

Effet de la dégradation d'un module sur les paramètres d'un système solaire photovoltaïque et évaluation de la dégradation intrinsèque

Brice Armel KABA¹, Emmanuel NANEMA², Tizane DAHO¹, Jacques Marie ILBOUDO²

Résumé

La production de courant électrique sous l'effet de la radiation lumineuse est à l'origine de la mise au point de cellules solaires photovoltaïques. Elle résulte de l'effet photovoltaïque. Les technologies de productions solaires photovoltaïques ont pour but de produire des modules de meilleure performance. Cependant, les modules solaires d'un système photovoltaïque peuvent subir plusieurs types de dégradations qui peuvent être d'origine industrielle ou accidentelle. Ces dégradations ont des impacts sur les performances de l'installation globale. L'objectif de ce travail est d'évaluer les effets de ces dégradations sur les paramètres électriques des installations solaires photovoltaïques. Les réseaux étudiés sont des réseaux de quatre modules. Un module dégradé est inséré dans le réseau afin d'étudier son influence sur l'installation globale. De ce travail de modélisation, il apparait une baisse des performances du système lorsque l'on y introduit des modules dégradés. Dans ce cas, la dégradation intrinsèque ou induite n'est pas négligeable. Cette étude montre également que les réseaux de modules montés en séries comportant des modules dégradés présentent une caractéristique différente de celles des réseaux de modules en parallèle comportant des modules dégradés. L'étude a été menée sous de basses latitudes dans la région équatoriale (Latitude : 12°N, Longitude : 358°E).

Mots-clés : Cellule solaire, module solaire, effet photovoltaïque, dégradation, paramètres électriques.

Effects of degraded module on a photovoltaic solar system parameters and intrinsic degradation evaluation

Abstract

Solar cell technology uses solar radiation to produce electric current. High performance solar cells are manufactured on the basis of this technology using photovoltaic effect. However, degradations reduce solar modules performances. These degradations are caused by technical process during the cells production or can happen accidentally. The main goal of this work is to evaluate the effects of modules degradation on the electric parameters of a photovoltaic solar system. The study uses a system with four modules associated in series and parallels. One of the modules is degraded accidentally. This modeling study shows that the presence of a degraded module in a system reduces the performance of the solar photovoltaic system. Intrinsic degradation takes place in the system in which a degraded module is inserted.

¹ Institut de Génie de l'Environnement et du Développement Durable (IGEDD), Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7041 Ouagadougou, 03 Burkina Faso

² Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 03 BP 7047 Ouagadougou 03, Burkina Faso

* Auteur correspondant : nanema_emmanuel@yahoo.fr

This intrinsic degradation is not negligible. This study also highlights differences between the electric characteristics of modules associated in series from those associated in parallels. The study took place under low latitudes (Latitude: 12°N, Longitude: 358°E).

Keywords: Solar cell, solar module, photovoltaic effect, degradation, electric parameters.

Introduction

Le vieillissement et la dégradation des modules solaires photovoltaïques sont de diverses origines. Ces phénomènes limitent la performance des installations solaires photovoltaïques. Ils peuvent résulter des effets de la température, ou avoir des origines technologiques (défauts de fabrication), mécaniques ou physiques (DIA *et al.*, 2016 ; SKOPLAKY *et al.*, 2009). Au nombre de ces dégradations, il y a la décoloration, la délamination, les accidents sur le module et les fissures de la cellule, le potentiel induit de dégradation, le hot spot, et les bulles (ABABACAR *et al.*, 2013). Un module solaire dégradé et introduit dans un réseau de modules identiques joue un rôle semblable à celui d'un accumulateur de charge dont la tension à ses bornes est différente de celles des autres accumulateurs qui constituent un réseau. Les dégradations des modules solaires ne sont pas toujours uniformes. Ainsi, elles ne sont pas nécessairement du même ordre pour tous les modules d'un système (AZIZI *et al.*, 2018). Le présent travail a pour objectif de quantifier les effets de la dégradation d'un module solaire sur les paramètres électriques (tension, courant et puissance) dans un système photovoltaïque. Dans ce travail, le module dégradé a subi un choc mécanique.

I. Matériel et méthodes

Les réseaux étudiés sont constitués par un ensemble de quatre modules. Un des réseaux est composé de trois modules neufs et d'un module dégradé (3MN+1MD) en série et l'autre est composé de trois modules neufs et un module dégradé en parallèle. Les paramètres électriques délivrés par ces réseaux sont comparés à ceux des réseaux composés de quatre modules neufs (4MN) et de quatre modules dégradés (4MD). Les ensembles de quatre modules sont successivement montés en série et en parallèle pour la comparaison.

Le modèle de la cellule solaire utilisée est le modèle à une diode utilisée (HAROON *et al.*, 2017 ; KHANAM *et al.*, 2018).

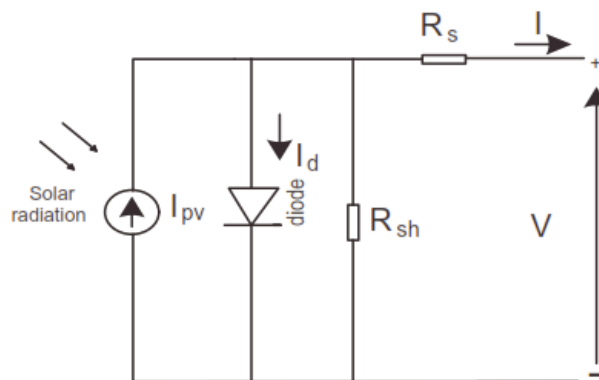


Figure 1 : Modèle électrique équivalent d'une cellule solaire sous éclairnement.

Le photocourant I_{pv} résultant de l'effet de l'éclairement incident (NGUYEN *et al.*, 2015) est régi par l'équation (1) :

$$I_{PV} = [I_{SC} + K_i(T - 298)] \times \frac{I_R}{1000} \quad (1)$$

Dans l'équation (1), I_{sc} désigne le courant de court-circuit, K_i le coefficient de température du courant de court-circuit de la cellule à 25 °C sous 1000 W/m², I_r l'ensoleillement.

L'expression du courant inverse de saturation est donnée par l'équation (2) :

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{N_s k n T}\right) - 1 \right]} \quad (2)$$

où q désigne la charge électronique, la tension de circuit ouvert, N_s le nombre de cellules connectées en série, n le facteur d'idéalité de la diode, k la constante de Boltzmann, T la température d'opération.

Le courant de saturation de la diode s'exprime par :

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q \times E_{g0}}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \quad (3)$$

Dans l'expression (3), T_r désigne la température nominale de référence (298,15 K), E_{g0} étant le gap énergétique du semi-conducteur.

Le courant de sortie I du module s'exprime par :

$$I = N_p \times I_{ph} - N_p \times I_0 \times \left[\exp\left(\frac{V + I \times R_s}{n \times V_t}\right) - 1 \right] - I_{sh} \quad (4)$$

où $V_t = \frac{k \times T}{q}$ est la tension thermique de la diode, $I_{sh} = \frac{V \times \frac{N_p}{N_s} + I \times R_s}{R_{sh}}$ le courant qui traverse la résistance shunt R_{sh} et N_p étant le nombre de cellules photovoltaïques connectées en parallèle.

Dans ce travail, nous supposons un réseau de quatre modules de puissance 100W chacun et de tension de circuit ouvert 48V dont l'un a subi une dégradation mécanique, ramenant sa tension de circuit ouvert à 40V. Les paramètres électriques de ces trois modules sont extraits des travaux de HAROON *et al.*

Les différents systèmes (en séries et en parallèles) étudiés sont présentés sur les figures 2 et 3.

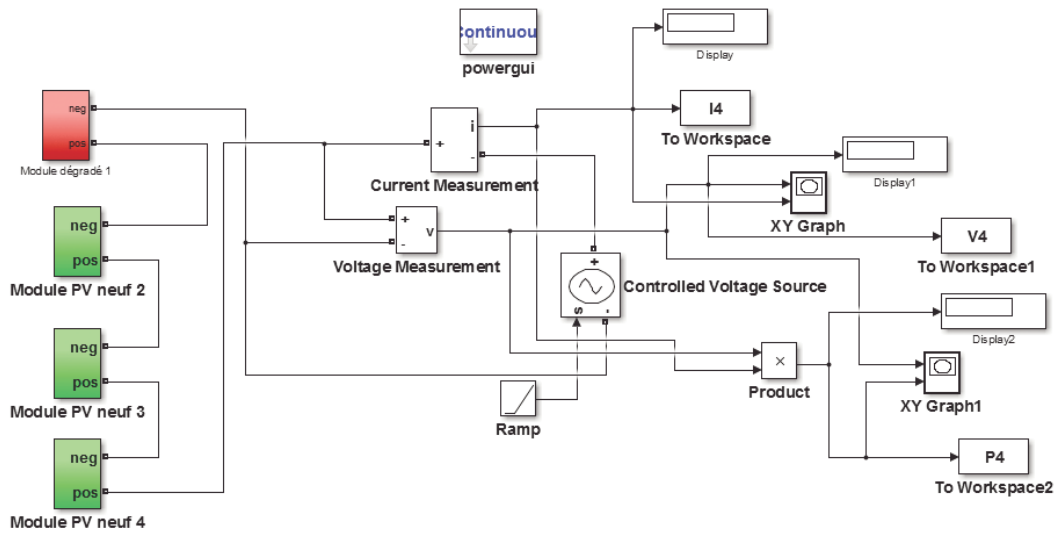


Figure 2 : Réseau de trois modules neufs et un module dégradé montés en série.

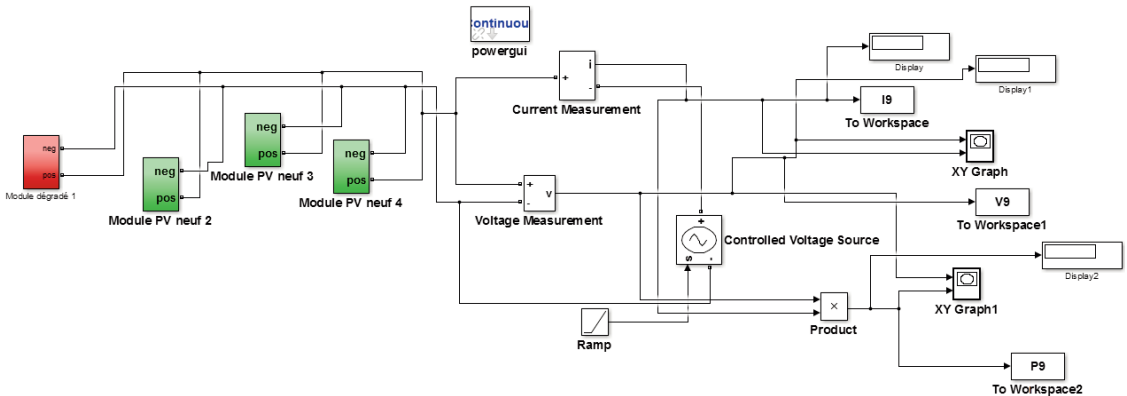


Figure 3 : Réseau de trois modules neufs et un module dégradé montés en parallèle.

II. Résultats et discussions

L'étude des réseaux montés en série et en parallèles a donné les résultats suivants :

2.1. Réseau de modules montés en série

Les figures 4 et 5 présentent respectivement les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) des réseaux de modules montés en série.

Pour quatre modules ayant subi les mêmes dégradations (4MD) ou quatre modules neufs (4MN), la caractéristique I-V présente un seul point de puissance maximum. Cependant, pour un réseau comportant un module dégradé et trois modules neufs (3MN+1MD) la caractéristique I-V présente deux points de puissance maximum. La comparaison entre les différents points de puissance maximum montre un abaissement progressif de ce point entre les systèmes de 4MN, (3MN+1MD) à 4MD dans le cas des systèmes montés en série.

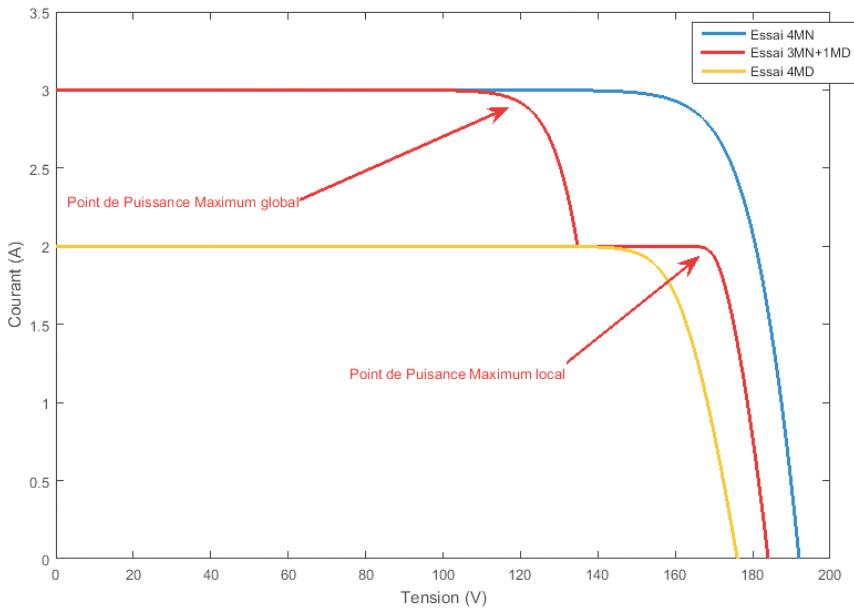


Figure 4 : Caractéristiques I-V des réseaux de modules montés en série.

La figure 5 présente les caractéristiques P-V des réseaux 4MN, (3MN+1MD) et 4MD montés en série. Les caractéristiques P-V de 4MN et 4MD montrent un seul point de puissance maximum tandis que la caractéristique P-V de (3MN+1MD) présente deux points de puissance maximum comme indiqués sur la figure 4. La puissance est décroissante de 4MN, (3MN+1MD) à 4MD. Ceci montre que la dégradation introduit une baisse de puissance dans les réseaux électriques. Cette baisse de puissance est proportionnelle au niveau de la dégradation.

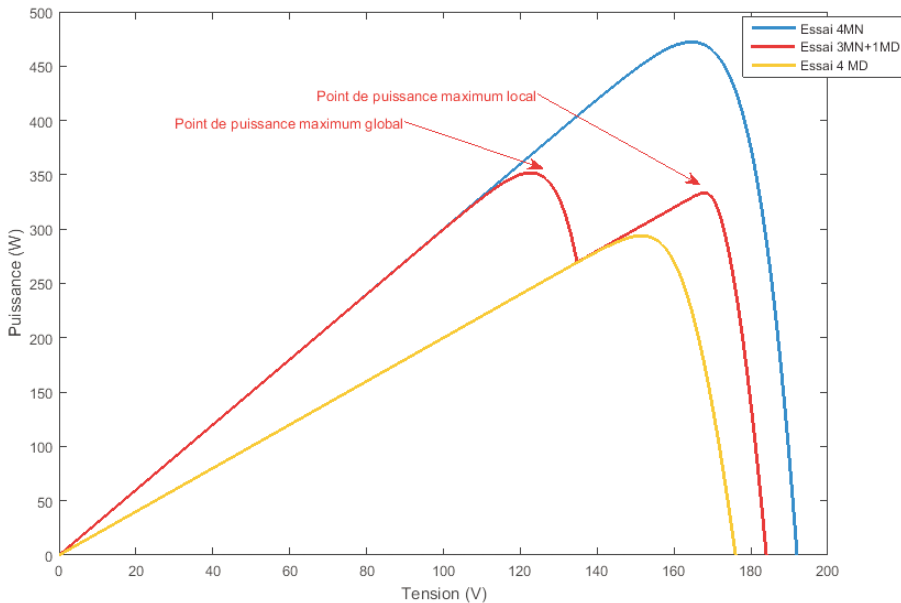


Figure 5 : Caractéristiques P-V des réseaux de modules montés en série.

L'apparition de deux points de puissance maximum mis en évidence dans les caractéristiques I-V et P-V sur les figures 4 et 5 a été confirmée par d'autres auteurs (REINDERS *et al.*, 2017) dans l'étude de réseau comportant des cellules couvertes d'ombrage. Le pic de puissance le plus bas est appelé point de puissance maximum local et celui de puissance le plus élevé est appelé point de puissance maximum global.

2.2. Réseau de modules montés en parallèle

Dans un réseau de modules montés en parallèle, les caractéristiques I-V et P-V sont présentées sur les figures 6 et 7.

La figure 6 présente les caractéristiques I-V des réseaux 4MN, (3MN+1MD) et 4MD. Ces différentes caractéristiques présentent chacune un seul point de puissance maximum. La puissance est décroissante successivement dans l'ordre 4MN, (3MN+1MD) à 4MD. Ceci montre que la dégradation introduit une baisse de puissance dans les réseaux électriques.

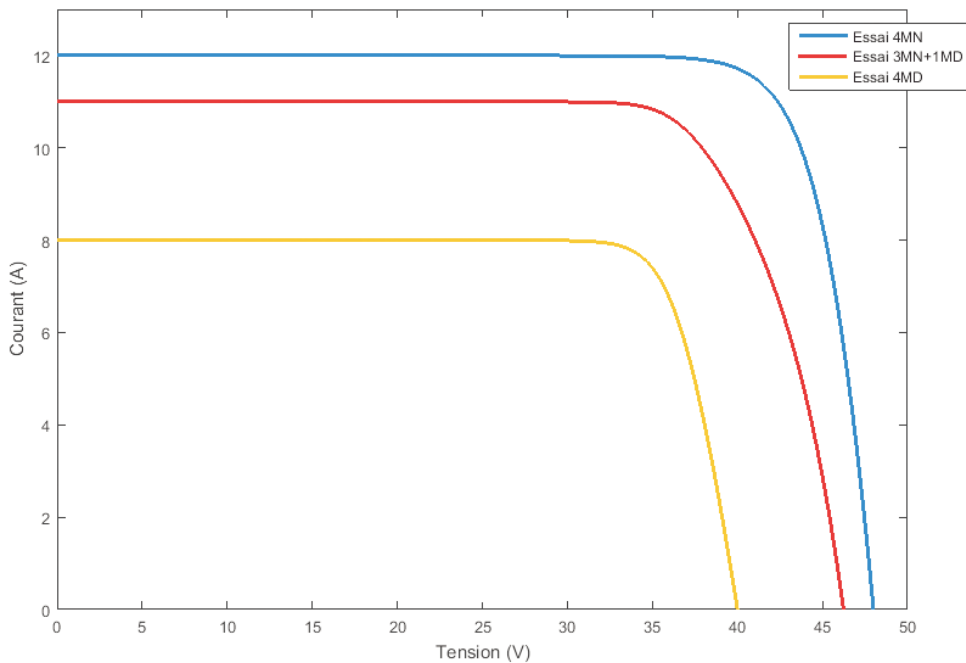


Figure 6 : Caractéristiques I-V des réseaux de modules montés en parallèle.

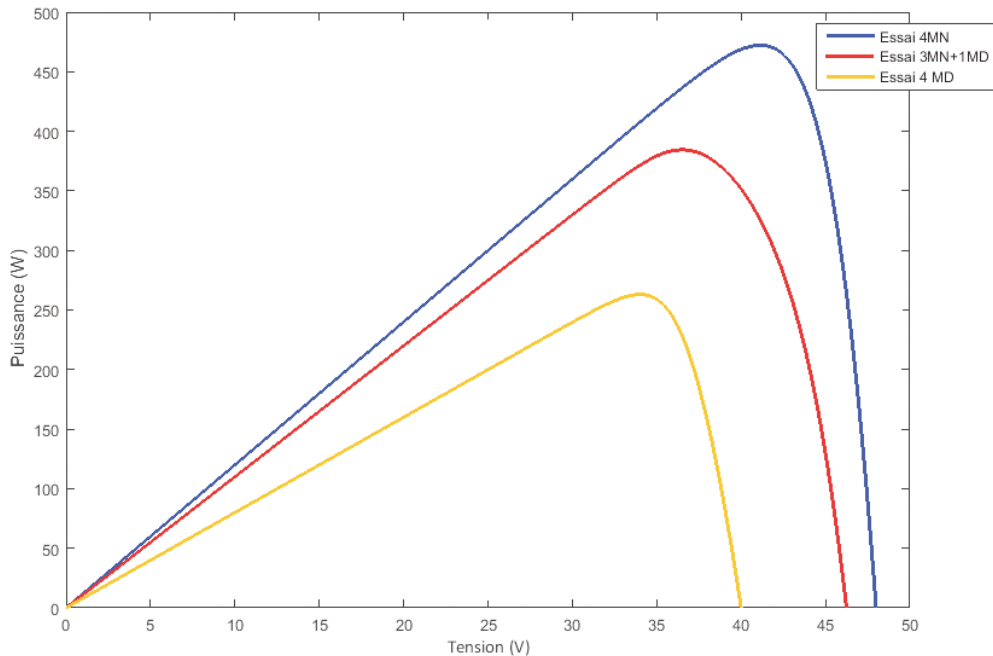


Figure 7 : Caractéristiques P-V des réseaux de modules montés en parallèle.

Les caractéristiques P-V des réseaux de modules montés en parallèle sont représentées sur la figure 7. Ces caractéristiques montrent un seul point de puissance maximum pour chaque caractéristique. La puissance baisse progressivement de 4MN, (3MN+1MD) à 4MD. Il résulte qu'une dégradation sur un module introduit une baisse de puissance dans un réseau électrique.

2. 3. Evaluation des taux de dégradation des modules

La dégradation apparente sur un paramètre ne tient pas compte en première estimation de l'effet de l'association des modules dans un système sur le paramètre résultant. Elle prend en compte les paramètres de chaque module dans un système pour l'estimation du paramètre résultant. La dégradation réelle tient compte du fonctionnement réel du système. Le paramètre résultant dans le cas de la dégradation réelle est le paramètre de fonctionnement du système. Il existe un écart entre le paramètre de fonctionnement et le paramètre résultant de la dégradation apparente. Cet écart traduit la dégradation intrinsèque ou dégradation induite. Elle est propre à l'installation et du type d'association des modules dans le réseau étudié.

Ainsi, l'évaluation des écarts de la tension, du courant et de la puissance au point de puissance maximum global entre les systèmes est donnée par l'équation (7) :

$$\varepsilon = \frac{X - x}{X} \cdot 100 \quad (7)$$

La dégradation apparente ε_1 d'un paramètre électrique est :

$$\varepsilon_1 = \frac{X_{4MN} - \sum_{i=1}^4 x_{Mi}}{X_{4MN}} \cdot 100 \quad (8)$$

où X_{4MN} désigne la somme des valeurs du paramètre étudié des quatre modules neufs au point de puissance maximum global, X_{Mi} désigne la valeur du paramètre étudié de chaque module.

La dégradation réelle ε_2 d'un paramètre est :

$$\varepsilon_2 = \frac{X_{4MN} - X_{\text{réelle totale du réseau considéré}}}{X_{4MN}} \cdot 100 \quad (9)$$

où $X_{\text{réelle totale du réseau considéré}}$ désigne la valeur du paramètre étudié au point de puissance maximum global d'un système en fonctionnement.

La dégradation intrinsèque ε_3 due à l'introduction d'un module dégradé dans le système est évaluée comme suit :

$$\varepsilon_3 = \frac{\sum_{i=1}^4 x_{Mi} - X_{\text{réelle totale du réseau considéré}}}{\sum_{i=1}^4 x_{Mi}} \cdot 100 \quad (10)$$

2.3.1. Evaluation de la variation des taux de dégradation des modules montés en série

Dans un réseau de modules montés en série, le courant à travers chaque module est le même. C'est le courant résultant. Les paramètres étudiés dans les réseaux de modules montés en série sont la puissance et la tension. La figure 8 représente les variations des taux de dégradation de la puissance et de la tension dans un réseau de modules montés en série. Les figures 8.a et 8.b présentent respectivement la variation des dégradations apparente, réelle, et intrinsèque de la puissance et de la tension sur un réseau de modules (3MN+1MD) montés en série. La dégradation apparente est représentée sur l'axe horizontal, la dégradation intrinsèque sur l'axe vertical principal, la dégradation réelle sur l'axe vertical secondaire.

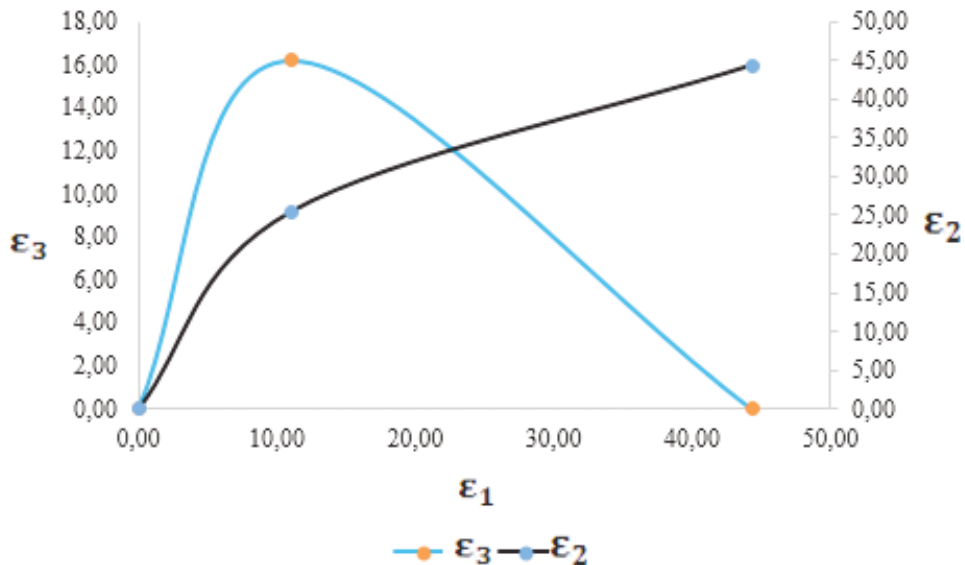


Figure 8.a : Variations des dégradations de la puissance.

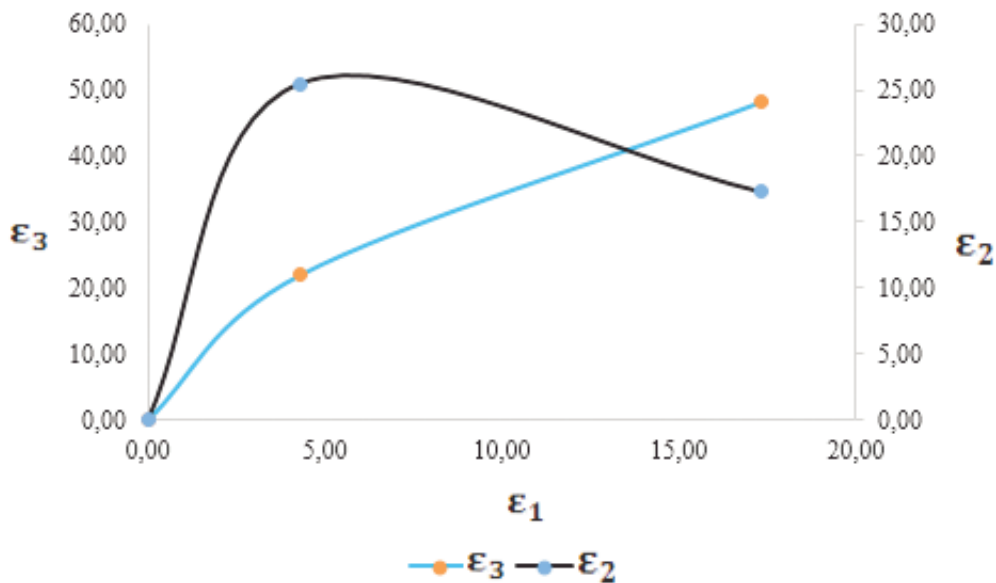


Figure 8.b : Variations des dégradations de la tension.

Figure 8 : Variations des dégradations des réseaux de modules montés en série dont un module est dégradé.

La figure 8 a montré que la dégradation réelle subie par l'ensemble du réseau augmente proportionnellement avec la dégradation apparente sur la puissance. Au-delà du point de puissance maximum, la dégradation intrinsèque relative à la puissance diminue. La puissance réelle délivrée par le réseau décroît proportionnellement avec le taux de dégradation.

La figure 8.b montre que la dégradation réelle sur la tension du réseau augmente avec la dégradation apparente jusqu'au point de puissance maximum. Au-delà du point de puissance maximum, le taux de dégradation diminue. La dégradation intrinsèque sur la tension due à l'introduction du module dégradé dans le réseau augmente au-delà du point de puissance maximum.

La comparaison de la variation de la dégradation intrinsèque sur la puissance et sur la tension montre qu'au-delà du point de puissance maximum, ces deux grandeurs varient inversement pour les réseaux de modules montés en série.

Ainsi, sur l'ensemble des points de fonctionnement du système de modules montés en série, la puissance et la tension présentent un écart entre les valeurs réelles mesurées et les valeurs apparentes. D'où l'apparition de la dégradation intrinsèque propre au système.

2.3.2. Evaluation de la variation des taux de dégradation des modules montés en parallèle

Les paramètres étudiés dans les réseaux de modules montés en parallèle sont la puissance et le courant. La figure 9 représente les variations des taux de dégradation de la puissance et du courant dans un réseau de modules montés en parallèle. Les figures 9.a et 9.b présentent respective-

ment la variation des dégradations apparente, réelle, et intrinsèque de la puissance et du courant sur un réseau de modules (3MN+1MD) montés en parallèle. La dégradation apparente est représentée sur l'axe horizontal, la dégradation intrinsèque sur l'axe vertical principal, la dégradation réelle sur l'axe vertical secondaire.

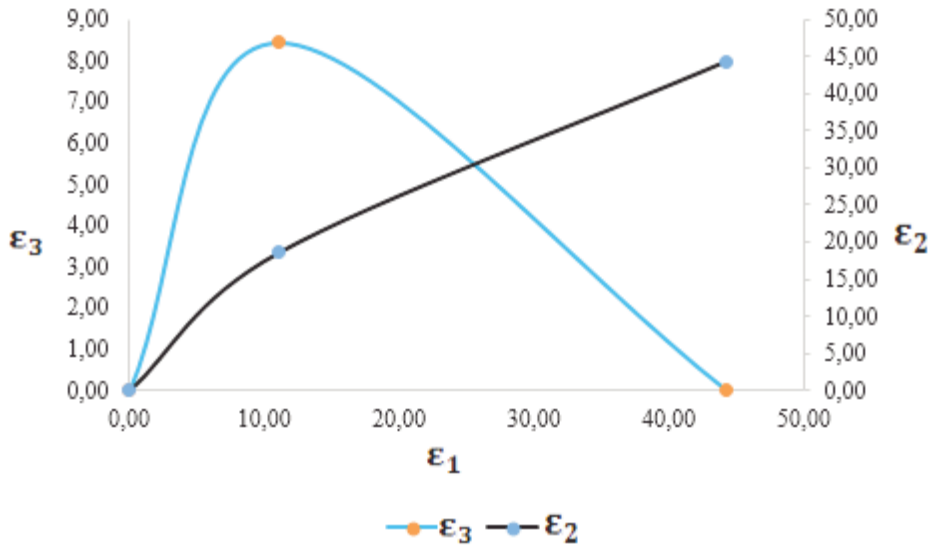


Figure 9.a : Variations des dégradations de la puissance.

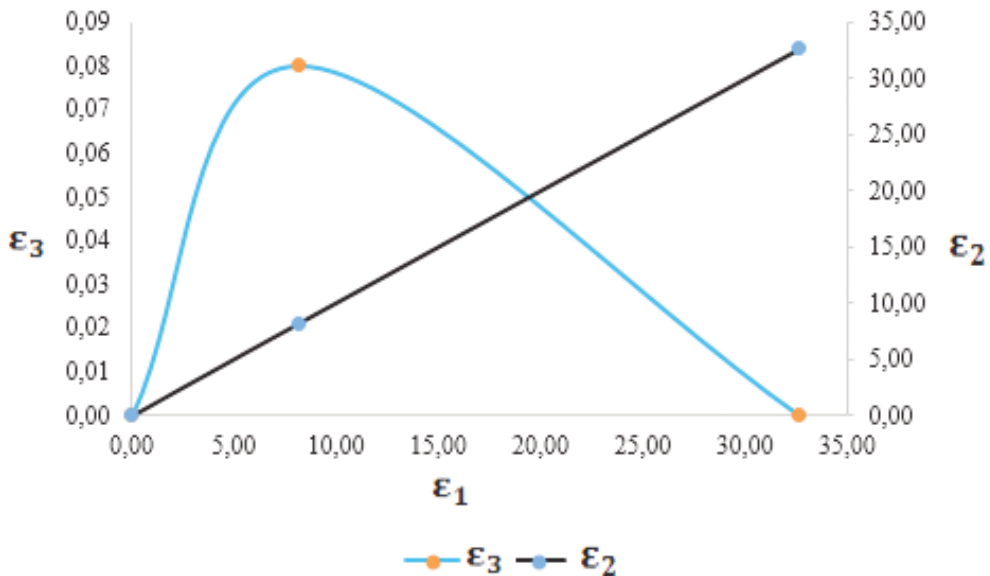


Figure 9.b : Variations des dégradations du courant.

Figure 9 : Variations des dégradations des réseaux montés en parallèle dont un module est dégradé.

La figure 9.a indique que la dégradation réelle sur la puissance subie par le réseau de modules montés en parallèle augmente proportionnellement avec la dégradation apparente. Cependant, la dégradation intrinsèque au réseau diminue après le point de puissance maximum.

La dégradation réelle sur le courant pour un réseau de modules montés en parallèle augmente proportionnellement avec la dégradation apparente (figure 9.b). Au-delà du point de puissance maximum, la dégradation intrinsèque diminue. La dégradation intrinsèque sur la puissance et le courant sur un réseau de modules montés en parallèle varie dans le même sens sur l'ensemble des différents points de fonctionnement du réseau. Cela a pour origine l'apparition de la dégradation intrinsèque. Sur l'ensemble des points de fonctionnement d'un réseau de modules montés en parallèle, la puissance et le courant présentent un écart entre les valeurs réelles mesurées et les valeurs apparentes.

Conclusion

Le présent travail est une étude de l'effet induit par un module dégradé sur la tension et la puissance dans un réseau de modules neufs. Il présente la variation de ces paramètres en fonction du niveau de dégradation. Cette étude a permis de mettre en évidence la déformation des caractéristiques I-V et P-V des réseaux. Elle montre une baisse de puissance globale du réseau avec l'introduction de module dégradé. Les caractéristiques I-V et P-V présentent deux points de puissance maximum dans les réseaux de modules montés en série, tandis que les réseaux de modules montés en parallèle présentent seulement un seul point de puissance maximum. Cette étude a permis de mettre en évidence l'apparition de la dégradation intrinsèque. Ce paramètre est induit par l'introduction d'un module dégradé. Il traduit les écarts entre les valeurs réelles mesurées et les valeurs apparentes des paramètres du système. Les résultats de ce travail sont en accord avec ceux trouvés par d'autres auteurs, notamment dans l'étude des phénomènes d'ombre portée sur les modules.

Références bibliographiques

- DIA F., MBENGUE N., DIAGNE M., NIASSE O. A., BA B. and SÈNE C., 2016.** Contribution to the Study of the Degradation of Modules PV in the Tropical Latitudes: Case of Senegal. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 12, 427-438, <https://doi.org/10.19026/rjaset.12.2383>
- SKOPLAKY E., PALYVOS J. A., 2009.** On the Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A Review of Efficiency/Power Correlations. *Solar Energy*, 83, 614-624, <https://doi.org/10.1016/j.soler.2008.10.008>
- ABABACAR N. et al., 2013.** Degradations of silicon photovoltaic modules : A literature review, *Solar Energy* Vol. 96, 140-151.
- AZIZI A. et al., 2018.** Impact of the aging of a photovoltaic module on the performance of a grid connected system, *Solar Energy* Vol. 174, 445-454.
- NGUYEN et al., 2015.** Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays with tags in Matlab/Simulink, *Environnemental Systems Research* 4, 24 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0047-9>
- HAROON A. et al., 2017.** Comparative analysis of old, recycled and new PV modules, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* vol. 29, 22-28.
- KHANAM J., FOO S., 2018.** Modeling of a Photovoltaic Array in MATLAB Simulink and Maximum Power Point Tracking Using Neural Network, *Journal of Electrical & Electronic Systems*, Vol.7, n°3, 1-8, DOI: 10.4172/2332-0796.1000263
- REINDERS A., VERLINDEN P., SARK W.V., 2017.** Photovoltaic *Solar Energy*, Wiley, New York, 553-554.