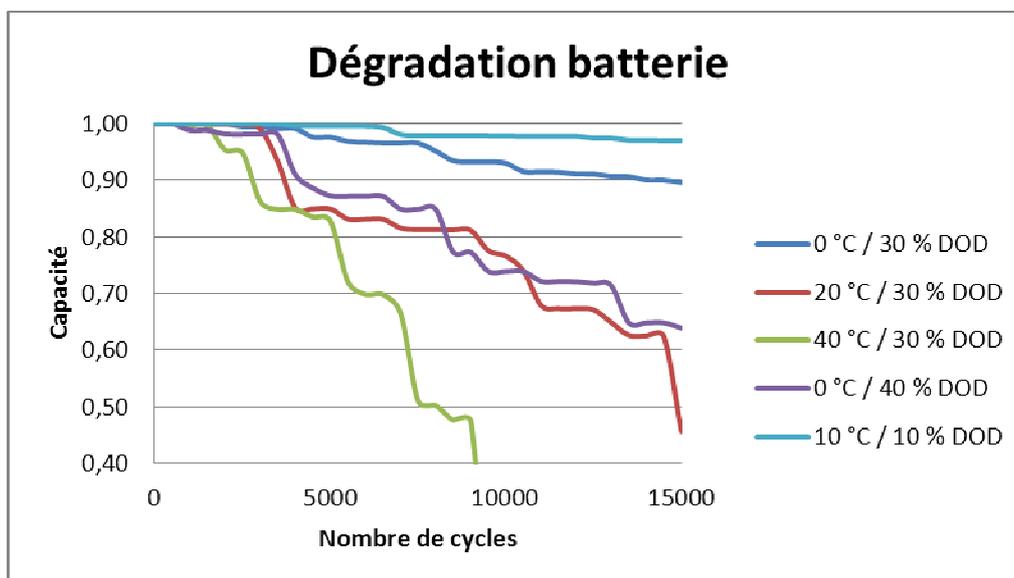


TP N° 51

Fiabilité d'une batterie d'accumulateurs

L'objet de ce TP est d'élaborer un modèle de fiabilité prédictive d'une batterie d'accumulateurs suivant ses conditions d'utilisation, à partir de résultats d'essais.

Le suivi de la capacité d'accumulateurs lithium-ion à différentes températures et profondeurs de décharge (DOD : Depth Of Discharge) a donné les résultats suivants (une dégradation d'environ 10 % en stockage et durant les premiers cycles d'utilisation n'étant pas considérée).



Données accessibles sous Excel par un double clic de souris sur l'icône :

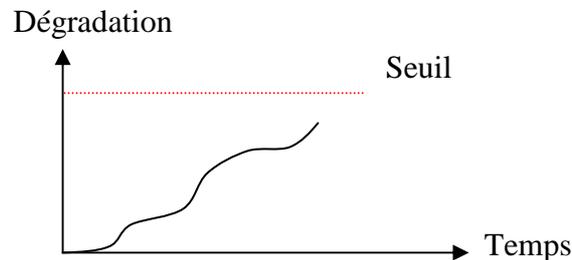


Données

- 1) Modéliser cette dégradation par un processus Gamma non stationnaire accéléré en température et profondeur de décharge.
- 2) Estimer la durée de vie restante d'une batterie fonctionnant à 30 °C et 50 % de décharge sachant que sa capacité est actuellement à 70 % de sa capacité initiale et qu'une capacité minimale de 50 % est nécessaire à l'application concernée.

1) Modélisation par un processus Gamma non stationnaire accéléré

Le problème consiste à élaborer un modèle stochastique du processus de dégradation en fonction du temps pouvant se transformer en modèle de fiabilité prédictive, hors ligne (avant utilisation) ou en ligne (en cours d'utilisation après observation du niveau de dégradation), par ajout d'un seuil d'acceptabilité.



Le phénomène de dégradation peut être modélisé par un processus gamma (à dégradation croissante) ou un processus de Wiener (avec d'éventuels phénomènes de guérison momentanée).

Entre deux observations consécutives t_i et t_j , l'évolution de la dégradation est une variable aléatoire modélisée par une loi gamma dans le premier cas et par une loi normale dans le second.

Un processus gamma stationnaire se caractérise par une loi d'accroissement $Z(t+h) - Z(t)$ égale à une loi gamma de paramètres αh et β . La dégradation évolue alors linéairement, en moyenne.

Afin de représenter une évolution plus complexe de la dégradation, ce processus peut être rendu non stationnaire, au moyen d'une fonction croissante $m(t)$, en remplaçant αh par $m(t+h)-m(t)$. La fonction $m(t) = p t^q$, avec p et $q > 0$, peut-être pour cela utilisée.

De la même manière que dans le cas du modèle Standard de Vie Accélérée en fiabilité, l'accélération agit sur la courbe de dégradation par un simple facteur d'échelle. La loi d'accroissement $Z(t+h)-Z(t)$ devient alors une loi gamma $(m(Fa*(t+h))-m(Fa*t),\beta)$ avec Fa le facteur d'accélération.

Etant soumis à un phénomène de dégradation croissante durant les cycles de charge et décharge, la capacité de la batterie peut-être modélisée par un processus Gamma non stationnaire, car la vitesse de dégradation en fonction du nombre de cycles n'est pas a priori constante. Ce processus est accéléré en température et en profondeur de décharge.

Le facteur d'Arrhenius référencé à 0°C peut être utilisé pour la température :

$$Fa_T = \exp(Ea/K (1/(273+0) - 1/(273 + T^\circ C)))$$

avec Ea l'énergie d'activation (inconnue) et K la constante de Boltzmann ($8,6171 \cdot 10^{-5}$ eV/°K).

Un facteur d'accélération de type puissance inverse peut être utilisé pour la profondeur de décharge, soit : $Fa_D = (1-DOD)^\alpha = SOC^\alpha$ avec $\alpha < 0$ et $Fa_D(DOD = 0 \%) = 1$

Remarque : Le Depth Of Discharge (DOD) est égal à $1 - (\text{State Of Charge SOC})$ tant que l'on ne dépasse pas la valeur de la capacité nominale ($DOD = 100 \% \approx SOC = 0 \%$).

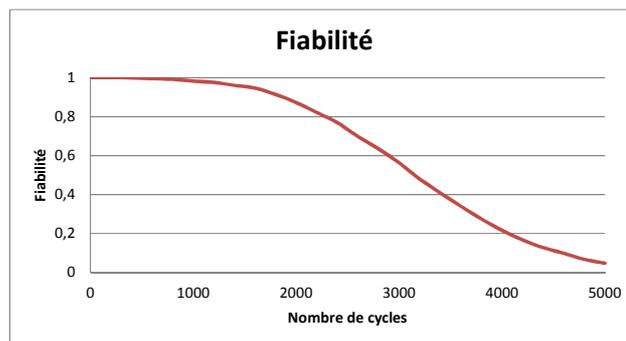
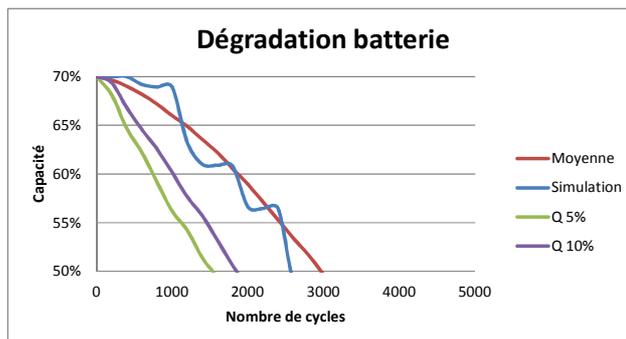
En condition non stationnaire accélérée à 30°C et 50 % de DOD, initialisée à 70 % de capacité, des simulations ont été réalisées, ci-après, au moyen de l'outil **SIMCAB**.

Celles-ci permettent d'obtenir les courbes de dégradation moyenne et de différents quantiles (ici à 5% et 10%), ainsi que celle de la fiabilité de la batterie en considérant que la panne intervient dès la perte d'au moins 50 % de capacité.

Simulation batterie

Nb de cycles	Simulation	Moyenne	Q 5%	Q 10%	Fiabilité
0	70%	70%	70%	70%	1
200	70%	70%	68%	69%	1
400	70%	69%	65%	67%	1
600	69%	68%	62%	65%	1
800	69%	67%	59%	63%	1
1000	69%	66%	56%	60%	1
1200	63%	65%	54%	58%	1
1400	61%	64%	51%	56%	1
1600	61%	62%	49%	53%	1
1800	61%	61%	46%	51%	1
2000	57%	59%	43%	48%	1
2200	56%	57%	40%	45%	1
2400	56%	55%	38%	43%	1
2600	49%	53%	35%	41%	0
2800	48%	52%	32%	38%	0
3000	47%	50%	29%	35%	0
3200	46%	48%	25%	32%	0
3400	45%	46%	22%	30%	0
3600	45%	43%	19%	27%	0
3800	39%	41%	16%	23%	0
4000	37%	39%	13%	20%	0
4200	37%				0
4400	32%				0
4600	30%				0
4800	14%				0
5000	13%				0
5200	0%				
5400	-4%				
5600	-4%				
5800	-6%				
6000	-6%				

Ea : 0,174
 α : -2,04
 p : 1E-06
 q : 1,468
 β : 0,062



Simulation batterie

Fichier Excel accessible par un double clic de souris sur l'icône :

Remarques : l'ajustement réalisé par **GENCAB** fournit la matrice de variance/covariance des 5 paramètres, par inversion de la matrice de Fischer. La dispersion de chacun des paramètres peut être prise en compte dans la simulation de Monte-Carlo en la considérant gaussienne.

L'outil **SIMCAB** donne la possibilité de définir un niveau de confiance à l'estimation des quantiles qui sont alors calculés par la méthode de Wilks².

² WILKS, S. S., « Determination of Sample Sizes for Setting Tolerance Limits », The Annals of Mathematical Statistics, Vol.12, pp. 91-96, 1941.