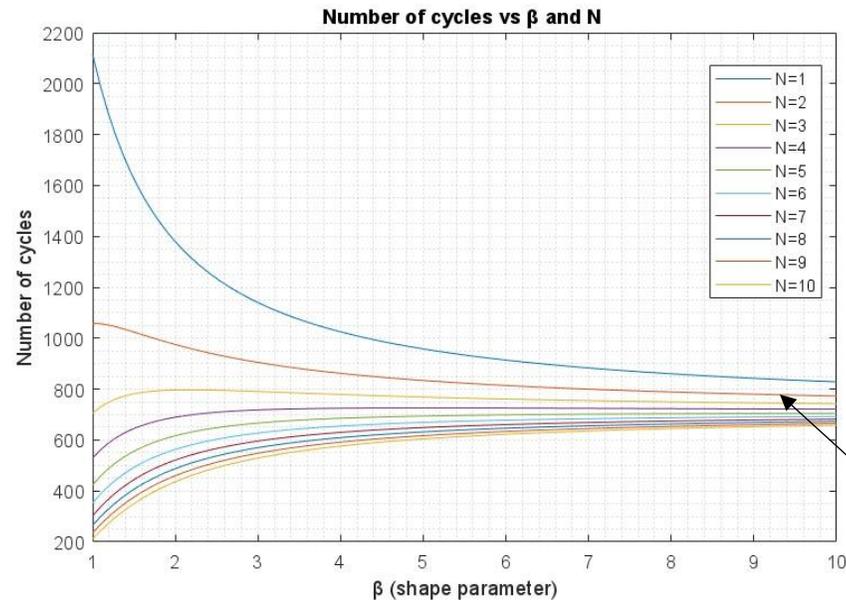
## 2 relations parfaitement équivalentes :

$$t_{Test} = \frac{t_{Op}}{AF_{Op/Op,acc}} \cdot \left( \frac{\ln(1-C)}{N \cdot \ln(1-P_f)} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t_{Test} = \frac{MTTF}{AF_{Op/Op,acc} \cdot \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})} \cdot \left( -\frac{\ln(1-C)}{N} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

[7] Part 5: Coefficient of Guarantee, NF X 50-144-5 (2019)

[8] Part 6: Factor for Experiment, NF X 50-144-6 (2019)



Number of cycles against Weibull Shape parameter  $\beta$  for MTTF=40000h – Level of confidence of 95% and AF=56.6

Les relations permettent de déterminer la durée de l'essai / le nombre de cycle.

Le principal problème est de déterminer le facteur de forme  $\beta$  de la loi de distribution de Weibull.

On observe que pour un nombre de spécimen suffisamment grand, il est possible de choisir un facteur de forme majorant (en termes de nombre de cycle) de sorte à garantir une approche conservatrice.

**Pour chaque composant, on obtient une durée d'essai.**

NB : la probabilité de défaillance ici n'est pas constante

# Etape 5 : Dimensionnement de l'essai

[7] Part 5: Coefficient of Guarantee, NF X 50-144-5 (2019)  
 [8] Part 6: Factor for Experiment, NF X 50-144-6 (2019)

Sedyakin

Importer Exporter  Choisir un porteur Fighter  Calculer les phases opérationnelles uniquement

Profil de vie								
Phase	Nb cycles/an	Duree (h)	ΔT	T max(°C)	Température (°C)	Vibration (Grms)	Humidité (%)	Operational
1 Sol dormant	365	23	10	20	15	0	70	<input type="checkbox"/>
2 Sol attente sous avion	189	0.0100	0.0100	15	15	0.5000	30	<input checked="" type="checkbox"/>
3 Sol roulage	378	0.0500	0	15	15	4	30	<input checked="" type="checkbox"/>
4 Vol montée/descente	378	0.1000	0	15	15	2	30	<input checked="" type="checkbox"/>
5 Vol croisière	245	0.5400	45	15	-30	1.4000	60	<input checked="" type="checkbox"/>
6 Vol tres basse altitude	66	0.1200	55	25	25	2	20	<input checked="" type="checkbox"/>
7 Vol mission longue h...	18	1.5000	28	15	-13	1.4000	50	<input checked="" type="checkbox"/>

Loi d'acceleration : Norris-Landzberg

$$AF = \left(\frac{\Delta T_{essai}}{\Delta T_{field}}\right)^n \cdot \left(\frac{f_{field}}{f_{essai}}\right)^m \cdot e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{max,field}} - \frac{1}{T_{max,essai}}\right)}$$

Loi d'acceleration

- Coffin-Manson
- Norris-Landzberg
- Arrhenius
- Peck
- Basquin

Norris-Landzberg

Calculer le nombre de cycle de l'essai à réaliser  Rentrer une MTTF

n: 1.9 m: 0.3

MTTF (cycles): 40000 Duree de vie (an): 20

Beta: 8 T max essai (°C): 100

Niveau de confiance NC: 0.95 Température d'échauffement du matériel (°C): 10

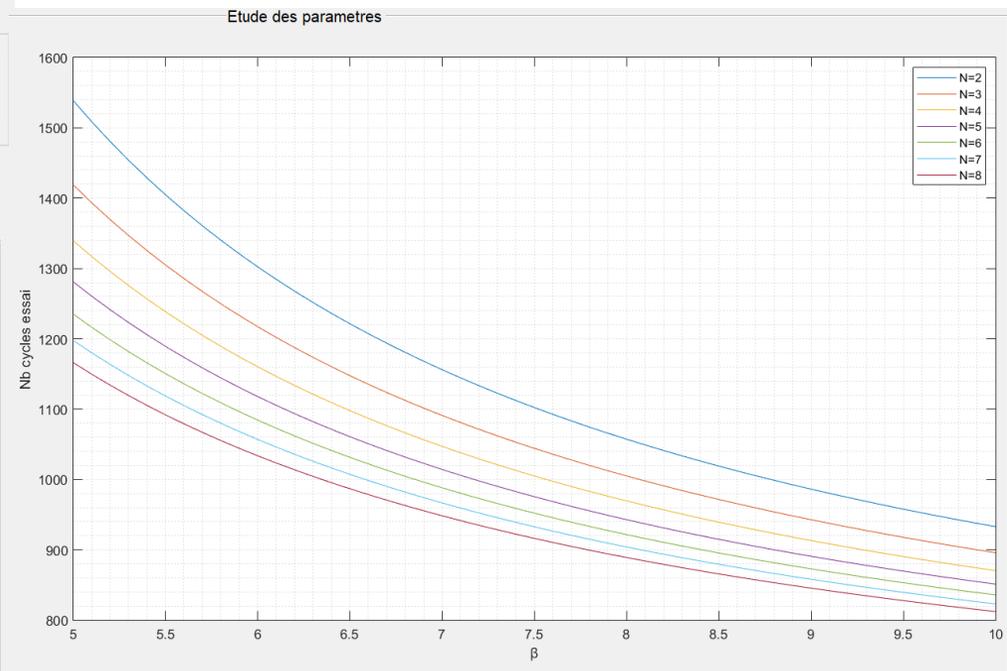
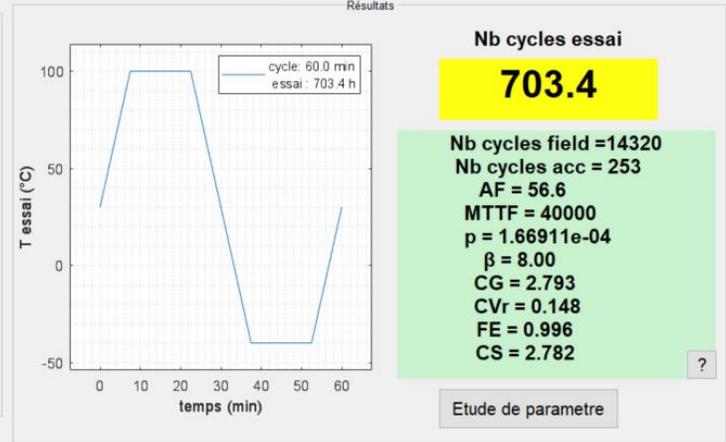
nombre echantillons N: 5 Durée cycle essai (min): 60

ΔT essai (°C): 140 Durée palier essai (min): 15 (Facultatif)

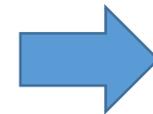
Ea/k: 1414

**Calculer**

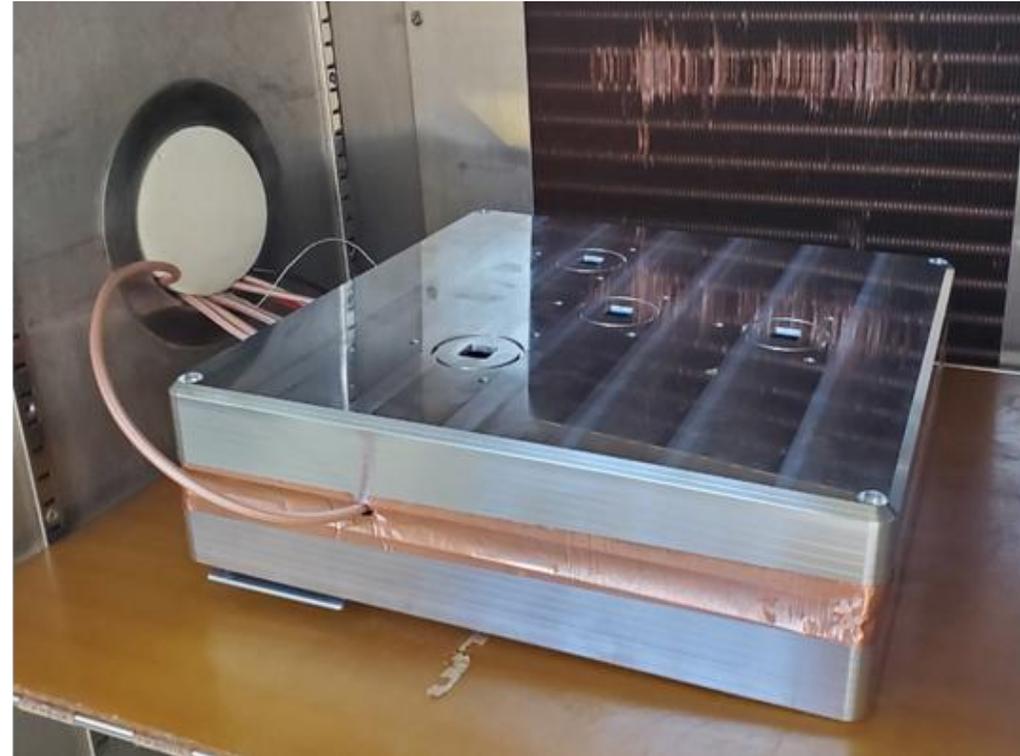
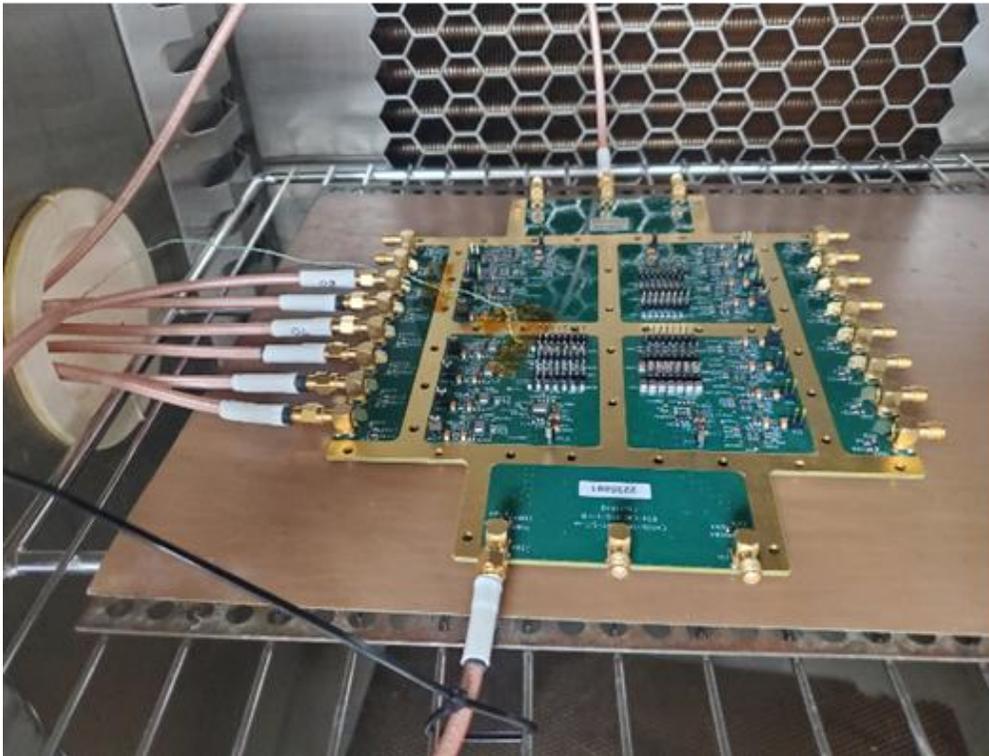
(Clique droit sur le paramètre pour + d'infos)



On observe que le nombre de cycle nécessaire est fortement dépendant des hypothèses quant aux lois d'accélération (Energie d'activation, paramètre de Coffin-Manson etc...) ainsi qu'aux lois de probabilité.



Il est utile d'avoir une estimation fine de ces paramètres et de les encadrer.

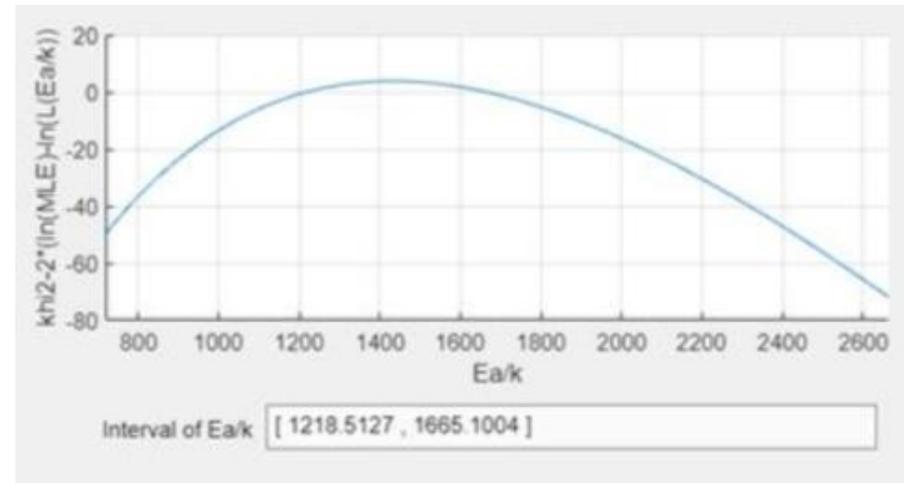
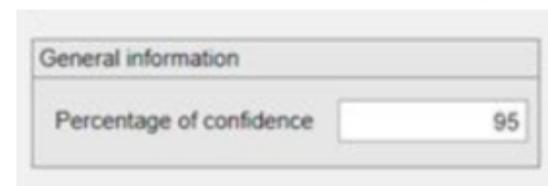
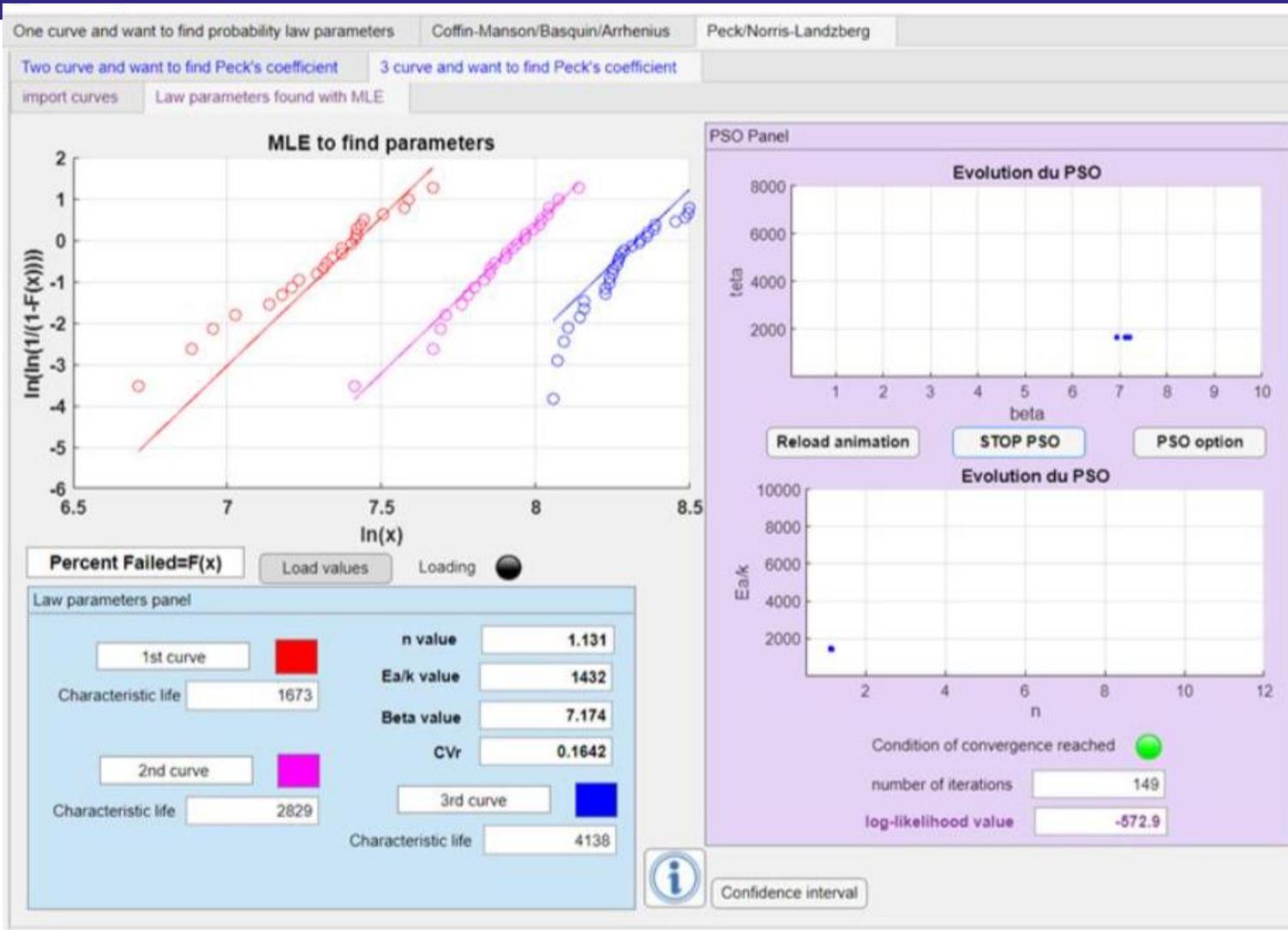


L'ensemble des composants sont assemblés sur une carte test avec un process aussi proche que possible de celui visé pour le produit: même pâte à braser (matériau), même épaisseur, même profil de refusion etc... Les composants sont monitorés de sorte à détecter leur dérive en termes de performance dans le temps et leur défaillance.

Les essais peuvent se cumuler : cyclage thermique, humidité, vibration...

On vérifie ainsi que les technologies intégrées dans l'équipement pourront assurer leur mission pendant la durée exigée et avec au plus, le taux de défaillance alloué, compte tenu du besoin du client. **Ce type de test est réalisable dès les phases préliminaires du projet (ici avant la tenue formelle de la PDR).**

**Une BOM peut compter des dizaines de composants critiques et de modes de défaillance, pour différents profils de mission, d'où la nécessité d'un logiciel pour répéter l'analyse rapidement.**



Gradeur	Ea/k (K <sup>-1</sup> )	
Méthode	3 Essais	2 Essais
Intervalle - 95% de confiance	[1218, 1665]	[1237, 1967]
Estimée	1432	1578

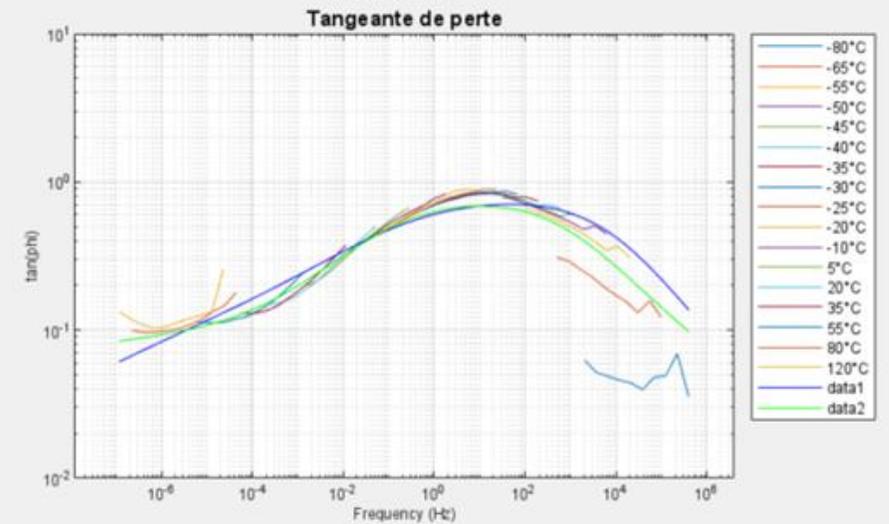
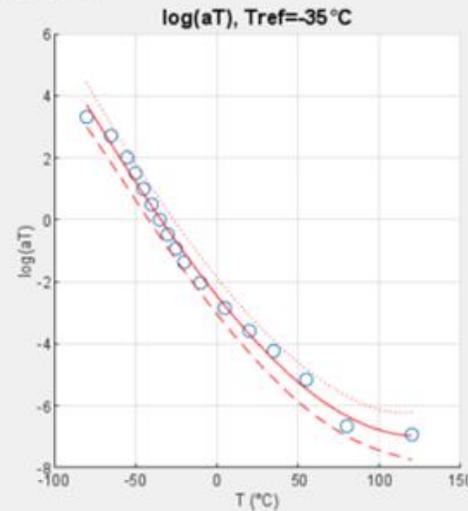
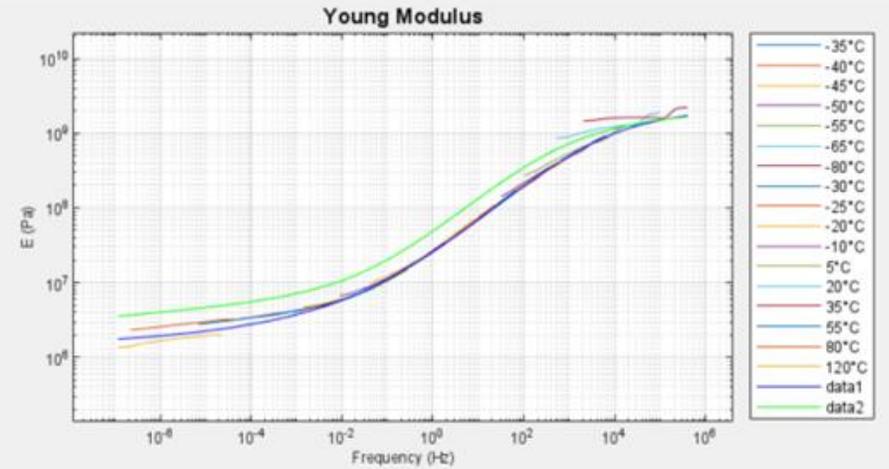
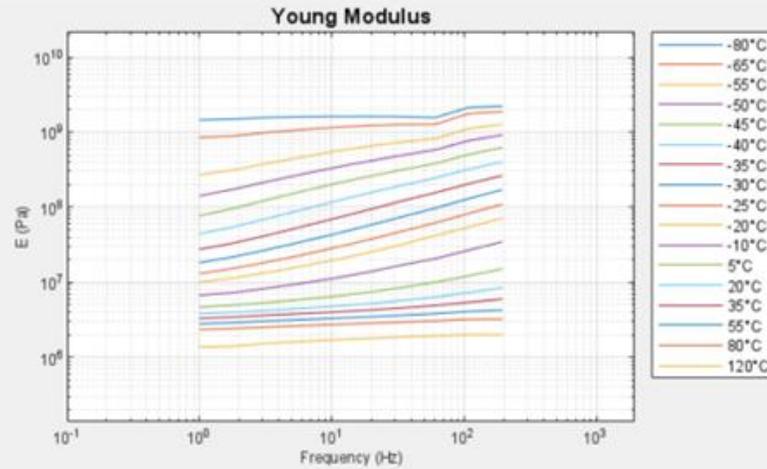
Ces essais sont longs, couteux et pas toujours réussis....

On observe des résultats proches avec du biais et un intervalle de confiance plus grand.

Aujourd'hui, on essaye d'étudier la relation (si elle existe) entre la convergence du PSO et la constance statistique de l'estimé par la méthode du Maximum de vraisemblance.

On effectue des essais de DMA / TMA dont on va déterminer la courbe maitresse du polymère grâce à la méthode de Williams-Landel-Ferry (WLF).

Ci-contre le résultats d'analyse d'un polymère proche d'un PE.



Lissage Hyperbolique

T (°C)  Gi (Pa)

Gm (Pa)  G0 (Pa)

alpha

Beta

Gamma

log(fm)

log(fv)

$$p(x) = p_{(n)} \cdot x^n + p_{(n-1)} \cdot x^{(n-1)} + \dots + p_{(1)} \cdot x + p_{(0)}$$

p3=4.7466e-07  
p2=0.0001774  
p1=-0.065823  
p0=-2.4439

Optimisation E(Pa)		Optimisation phi	
G0 = 1369650	G0 = 1369650	G0 = 1369650	G0 = 1369650
Gm = 66000000	Gm = 66000000	Gm = 66000000	Gm = 66000000
Gi = 2208140000	Gi = 2208140000	Gi = 2208140000	Gi = 2208140000
alpha = 0.6	alpha = 0.6	alpha = 0.6	alpha = 0.6
beta = 0.2	beta = 0.1	beta = 0.2	beta = 0.1
gamma = 0.8	gamma = 0.6	gamma = 0.8	gamma = 0.6
log(fm) = 4	log(fm) = 3	log(fm) = 4	log(fm) = 3
log(fv) = 6	log(fv) = 10	log(fv) = 6	log(fv) = 10

E & tan(phi) pour une fréquence f entre Tmin et Tmax

f (Hz)  Tmin (°C)  Tmax (°C)

E & tan(phi) pour une Température T entre fmin et fmax

T (°C)  fmin (Hz)  fmax (Hz)

Estimation automatique des paramètres

Full Auto

Gi (Pa)

G0 (Pa)

Finish

t = 130.9495 s

$E_a$  est l'énergie d'activation relative au processus de relaxation.

$$\ln(a_T(T, T_0)) = \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Dans l'exemple ici, on obtient  $E_a \sim 0.9$  eV

Pour un PE on s'attend à  $E_a = [0.8 \ 1.5]$  eV

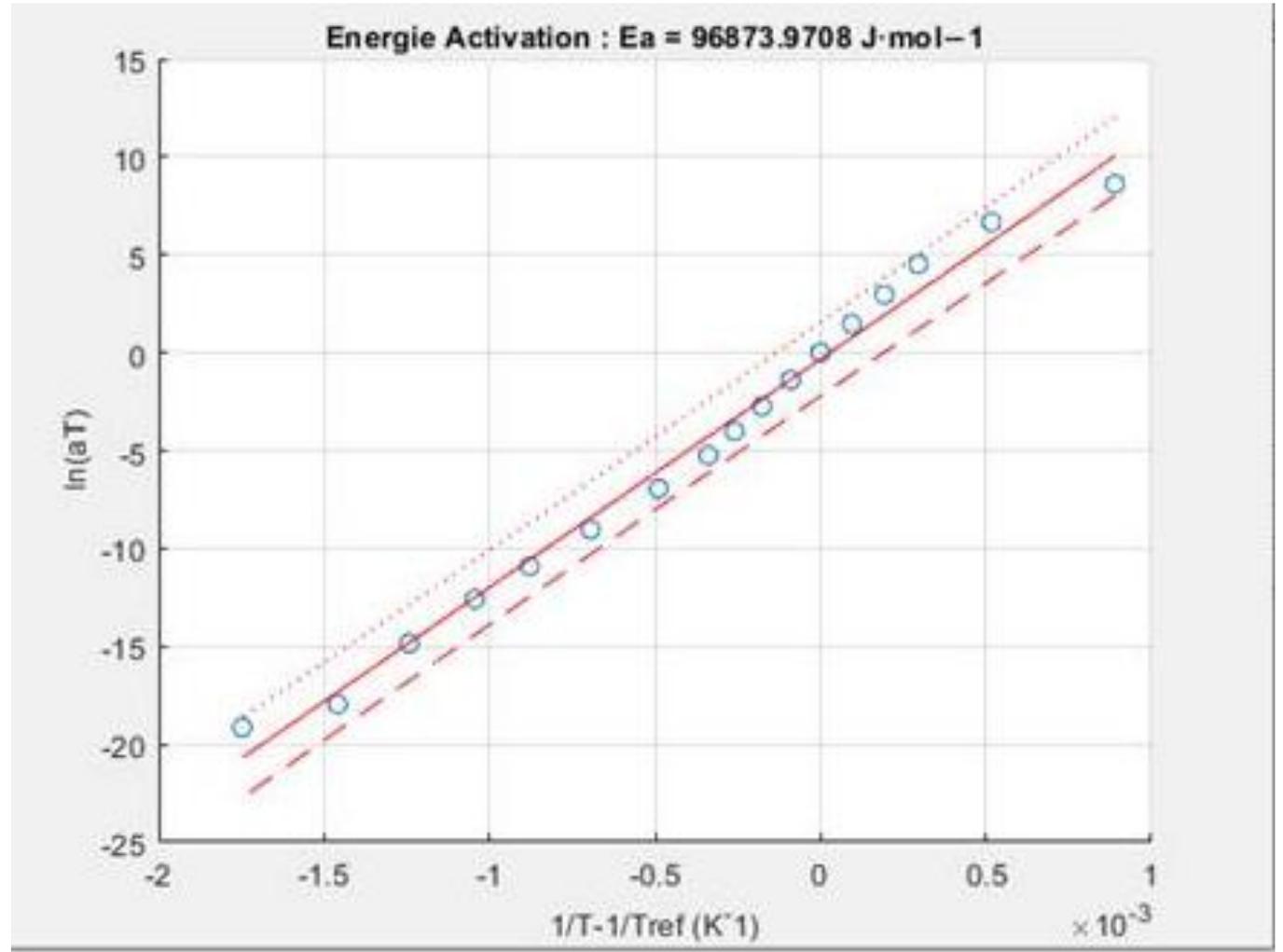
Vieillessement par relaxation : apparition de déformation permanente, diminution de la résistance à la rupture, altération des performances fonctionnelles.

On peut répéter ce test sur un polymère préalablement agressé par du rayonnement I, de sa durée d'exposition, du brouillard salin etc...

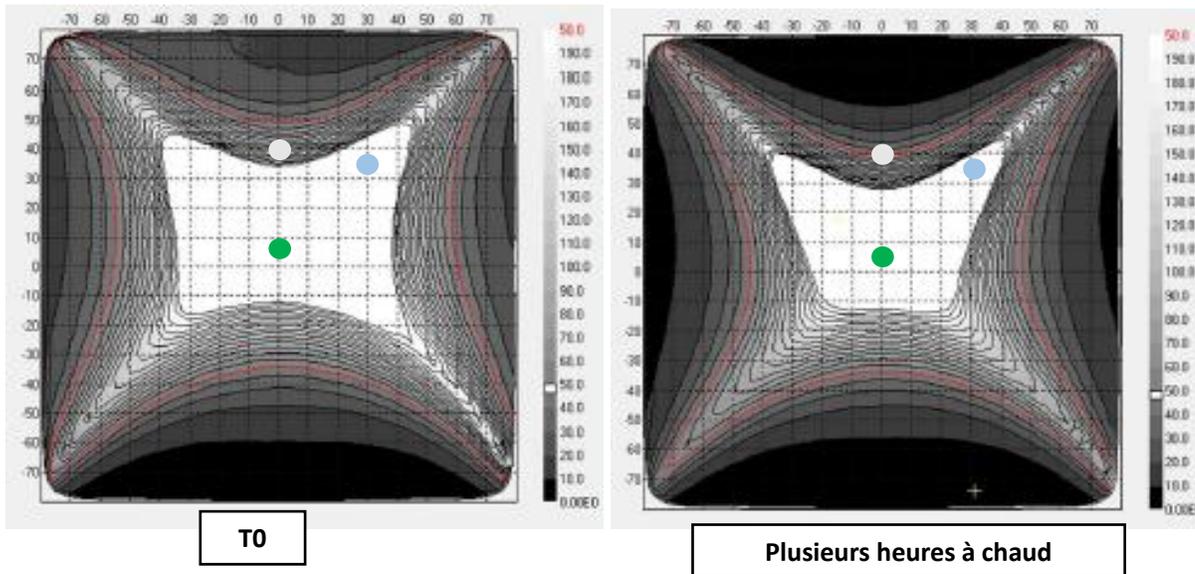
On peut aboutir ainsi à une relation du type :  $E_a(I, t)$  que l'on peut injecter dans une loi d'Arrhénius pour des essais couplés.

$$L_2 = L_1 \times \frac{I_1}{I_2} \times \exp \left[ \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

[20] Acceleration parameters for polycarbonate under blue LED photo-thermal aging conditions – K.Gandhi



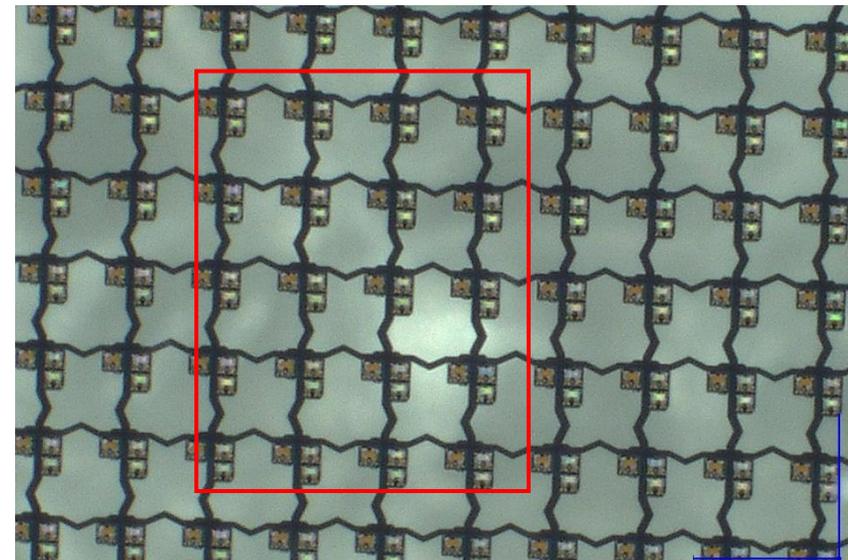
Ce type d'essai est beaucoup moins couteux. On obtient les résultats en quelques jours.



Réalisation d'essais de vieillissement en température et en rayonnement solaire pour bâtir un modèle d'accélération et de fiabilité des LCD.

Réalisation d'essais de vieillissement couplés température et niveau de LUM pour les futurs écrans microleds.

L'objectif est de comparer la tenue des technologies RGB native et Quantum DOT.



- [1] Bayle,F. (2022), Product Maturity 2 (1st ed., vol.13), Iste & Wiley
- [2] Bayle,F. (2019), Reliability of Maintained Systems Subjected to Wear Failure Mechanism (1st ed., vol.8), Iste & Wiley
- [3] John H. Lau Ning-Cheng Lee (2020), Assembly and Reliability of Lead-Free Solder Joints, Springer,<https://doi.org/10.1007/978-981-15-3920-6>
- [4] FIDES UTE-C 80811 (2022)
- [5] <https://handbook.reliability.space/en/latest/home.html> (2020)
- [6] Démonstration de la tenue aux environnements-Application de la démarche de personnalisation en environnement mécanique, NF X 50-144-3 (2021)
- [7] Demonstration of resistance to environmental conditions— Design and carrying out of environmental tests — Part 5: Coefficient of Guarantee, NF X 50-144-5 (2019)
- [8] Demonstration of resistance to environmental conditions — Design and carrying out of environmental tests — Part 6: Factor for Experiment, NF X 50-144-6 (2019)
- [9] Banvillet A., Colin B., Lelan P. (2018), Sévérité d'un niveau d'essai dans une démarche de garantie expérimentale, Colloque Lambda Mu, Reims
- [10] Banvillet A., Colin B., Lelan P. (2018), Sévérité d'un niveau d'essai dans une démarche de garantie expérimentale, Colloque Lambda Mu, Reims
- [11] Zang,B, Guoqiao T. (2014), Optimized Thermal Shock Model for Mid-Power LED Wire-Bonding Reliability. IEEE, 10.1109/IPFA.2014.6898199
- [12] Gomasang.P, Ogiue1.S, Yokogawa.S, Ueno1.K, Temperature and Humidity Accelerations to Establish Lifetime Prediction Model for Cu-based Metallization. International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo
- [13] W.Q. Meeker and L.A. Escobar (2006), A Review of Accelerated Test Models. Statistical Science. DOI: 10.1214/088342306000000321
- [14] W.Q. Meeker and L.A. Escobar (1998), Statistical Methods for Reliability, John Wiley & Sons
- [15] Ghaffarian.R, Accelerated Thermal Cycling and Failure Mechanisms For BGA and CSP Assemblies. Jet Propulsion Laboratory, NASA
- [16] V.Bagdonavicius, M. Nikulin (2002), Accelerated life models: modelling and statistical analysis, Chapman & JHall
- [17] M.Nikulin, L. Gerville (2007), Statistique des essais accélérés, Coallier Lavoisier
- [18] Walide CHENNIKI (2015), Evaluation de la fiabilité de boîtiers électroniques QFN à base de nanocomposites LCP/SiO2 fonctionnalisées
- [19] <https://aste.asso.fr/guide-climatique-et-mecanique>
- [20] K.Gandhi, C.Hein- Acceleration parameters for polycarbonate under blue LED photo-thermal aging conditions

# NRTW 2025

## National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

# merci pour votre écoute !

Organisé par :

