



UNIVERSITE DE CORSE-PASCAL PAOLI

**ECOLE DOCTORALE ENVIRONNEMENT ET SOCIETE
UMR CNRS 6134 SPE**



**Thèse présentée pour l'obtention du grade de
DOCTEUR EN AUTOMATIQUE, SIGNAL,
PRODUCTIQUE, ROBOTIQUE
Mention : Génie Informatique, Automatique et
Traitement du Signal**

Soutenue publiquement par

M. DAHIR ABDOURAHMAN YOUSOUF

le 19 Décembre 2019

**Observation et Diagnostic distribué d'un réseau de
panneaux solaires photovoltaïques**

Directeurs :

M Paul-Antoine BISGAMBIGLIA, Professeur, Université de Corse
M Yvon ANDRIANAHARISON, Professeur, Université d'Antananarivo

Rapporteurs :

Mme Corinne ALONSO, Professeure, Université de Toulouse
M Harry BOYER, Professeur, Université de la Réunion

Jury :

M Philippe POGGI, Professeur, Université de Corse,
M Harry BOYER, Professeur, Université de la Réunion, Rapporteur
Mme Corinne ALONSO, Professeure, Université de Toulouse, Rapporteur
M Christian CRISTOFARI, Professeur, Université de Corse
M Charles-Bernard ANDRIANIRINA, Professeur, Université de Mahajanga
M Moamar SAYED-MOUCHAWEH, Professeur, Université de Lille
M Paul-Antoine BISGAMBIGLIA, Professeur, Université de Corse, Directeur
M Yvon ANDRIANAHARISON, Professeur, Université d'Antananarivo, Codirecteur

Invité :

Dr Hassan ALI BARKAD, Université de Djibouti

Résumé

Comme tout processus industriels, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une dégradation de la performance du système voire à son indisponibilité totale. Toutes ces conséquences défavorables vont évidemment réduire la productivité de l'installation, et donc baisser le profit de l'installation, sans compter le coût de maintenance pour remettre le système en état normal. Le diagnostic et la détection de défauts dans une installation PV réduit les coûts de maintenance et surtout accroît la productivité en augmentant le taux de disponibilité des installations en veillant à ce que leur rendement soit optimal. De ce constat, il est primordial de mettre en place un module de surveillance qui permet de détecter, d'isoler, et de localiser toute défaillance susceptible de survenir.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à la conception et à la réalisation d'un système de surveillance basé sur l'analyse des caractéristiques électriques et donc basé essentiellement sur la génération et l'évaluation des résidus pour déterminer la présence ou l'absence d'anomalies dans une centrale PV dans la République de Djibouti (RDD). Deux centrales photovoltaïques installées à Djibouti servent d'expérimentations pour ce travail de recherche : une centrale dite CERD de 302 kWc connecté au réseau dans la capitale et une autre autonome située à ALI-ADDE (un village du Sud-Est de la RDD) d'une capacité de 62.1 kWc.

L'objectif principal de ces travaux de thèse est donc de réaliser/implémenter un outil de diagnostic de défauts des installations photovoltaïques tout en respectant les contraintes économiques. Pour cela, une modélisation de cellules silicium de type polycristallin dans différents modèles est présentée ; nous avons choisi le modèle à une diode à 5 paramètres d'une cellule PV. Par la suite, différents fonctionnements défaillants (*Diodes, ombrage, mismatch, salissure, khamsin, ...*) du générateur PV a été effectuée. Également, il est constaté qu'à Djibouti, les conditions météorologiques et notamment l'élévation anormale de la température ambiante et l'empoussièrement des panneaux en présence du phénomène de *khamsin* handicapent le bon fonctionnement des systèmes PV et dégradent sensiblement la production d'énergie des centrales PV. Durant la saison chaude, le khamsin domine le climat et surtout pendant les mois d'été de Juin à Août. Ce violent vent de sable est hostile pour les panneaux PV en déversant une quantité non négligeable de sable sur les modules des centrales solaires et conduisent ainsi à la dégradation de la puissance à la sortie des panneaux PV.

Afin de résoudre ces différents types de défauts susceptibles de survenir sur les centrales PV à Djibouti, nous proposons un procédé de détection de défauts en utilisant d'une part les méthodes de *Machines Learning*. Il s'agit des méthodes de la régression linéaire multiple (RLM) et celle des réseaux de neurones artificielles (RNA). Et d'autre part, nous avons proposé la détection des défauts des pannes des panneaux par la méthode des observateurs de type *Takagi-Sugeno* puisqu'ils sont adaptés aux systèmes non-linéaires. Cette démarche a été validée par des simulations comparées aux mesures des centrales PV de Djibouti.

Mots clés : Diagnostic, Défauts, Détection, Khamsin, Observateurs Takagi-Sugeno, Régression Linéaire Multiple (RLM), Réseau de Neurones Artificiels (RNA), Djibouti.

Abstract

Like any industrial process, a photovoltaic system can be subjected, during its operation, to various faults and anomalies leading to a degradation of the system performance or even to its total unavailability. All these adverse consequences will obviously reduce the productivity of the installation, and thus lower the profit of the installation, not to mention the cost of maintenance to restore the system to a normal state. The diagnosis and the detection of defects in a PV installation reduces maintenance costs and, above all, increases productivity by increasing the availability rate of the installations by ensuring that their performance is optimal. From this observation, it is essential to set up a monitoring module that can detect and locate any failure that may occur.

In this thesis, we are interested in the design and implementation of a monitoring system based on the analysis of electrical characteristics and therefore based essentially on the generation and evaluation of residues to determine the presence or absence of anomalies in a PV plant in the Republic of Djibouti (RDD). Two photovoltaic plants installed in Djibouti are used as experiments for this research work: a CERD power plant of 302 kWp connected to the network in the capital and another autonomous located in ALI-ADDE (a village in the South-East of the RDD). a capacity of 62.1 kWp.

The main objective of this thesis is to realize / implement a tool for fault diagnosis of photovoltaic installations while respecting the economic constraints. For this, a modelling of polycrystalline silicon cells in different models is presented; we chose the 5-parameter diode model of a PV cell. Subsequently, various faulty operations (diodes, shading, mismatch, soiling, khamsin, ...) of the PV generator were performed.

Also, it is noted that in Djibouti, the weather conditions and in particular the abnormal rise of the ambient temperature and the dusting of the panels in the presence of the phenomenon of khamsin handicap the good functioning of the PV systems and degrade significantly the production of energy PV plants. During the hot season, khamsin dominates the climate and especially during the summer months from June to August. This violent sand wind is hostile to PV panels by pouring a significant amount of sand on the modules of solar power plants and lead to the degradation of power output of PV panels.

In order to solve these different types of faults that can occur on PV power plants in Djibouti, we propose a method of detection of faults using on the one hand the methods of Machines Learning. These are the methods of Multiple Linear Regression (MLR) and Artificial Neural Networks (ANN). And on the other hand, we proposed the detection of panel failure faults by Takagi-Sugeno observers method since they are adapted to non-linear systems. This approach was validated by simulations compared to the measurements of Djibouti PV plants.

Key Words : Diagnosis, Fault, Detection, Khamsin, Takagi-Sugeno Observers, Multiple Linear Regression (MLR), Artificial Neural Network (ANN), Djibouti.