

EDF / R&D
Le 30/01/2024

Proposition de Stage

Inférence statistique bayésienne pour estimer la fiabilité des composants matériels et logiciels des réseaux électriques

Organisme d'accueil : EDF R&D / Département SYSTEME
« EDF Lab Paris-Saclay », 7 Boulevard Gaspard Monge – 91120 PALAISEAU.

Responsable du stage : Philippe CARER
Adresse: (idem ci-dessus)
e-mail: philippe.carer@edf.fr
Autre responsable technique : Nicolas BOUSQUET

Lieu du stage :
« EDF Lab Paris-Saclay », 7 Boulevard Gaspard Monge – 91120 PALAISEAU.

Date du stage : Courant 2024

1. Contexte du stage

1.1. Rappel sur la structure d'EDF R&D

Centre d'expertise, la Direction de la Recherche et du Développement d'EDF regroupe près de 1900 personnes pour contribuer à la performance du Groupe EDF et préparer l'avenir (innovation, études, construction d'outils et d'offres de services).

Au sein de la R&D d'EDF, le Département SYSTEME contribue à la préparation de l'avenir du Groupe EDF dans le domaine des réseaux électriques.

Le réseau électrique HTA (postes et lignes) lignes HTA sont gérées par Enedis et les grandes lignes électriques THT par RTE. EDF gère les sites de production d'énergie comme les centrales nucléaires ou les fermes photovoltaïques.

1.2. Rappel sur les réseaux électriques et les contraintes affectant les composants

Les réseaux électriques comprennent à la fois des composants électrotechnique poste électriques et lignes électriques (aérienne ou souterrain) et des systèmes de contrôle commande avec de l'électronique basse puissance et du code informatique (logiciel).

Les sites de production d'énergie intègrent aussi des composants comme les onduleurs DC/AC (électronique de puissance). Les systèmes d'information d'EDF pour la gestion ou la facturation des clients intègrent des logiciels.

Certains composants électriques sont soumis à des contraintes climatiques comme :

- Le vent qui affecte les lignes électriques HTA (20 kV) et THT aériennes
- La température qui affecte les lignes électriques HTA souterraines (en période de canicule),
- L'électronique est sensible à la température, l'humidité et les surtensions électriques.

Les logiciels des systèmes d'information malgré les tests peuvent contenir des erreurs résiduelles (bugs logiciels).

1.3. Rappel sur les études de fiabilité déjà mises en œuvre à EDF R&D

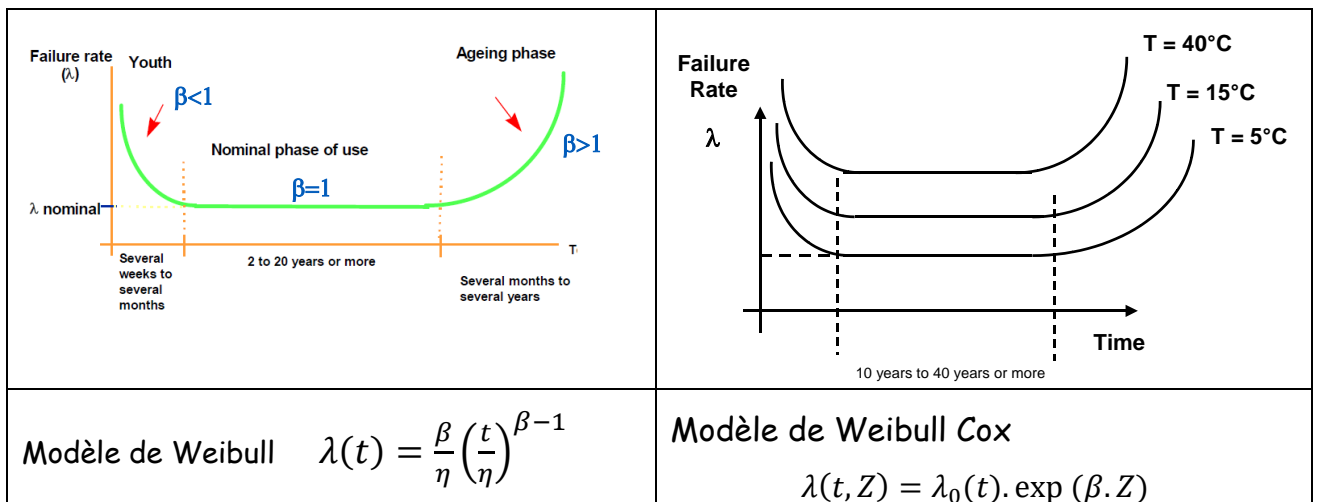
Le réseau électrique est composé d'un grand nombre de composants. Les exploitants de réseau électrique doivent gérer ces actifs c'est-à-dire les coûts d'achat et de maintenance de ces composants électriques.

En fiabilité les deux paramètres qui vont nous intéresser par rapport aux composants sont :

- Le taux de défaillance en fonctionnement : λ (heure⁻¹)
- Et la probabilité de défaillance à la sollicitation : γ

Les tâches à réaliser sont donc les suivantes :

- Qualifier les nouveaux composants électriques ou électroniques en vérifiant via des essais de qualification qu'ils respectent un bon niveau de fiabilité
- Qualifier les logiciels avant leur installation en exploitation sur le réseau électriques
- Arbitrage maintenance /renouvellement : Estimer les durées de vie des composants en exploitation pour déterminer leur période de vieillissement avec prise en compte de facteurs d'influence locaux qui accélèrent le vieillissement des composants
- Prédire les risques d'augmentation ponctuelle du nombre quotidien de pannes sur le réseau en aérien (en fonction de tempête) ou souterrain (en fonction de canicule)



Exemple de facteurs d'accélération (AF : modèle FIDES) pour les essais de fiabilité en électronique :

$$\lambda(X_2, X_1) = AF(X_2, X_1) \cdot \lambda_0$$

Stress	Physic of fialure law	Stress symbol	s = stress number	g Function	Acceleration factor
Thermal	Arrhenius	T	1	$g1 = \frac{1}{T}$	$\exp\left[\frac{Ea}{Kb} \cdot \left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right)\right]$
Thermal cycling	Norris-Lanzberg	T & ΔT	2	$g1 = \frac{1}{T}$ $g2 = \ln(\Delta T)$	$\left(\frac{\Delta T2}{\Delta T1}\right)^m \cdot \exp\left(\frac{Ea}{Kb} \cdot \left(\frac{1}{T_{\max_ref}} - \frac{1}{T_{\max}}\right)\right)$
Humidity	Haldberg-Peck	RH	2	$g1 = \ln(RH)$ $g2 = \frac{1}{T}$	$\left(\frac{RH2}{RH1}\right)^p \cdot \exp\left(\frac{Ea}{Kb} \cdot \left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right)\right)$
Vibration	Basquin	Grms	1	$g1 = \ln(Grms)$	$\left(\frac{Grms2}{Grms1}\right)^b$
Electrical	Eyring	T & V	2	$g1 = \ln(V)$ $g2 = \frac{1}{T}$	$\left(\frac{V2}{V1}\right)^n \cdot \exp\left(\frac{Ea}{Kb} \cdot \left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right)\right)$

Pour le logiciel on peut avoir le modèle de Jelinski Moranda : $\lambda_i = \phi \cdot (N_i - i + 1)$

(« Ni » le nombre de « bugs » informatiques)

Pour cela le département SYSTEME d'EDF R&D a déjà utilisé des méthodes statistiques bayésiennes

Paramètre pour la fiabilité des composants	Méthode	A priori	Modèle	Niveau de maîtrise SYSTEME
Taux de défaillance constant avec le temps λ	Lois conjuguées	Gamma	Exponentiel	***
Probabilité de défaillance à la sollicitation γ	Lois conjuguées	Beta	Binomiale	***
Taux de défaillance décroissant avec le temps en fonction du nombre N_i de bugs logiciel restant dans le code (modèle de Jelinski Moranda)	Lois conjuguées	Gamma	Poisson	*
Taux de défaillance constant avec le temps mais variable suivant des contraintes de température et humidité	MCMC	Loi inverse gamma	Facteur d'accélération d'essai de fiabilité	??

*** bon * moyen ?? pas bien maîtrisé

2. Objectif du stage

Dans le cadre de ce stage, on souhaite que le stagiaire puisse étudier quelques cas parmi les thèmes suivants :

Reprendre les modèles déjà développés en tout ou partie par SYSTEME les années passées

- Modèle bayésien avec taux de panne constant λ et γ (déjà traité par SYSTEME en 2002)
- Modèle de fiabilité avec Facteur d'accélération pour les essais de fiabilité avec paramètres physiques (selon le recueil FIDES)
 - traité théoriquement sur un cas, en bayésien en 2013 avec les contraintes température et humidité (mais compris imparfaitement par SYSTEME)
- Modèle de fiabilité « Jelinski Moranda » pour le logiciel
 - Modèle en version bayésienne déjà traité par SYSTEME par le passé (en 2003)

Aborder de nouveaux modèles pour la fiabilité des composants électriques en version de statistique bayésienne qui n'ont pas encore été traités à SYSTEME

- Modèle de Weibull ($\beta > 1$ vieillissement des matériels avec le temps)
- Modèle de « Cox » ou Modèle de « Cox-Weibull » (avec pour Cox : facteur d'influence de contraintes météorologiques vent température ... et pour Weibull le temps d'exploitation ou le nombre de cycles de contraintes mécaniques sur la durée de vie des composants électriques)
- Prendre en compte les facteurs d'accélération de fiabilité (représentant l'impact de contraintes physiques) de type FIDES pour les inférences statistiques bayésiennes sur les taux de pannes λ sous contraintes pour l'électronique classique ou l'électronique de puissance (onduleur DC/AC)
- Inférence statistique sur λ avec modèle de fiabilité mécanique probabiliste « résistance/contrainte » pour les composants de réseau électrique aérien (résistance des pylônes ou poteau et lignes face aux contraintes de vent en cas de tempête) mais avec populations différentes en termes de contraintes de vent et de résistance des composants aériens (pylônes et lignes). Donc le stagiaire étudiera au cours de son stage l'intérêt des différentes méthodes suivantes :
 - loi de Dirichlet pour les mélanges
 - « Hierarchical Dirichlet process »
 - des méthodes d'inférence Bayésienne non Paramétrique avec algorithmes
 - « restaurant Chinois process »
 - « Stick breaking representation »
 - « indian buffet process »...

Codes informatiques

Les codes élaborés dans le cadre du stage seront rédigés en langage R ou Python avec échanges de données sous Excel.

Contrainte sur la rédaction du rapport de stage : Le rapport de stage devra être rédigé en Français et en Anglais

Conditions matérielles : (contraintes horaires, indemnités, déplacements, etc.) :
Horaires : 35h / semaine ; Indemnités : selon niveau d'étude et école
Pas de déplacement envisagé.

Contraintes sanitaires : En fonction des contraintes sanitaires au moment du stage on adaptera le sujet de stage pour la réalisation du stage à distance sur la période nécessaire

Contraintes administratives (Confidentialité) :

Les travaux effectués ne doivent pas être divulgués à l'externe sans l'autorisation d'EDF.

Remarques et précisions éventuelles :

Profil recherché :

Formation Ingénieur / Master 2 en probabilité et statistique...

Durée du stage envisagé 3 mois à 6 mois.

Références

- [1] O. Faivre et al. « Forecast of faults during heat waves in a medium voltage grid and crisis management » CIREN Workshop Helsinki 14-15 June 2016
http://www.cired.net/publications/workshop2016/pdfs/CIREN2016_0426_final.pdf
- [2] L. Guérineau, E. Gouno "Failure rate estimation from field data under time-varying stress" Quality and reliability Engineering International December 2012
- [3] P. Carer, C.A. Clarotti, M. Sow "Optimisation bayésienne du contrôle de fiabilité pour les parties matérielles et logicielles des équipements des réseaux électriques d'EDF GDF Services et de RTE » Journée sur l'application industrielles de la démarche bayésienne » du 16 Octobre 2003 à Nancy
- [4] P. Carer et al. "Etude de fiabilité des réseaux électriques HTA et HTB soumis à des contraintes météorologiques extrêmes vent fort, cyclone, canicule, foudre, neige : revue de cas publiés » P. Carer, et Al. 23^{ème} Congrès Lambda Mu, EDF Lab Paris-Saclay, Octobre 2022
- [5] P. Carer , John Mc Donald A. Legendre "Methods of exchange between network operator and manufacturers to control dependability indices of new electrical equipment" Conférences ELTEE 2018 Grenoble
- [6] E. Parent , J. Bernier "Le raisonnement bayésien, modélisation et inférence » Springer 2007
- [7] M.S. Hamada, A.G. Wilson, C.S. Reese, H.F. Martz "Bayesian reliability" Springer 2008
- [8] G. Kon Kam King «Tutorial on Bayesian Nonparametrics » Cours SFdS , IHP, Paris du 27/11/2019
[Tutorial on Bayesian Nonparametrics.pdf - Google Drive](#)
- [9] N. Head "An introduction to Bayesian inference methods and computation" Springer 2022

- [10] H-P Dang « Approches bayésiennes non paramétriques et apprentissage de dictionnaire pour les problèmes inverses en traitement d'image » Thèse 2018 <https://theses.hal.science/tel-01457156/>
- [11] FIDES Reliability data handbook for electronic Device <https://www.fides-reliability.org/en/node/1198>
- [12] F. Richardeau, T.L. Pham "Reliability calculation of multilevel converters : Theory and application" IEEE Transaction on Industrial Electronics Vol.60 NO 10, October 2013
- [13] A. Gaonkar, R.B. Patil "Assessment of the FIDES Guide 2022 electrical, electronic, and electromechanical reliability prediction methodology"
- [14] A. Sangwongwanish et al. "Lifetime evaluation of grid-connected PV inverters considering Panel Degradation rates and installations sites" IEEE Transaction on industrial electronics Vol PP. 99, 2017
- [15] H. Huang, P.A. Mawby "A lifetime estimation technique for voltage source inverters" IEEE transaction on power electronics Vol.28 NO. 8 August 2013