

Probabilistic Failure Analysis ofElectrical Generator UsingFault Tree and Bayesian Network

ToufikTOUIL¹, AbdelazizLAKEHAL²

¹Department of Mechanical Engineering, August 20, 1955 University, Skikda

²LRESF Laboratory, Mohamed Cherif Messaadia University, Souk-Ahras

toufik.touil@bakerhughes.com, a.lakehal@univ-soukahras.dz

Abstract: *This paper presents a model to predict electrical generator (EG) failure. The fault tree (FT) tool is used to model the causes of rotating machines failure. By analyzing the basis events it's possible to predict the top and adverse event, which helps us in predicting the type of event that causes system failure. Also, Bayesian Networks (BN) tool is used to learn more about the impact of each event on the system function by quantify the probabilities of occurrence of the highest event (EG failure). However, this method can treat complex information that causes systems failure in an easy and simple way. The success of the proposed probabilistic approach is the reliable information's previously stored in the system and their good exploitation. By predicting potential system failures we contribute to the qualitative and quantitative diagnosis of the EG and consequently it's possible to optimize the dependability of the system.*

Keywords: *Bayesian networks, fault tree, electrical generator, diagnosis.*

1. INTRODUCTION

Les pannes des générateurs électriques (GE) peuvent être causées par l'un des facteurs suivants : humains, matériel et environnement. Ces défaillances peuvent causer de graves dommages au secteur économique et également entraver le développement de la société. Par conséquent, il est nécessaire de comprendre les causes profondes de la panne et de fournir une référence efficace pour prévenir la défaillance en utilisant l'arbre de défaillance (AdD) et le réseau Bayésien (RB) pour analyser qualitativement et quantitativement les défauts des GE. La prédiction précise des défauts des GE joue un rôle important dans les systèmes de contrôle et surveillance des centrales électriques et réduit les pertes de production d'électricité, les coûts de maintenance et augmente la durée de vie des générateurs.

2. INFORMATIONS GENERALES SUR LES GENERATEURS ELECTRIQUE (GE):

La très grande majorité des GE sont des machines tournantes. Cependant, la variété des machines tournantes créées au cours des siècles implique des différences importantes dans la technologie et les techniques utilisées pour produire le courant électrique, d'une part, et dans les systèmes 'annexes' (onduleurs, électronique de puissance, etc.) éventuellement

nécessaires pour leur bon fonctionnement. Les composants d'un GE sont le châssis, cadre, rotor, paliers et stator.

3. LES SYSTEMS DE PROTECTION D'UN GENERATEUR ELECTRIQUE :

3.1. Système d'huile de lubrification des générateurs :

Le système de lubrification assure et fourni un approvisionnement fiable en huile de lubrification propre et fraîche aux paliers du générateur et élimine la chaleur crée par le frottement. Un système d'huile de lubrification fiable est essentiel pour le fonctionnement du générateur.

3.2.Système de refroidissement des générateurs :

Lors de la génération d'énergie électrique, de la chaleur est produite à partir des courants de Foucault, de la résistance des enroulements, de la friction aérodynamique et mécanique. La chaleur provenant de ces sources doit être dispersée pour maintenir l'efficacité de fonctionnement du générateur. Les systèmes de refroidissement et de ventilation du GE dissipent la chaleur en refroidissant le générateur et en ventilant l'enceinte. La figure.1 montre le flux d'air à travers les passages et conduits internes.

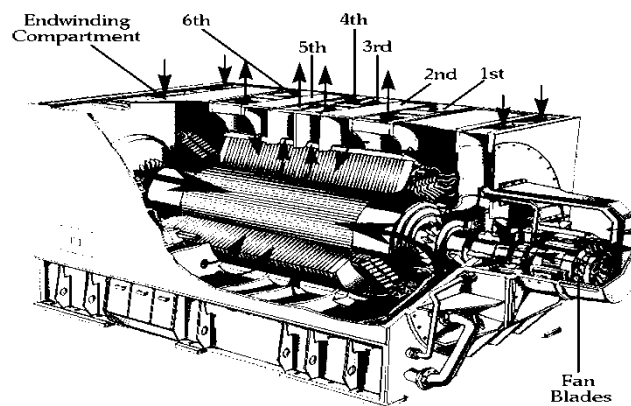


Figure.1 Système de refroidissement du stator

3.3.Système de ventilation des générateurs :

Le système de ventilation a but de pressuriser l'enceinte du générateur pour empêcher l'entrée de toute fuite de gaz combustible et pour fournir un flux d'air de refroidissement à travers l'enceinte.

3.4. Système de contrôle desgénérateurs :

Cette partie comprend tout ce qui concerne lecontrôle de la tension, température, la synchronisation, les relais de protection et de la surveillance des vibrations.

4. MECANISMES DE DEFAILLANCE ET DEVELOPPEMENT DE L'ARBRE DE DEFAILLANCE (AdD):

Les GEs ont généralement un système et des composants complexes, en raison de leurs conditions de travail, ils subissent généralement des pannes inattendues. Le générateur se compose de cinq sections principales différentes qui sont le châssis, le cadre, le rotor, les paliers et le stator. Ces sections sont constituées de nombreuse subdivision, dont découlent divers mécanismes de défaillance. De plus, il est équipé de plusieurs capteurs et systèmes de contrôle, qui enregistrent divers paramètres tels que la température, les vibrations...etc. Les pièces rotatives du générateur électrique sont les composants les plus sujets aux pannes inattendues, puis les autres pièces statiques.

4.1.L'analyse par arbre de défaillances :

L'analyse par AdD est l'une des premières méthodes développées pour l'évaluation systématique des risques, car c'est la principale référence dans l'étude des défaillances des machines industrielles. L'AdD se base principalement sur la définition de l'ensemble des événements de base, événements intermédiaires et les événements indésirables dite principaux événement ou événement sommet. Ceci se fait de manière séquentielle, ce qui conduit à son tour à l'apparition de l'événement indésirable spécifié dans cette étude par la défaillance du GE.

Dans un premier temps, il est nécessaire d'identifier l'événement indésirable, qui est la panne du générateur pour notre cas d'étude, puis l'arbre est construit en fonction de l'enchaînement des défaillances. Après cette étapes une table de probabilité doit être définie en fonction des données prédéterminées obtenues par les techniciens et les experts en maintenance, Ensuite, à l'aide des règles mathématiques et statistiques, il est théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence finale. la liaison entre les différents événements spécifiés est réalisée par des portes logiques de type "ET" et "OU".

4.2.Transformation de l'arbre de défaillance en RB :

La première étape de la construction d'une RB à partir d'un arbre de défaillances consiste à convertir la représentation graphique de l'arbre de défaillances en BN. L'arbre d'erreurs est basé sur des événements et des portes logiques (ET et OU), tandis que les éléments primaires des RB sont des nœuds représentant des événements primaires et secondaires. Les modèles RB sont capables d'analyser des problèmes de variables multi-états et de mettre à jour les probabilités initiales à partir de données incomplètes. Par conséquent, afin d'améliorer la fiabilité du système dans l'analyse probabiliste. Le calcul de probabilité a

posteriori est la deuxième étape de la construction d'un RB à partir d'un arbre de défaillance. Nous attribuons les probabilités des événements de base (sous forme de données) de l'arbre de défaillance aux nœuds du réseau bayésien en tant que probabilités a priori, et le sommet de l'arbre représente l'événement principal, dans lequel toutes les probabilités a posteriori séquentielles seront calculées jusqu'à le calcul de la probabilité d'occurrence de l'événement final.

Tableau.1. Les défauts et les événements de base des générateurs électrique

EG	Les Défauts (D)	Les Causes (C)	
Générateur Electrique	Vibration	Défaut de montage des paliers	
		Système de surveillance des vibrations	La sonde de vibration défaillante
			Le moniteur
		Défaut de balourd	
	Surchauffe du générateur	Problème d'accouplement	
		Incendie	
		Basculeurs d'air obstrués	
		Panne du ventilateur de refroidissement	
		Ecrans d'entrée d'air sales	
		Passages d'air bloqués	
	Température élevée accompagnée de vibrations	Les relais de protection électriques	Vérification de la synchronisation
			Différentiel générateur
			Retour de puissance
			Perte d'excitation
			Relais de Surintensité de temps du générateur
			Relais de Sur/sous fréquence
			Relais de Surtension
			Relais de sous-tension
			Relais de surtension à la terre
		Possibilité de trous d'air de refroidissement du rotor bouchés	
		Ventilateur de refroidissement d'arbre cassé	
		Le régulateur de tension	
	Température élevée au niveau des paliers	Système de graissage	La qualité d'huile
			Moteur
			Les Pompes
			Pompe auxiliaire
			Pompe mécanique
			Pompe d'urgence
			Circuit d'huile (Tuyauterie)
			Pression d'huile
			Haute pression

				Basse pression
		Filtres d'entrée d'huile sales		
		Capteur de température défaillant		

Dans la figure 2, le modèle d'arbre de défaillance est établi par la « défaillance du générateur électrique » comme événement supérieur (G).

Quatre défauts courants sont des événements intermédiaires (les défauts « D »). Ci ($i=1 \dots 16$) sont utilisés pour représenter les événements de base.

Figure.2 Diagramme d'arbre de défaillance d'un générateur électrique

Tableau.2. La liste des segments et leur mécanisme de défaillance lié à l'arbre de défaillance

Code	Description	Code	Description
D1	Vibrations	C22	Le moniteur
D2	Surchauffe du générateur	C101	Vérification du synchronisation
D3	Température élevée accompagnée de vibrations	C102	Différentiel générateur
D4	Température élevée au niveau des paliers	C103	Retour de puissance
C1	Défaut de montage des paliers	C104	Perte d'excitation
C2	Système de surveillance des vibrations	C105	Relais de Surintensité de temps
C3	Défaut de balourd	C106	Relais de Sur/sous fréquence
C4	Problème d'accouplement	C107	Relais de Surtension
C5	Incendie	C108	Sous-tension
C6	Basculeurs d'air obstrués	C109	Relais de surtension à la terre
C7	Panne du ventilateur de refroidissement	C141	Qualité d'huile
C8	Ecrans d'entrée d'air sales	C142	Moteur
C9	Passages d'air bloqués	C143	Les Pompes
C10	Les relais de protection électriques	C144	Circuit d'huile (Tuyauterie)
C11	Trous d'air de refroidissement bouchés	C145	Pression d'huile
C12	Ventilateur de refroidissement d'arbre cassé	C1431	Pompe auxiliaire
C13	Régulateur de tension	C1432	Pompe mécanique
C14	Système de graissage	C1433	Pompe d'urgence
C15	Filtres d'entrée d'huile sales	C1451	Haute pression
C16	Capteur de température défaillant	C1452	Basse pression
C21	La sonde de vibration défaillante		

Tableau.3.Les probabilités a priori et posteriori des évènements de base (C1–C16).

Évènements de base			Probabilités a priori		Probabilités a posteriori		Probabilitéde défaillance		
C1			0.0009		0.0009		D1= 0.002		
C2	C21		0.0003		0.0005				
	C22		0.0002						
C3			0.0002		0.0002				
C4			0.0003		0.0003				
C5			0.0001		0.0001		D2=0.0016		
C6			0.0004		0.0004				
C7			0.0006		0.0006				
C8			0.0003		0.0003				
C9			0.0002		0.0002				
C10	C101		0.0001		0.0024		D3=0.0033		
	C102		0.0002						
	C103		0.0003						
	C104		0.0001						
	C105		0.0002						
	C106		0.0004						
	C107		0.0004						
	C108		0.0005						
	C109		0.0002						
C11			0.0001		0.0001				
C12			0.0003		0.0003				
C13			0.0005		0.0005				
C14	C141		0.0003		0.0039		D4= 0.0054		
	C142		0.0006						
	C143	C1431	0.0008	0.0014					
		C1432	0.0001						
		C1433	0.0005						
	C144		0.0009						
	C145	C1451	0.0003	0.0007					
		C1452	0.0004						
C15			0.0009		0.0009				
C16			0.0006		0.0006				

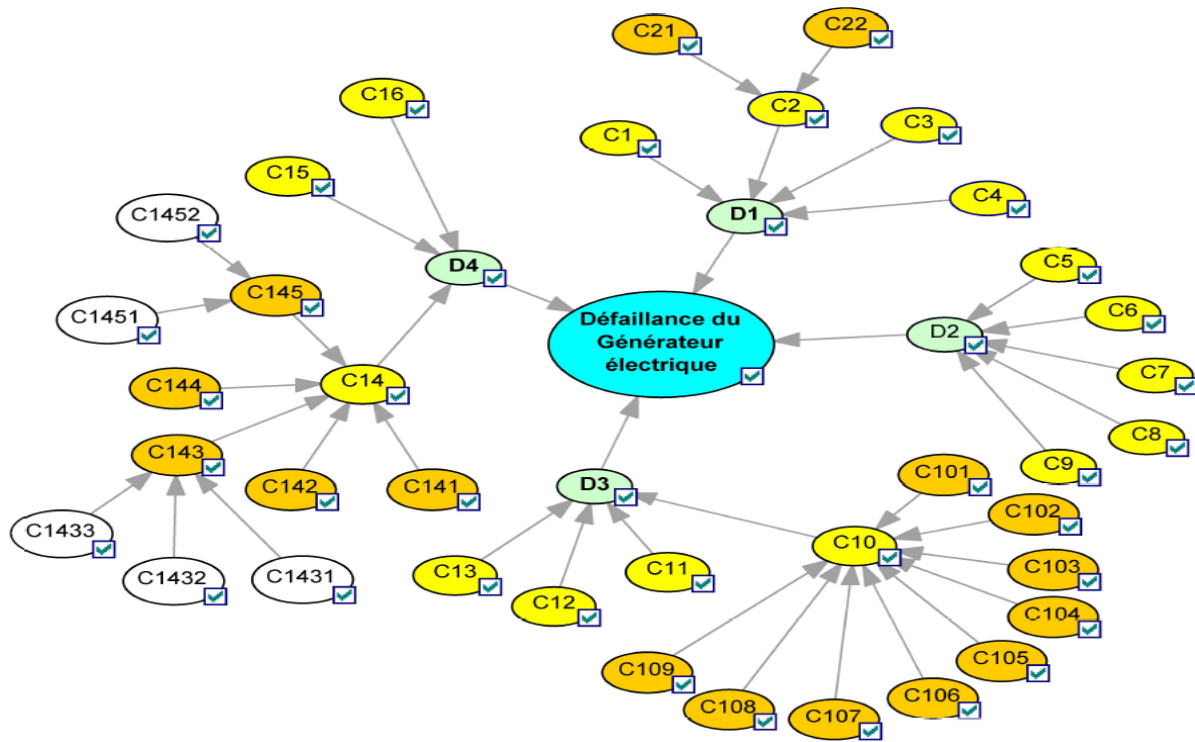


Figure.3 Représentation de l'arbre de défaillance d'un générateur électrique par réseau bayésien

Afin de présenter une analyse de défaillance probabiliste appropriée pour le générateur électrique à usage intensif et également de mettre à jour les probabilités de chaque nœud à l'aide des données d'inspection périodique, un RB est développée à partir du l'arbre de défaillance conçu. Les événements de base (C1 à C16) basés sur les rapports des experts, l'historiques de générateur (ex : paramètres, nombre de panne, ...etc.), Dans ce tableau.2, les "probabilités a priori" sont les données d'entrée pour l'apprentissage du réseau conçu et les "probabilités a posteriori" sont les résultats de sortie de l'analyse du réseau, en considérant que la défaillance de générateur (nœud supérieur du réseau bayésien) est en état d'échec. En fait, il indique la capacité du réseau à prédire la probabilité d'occurrence d'une panne dans chacun des nœuds de base.

5. Conclusion :

Dans cette étude, une analyse probabiliste des GE a été réalisée. AdD est utilisé pour connaître toutes les causes principales et les branches secondaires qui peuvent entraîner des dommages aux GE, après avoir répertorié tous les défauts dans le tableau.1 et sur la base des premières données collectées par les opérateurs et les experts de la maintenance, les probabilités a priori des défauts sont définis comme indiqué dans le même tableau. Ensuite les probabilités conduisant à l'évaluation de l'occurrence de la panne principale (l'interruption de l'GE) sont calculées. Ce modèle permet de prédire l'apparition de pannes sur les machines en

général avant qu'elles ne surviennent et c'est ce que recherchent la plupart des établissements industriels. Chose qui garantit d'anticiper la panne de la machine et planifier son arrêt. En plus des avantages techniques que permet l'utilisation des outils développés dans ce papier, ils donnent aussi l'occasion à réaliser des objectifs stratégiques tel que : éviter les coûts de maintenance élevés, gagner du temps, augmenter la production et améliorer la fiabilité et la sécurité du système.

RÉFÉRENCES:

- [1] Lakehal A, & Ghemari Z. (2016). *Optimisation of an emergency plan in gas distribution network operations with Bayesian networks*. *International Journal of Reliability and Safety*, 10(3), 227–242.
- [2] Marco Scutari. (2017). *Understanding Bayesian Networks with Examples in R*. Department of Statistics University of Oxford. 23–25.
- [3] BrahimI. B., AddoucheS. A., MhamediA. E., et al. (2019). *Build a Bayesian network from FMECA in the production of automotive parts: diagnosis and prediction*. *IFAC-Papers On Line*, 52(13), 2572-2577.
- [4] LakehalA., NahalM, &HarouzR. (2019). *Development and application of a decision making tool for fault diagnosis of turbocompressor based on Bayesian Network and fault tree*. *Management and Production Engineering Review*. 10(2), 16–24.
- [5] ZeroualiB, &HamaidiB. (2019). *Predictive analysis for risk of fire and explosion of LNG storage tanks by fuzzy Bayesian network*. *Society for Reliability and Safety (SRESA)*, 10.1007/s41872-019-00105-z.
- [6] Tingting W.,Anton V. B.,Jiarui H.,Huisheng Z, &Chen. W. (2022). *Bayesian Calibration of Performance Degradation in a Gas Turbine-Driven Compressor Unit for Prognosis Health Management*. *J. Eng. Gas Turbines Power*, 144(5), 051-014.
- [7] Richard E. (2003). *Learning Bayesian Networks Book*. Neapolitan,Northeastern Illinois,10.1145/1327942.1327961.