

## ORIGINAL ARTICLE



# IMPACT DE LA PENETRATION DU PHOTOVOLTAÏQUE SUR LE RESEAU ELECTRIQUE

## IMPACT OF PHOTOVOLTAIC PENETRATION ON THE ELECTRICAL NETWORK

| Toussaint Tilado Guingane<sup>1</sup> | Zacharie Koalaga<sup>1</sup> | Cedric Beogo<sup>1</sup> | Eric Simonguy<sup>1</sup> | Nogma Ouiya<sup>1</sup> | Dominique Bonkoungou<sup>1</sup> | et | François Zougmore<sup>1</sup> |

<sup>1</sup>: Université Ouaga 01 Prof Joseph Ki Zerbo | Physique | LAME | Ouagadougou | Burkina-Faso |

| Received | 21 October 2017 | | Accepted | 08 November 2017 | | Published 15 November 2017 |

### RESUME

**Contexte :** Beaucoup de pays africains à l'exemple du Burkina-Faso ont opté l'énergie photovoltaïque connectée au réseau pour renforcer leur faible production locale. **Objectif :** Ce travail présente une contribution à l'étude de l'influences du raccordement des systèmes photovoltaïques (SPV) sur le réseau électrique caractérisé par un faible maillage, une faible puissance installée et surtout une instabilité.

**Matériels et méthodes :** Les simulations sont réalisées sous Matlab/Simulink avec des modèles simplifié d'un système pour permettre le programme de tourner vite en 24h. **Résultats :** Les simulations ont permis d'analyser les différents impacts de l'injection du PV sur le réseau. Il s'avère que le système PV de façon générale influe : sur la puissance du poste source en diminuant la puissance d'appel de celui-ci ; sur la tension du réseau ; sur le cos φ des réseaux électriques sans compensateur de puissance réactive. Nos résultats sont en bon accord avec les résultats existant dans la littérature. **Conclusion :** Au regard des énormes perturbations engendrées sur le réseau des précautions doivent être prises lorsqu'une généralisation du raccordement du photovoltaïque sur le réseau est adoptée.

**Mots-clés:** systèmes photovoltaïques, réseau électrique, impacts, Matlab/Simulink, tension, puissance

### ABSTRACT

**Context:** Many African countries, for example Burkina Faso, opted for grid-connected photovoltaic power to boost their low local production. **Objective:** This work presents a contribution to the study of the influences of the connection of the photovoltaic systems (SPV) to the electric network characterized by a weak mesh, a weak installed power and especially an instability. **Materials and methods:** Simulations are performed under Matlab / Simulink with simplified models of a system to allow the program to run quickly in 24 hours. **Results:** The simulations allowed to analyze the different impacts of the injection of PV on the network. It turns out that the PV system generally influences: the power of the source station by decreasing the power of the latter; on the network voltage; on the cos of the electrical networks without reactive power compensator. Our results are in good agreement with the results existing in the literature. **Conclusion:** In view of the enormous disturbances generated on the network precautions must be taken when a generalization of the connection of photovoltaic on the network is adopted.

**Keywords :** photovoltaic systems, power grid, impacts, Matlab / Simulink, voltage, power

### 1. INTRODUCTION

De nos jours la demande énergétique mondiale est majoritairement satisfaite par les sources traditionnelles d'énergies fossiles avec plus de 75% de l'énergie primaire utilisée. Cependant leur rôle dans le réchauffement climatique, en partie lié à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, et leur raréfaction prochaine nous obligent aujourd'hui à une prise de conscience et à envisager un nouveau paradigme énergétique au niveau mondial [1].

Dans cette optique, les énergies renouvelables se présentent comme une solution potentielle pour certains pays qui ont décidé d'y faire recours.

Parmi ces moyens de production prometteurs (éolien, photovoltaïque (PV), micro hydraulique...), le photovoltaïque apparaît aujourd'hui comme le plus approprié et le plus abouti pour la production d'électricité propre dans une moindre dépendance des ressources fossiles.

Dans cette optique, les énergies renouvelables se présentent comme une solution potentielle pour certains pays qui ont décidé d'y faire recours. Le Burkina Faso, par exemple dans son Plan National de Développement Economique et Social (PNDES), a inscrit parmi ses objectifs stratégiques l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la production locale d'électricité de 6,4 % en 2015 à 30 % en 2020. L'objectif visé est de réduire la dépendance vis à vis des ressources

\*Corresponding and Author Copyright © 2017: Toussaint Tilado Guingane. All Rights Reserved. All articles published in American Journal of Innovative Research and Applied Sciences are the property of Atlantic Center Research Sciences, and is protected by copyright laws CC-BY. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

énergétiques fossiles et des importations d'électricité qui ont représenté 31 % du total d'énergie injecté sur le réseau en 2015.

Le Burkina Faso affiche clairement son orientation vers le développement de l'énergie solaire PV à travers [1,2,3,4] : l'encouragement des usagers à s'équiper d'installations solaires PV pour une autoproduction et une éventuelle injection du surplus dans le réseau électrique national ; un programme de réalisation de centrales solaires d'une puissance totale de 212 MWc. Ainsi 24 centrales solaires sont programmées au Burkina Faso entre 2015 à 2020. Ces centrales, d'une puissance totale de 212 MWc, permettront une production annuelle de l'ordre de 343 GWh d'énergie électrique, soit environ 20% des prévisions de la consommation électrique à l'horizon de 2020. Avec un tel taux de couverture de la consommation électrique par l'énergie solaire, le Burkina pourrait s'afficher comme étant une référence de développement de solaire à l'échelle du continent Africain.

Cependant le raccordement des systèmes photovoltaïques dans le réseau électrique burkinabé caractérisé par son faible maillage, sa faible puissance installée et surtout son instabilité, laisse supposer de nombreux problèmes techniques et des conséquences imprévisibles. Ces problèmes qui seront induits par l'interaction des SPV avec les réseaux, non initialement conçus pour les accueillir, sont entre autres [5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16] : l'altération du plan de tension du réseau ; le déséquilibre de phase ; les modifications des conditions de garantie des services réseau ; le changement des flux de puissance (bidirectionnel) ; le dépassement non contrôlable des capacités d'accueil du réseau ; la difficulté de prévision de la production PV ; le dysfonctionnement des protections.

L'objectif de ce travail est de présenter une contribution à l'étude du raccordement des systèmes photovoltaïques (SPV) au réseau électrique afin de lui permettre une bonne intégration généralisée sur le réseau.

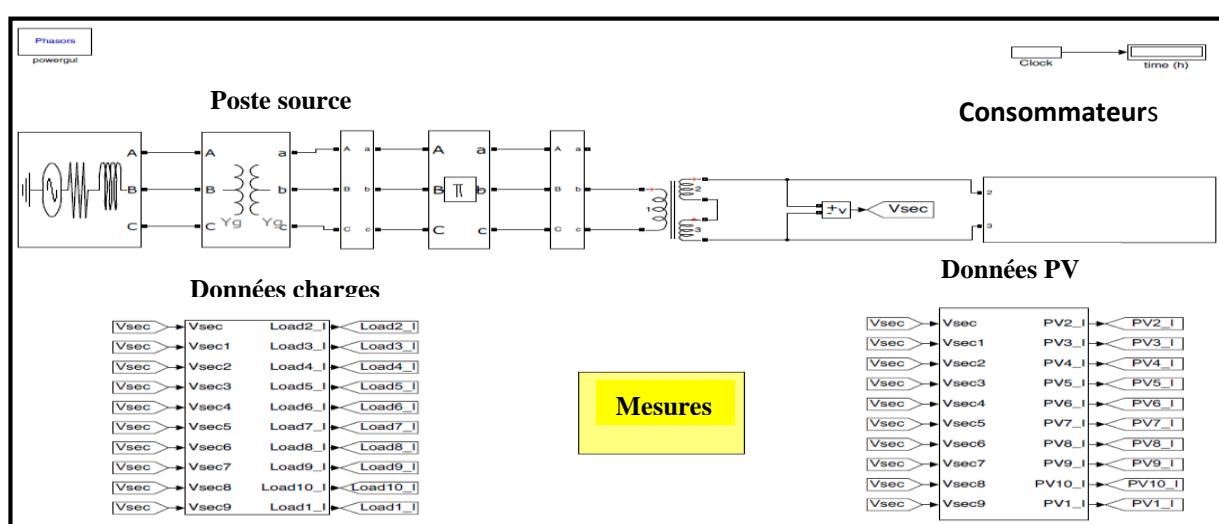
Afin de déterminer les impacts sur le réseau, nous allons réaliser la modélisation et la simulation dans l'environnement Matlab-Simulink/Simpower d'un réseau électrique basse tension (BT) composés de dix consommateurs.

Le travail est présenté en trois sections. La section 1 décrit les simulations du réseau électrique et du champ PV. La section 2 donne les résultats et la section 3 donne l'analyse de ces résultats.

## 2. MATERIELS ET METHODES

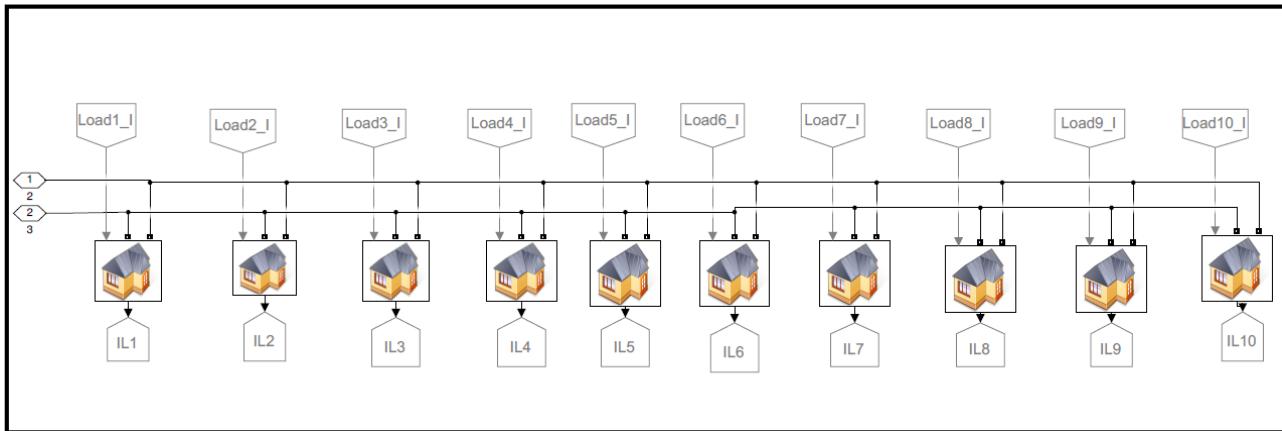
La représentation du réseau BT d'étude est donnée par la figure 1. Ce schéma est composé de plusieurs blocs : les bacs « données charges » et « données PV » permettent d'insérer respectivement les données de la charge et du champ PV. Le bloc « Mesure » est utilisé pour effectuer tous les calculs possibles des grandeurs dont nous avons besoin sur le réseau à savoir la tension du réseau, le courant injecté sur le réseau, la puissance et l'énergie nette [1].

Le réseau étudié est un réseau basse tension (BT) typique du réseau national Burkinabé (de tension nominale  $U_n = 230$  V et de fréquence  $f = 50$  Hz).



**Figure 1 :** la figure montre le modèle du réseau électrique basse tension (BT) sous Simpower.

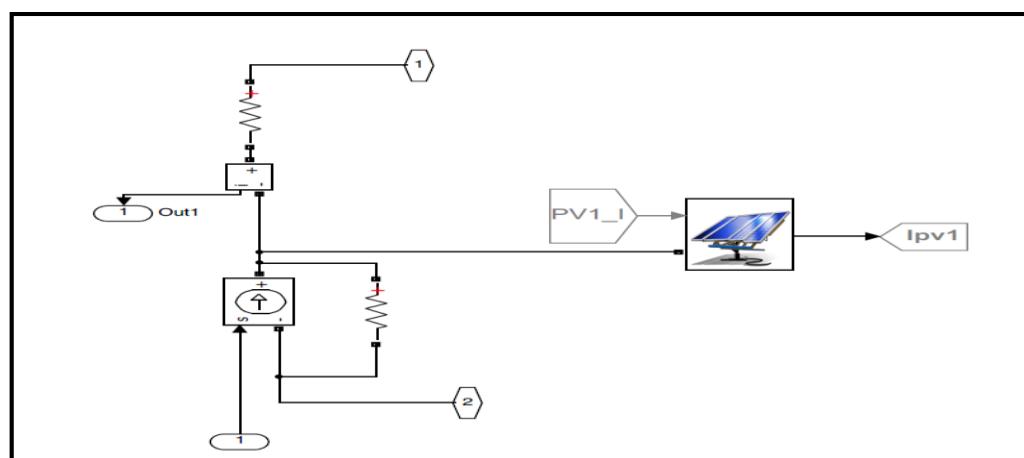
Le bloc consommateurs est détaillé par la représentation sur la figure 2.



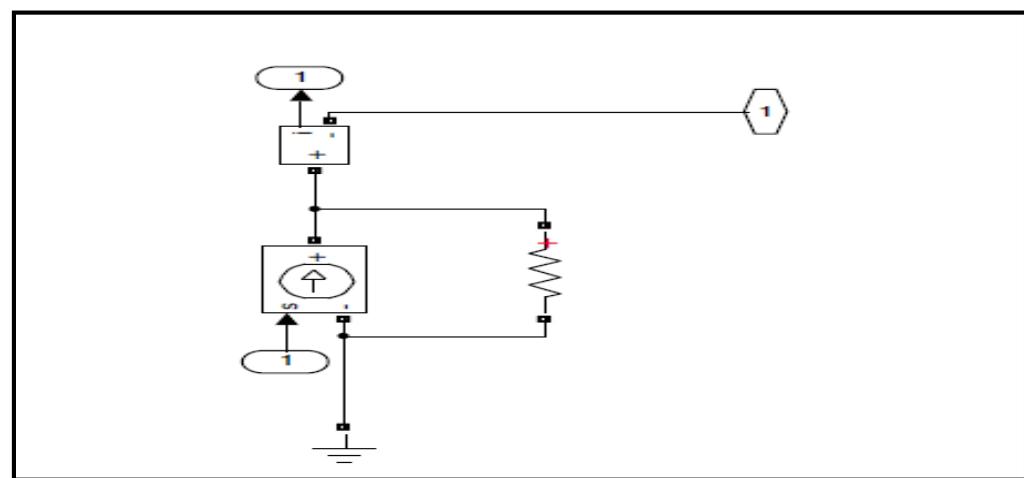
**Figure 2 :** la figure montre le schéma du bloc consommateur.

Ce bloc est composé de dix consommateurs, chacun injectant le surplus de sa production PV.

Les figures 3 et 4 donnent respectivement les modèles simplifiés de la charge d'un consommateur et du champ PV.



**Figure 3 :** la figure montre le schéma du modèle de charge sous Simulink/Simpower.

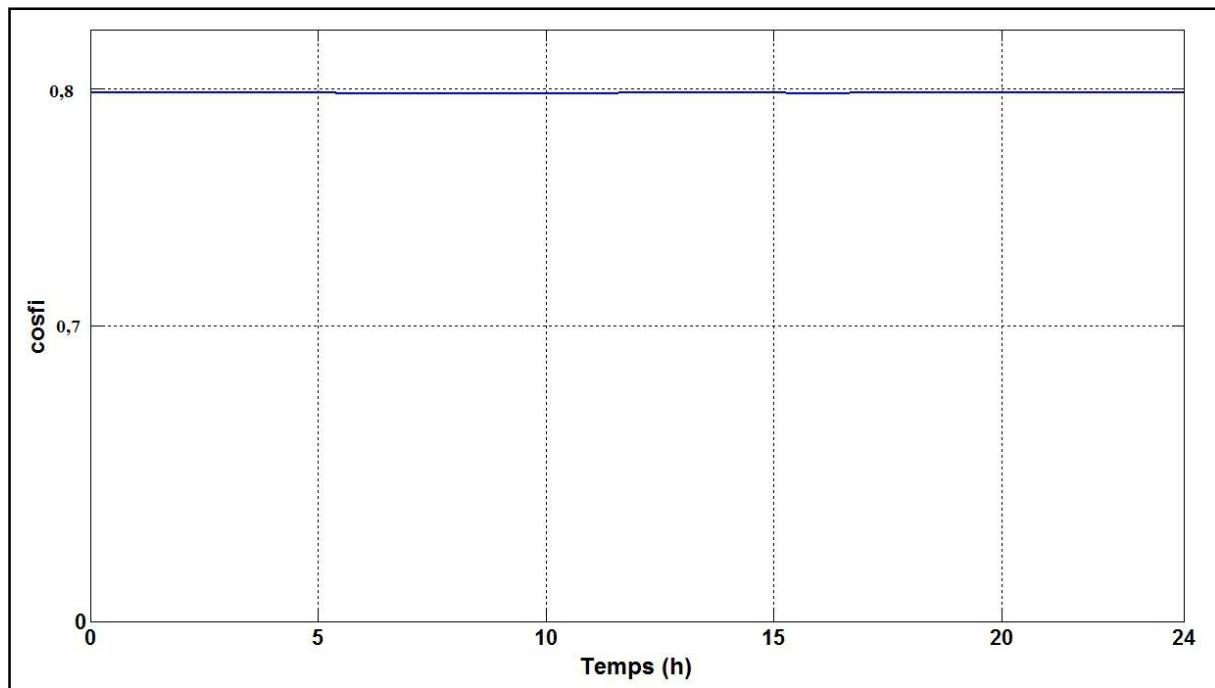


**Figure 4 :** la figure montre le schéma du modèle du champ PV sous

### 3. RESULTATS

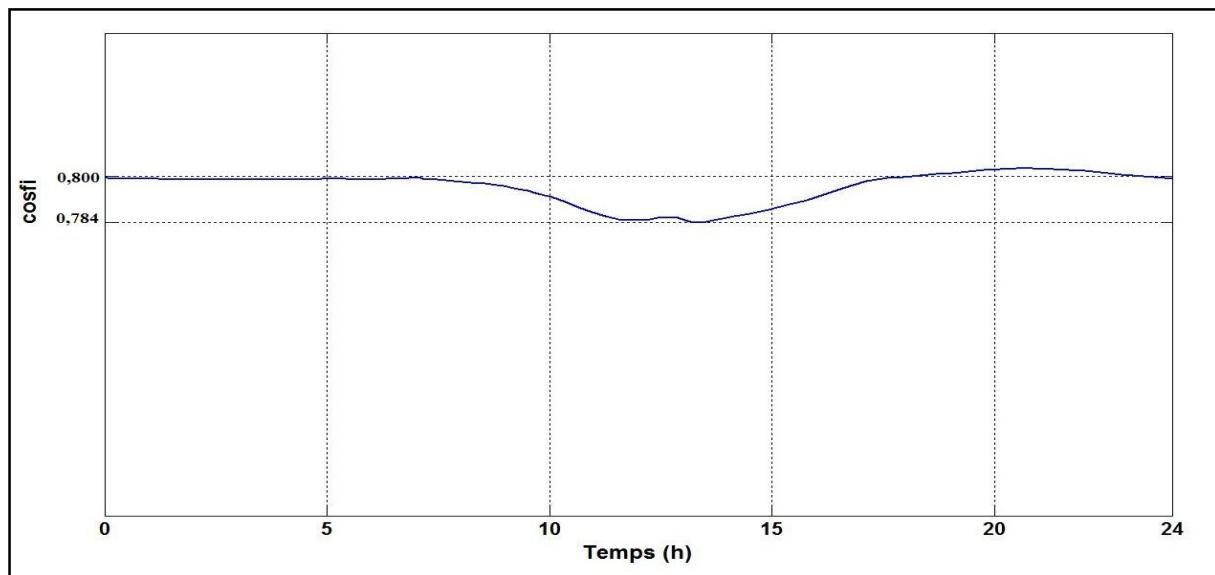
#### 3.1 Impacts de l'injection du système photovoltaïque (PV) sur le $\cos\phi$ du réseau :

La figure 5 donne l'allure du  $\cos\phi$  du réseau basse tension (BT) sans l'injection du photovoltaïque (PV).



**Figure 5 :** la figure montre le Cos  $\varphi$  du réseau sans injection du photovoltaïque.

L'évolution du cos  $\varphi$ , lorsqu'il y'a injection du PV est illustrée par la figure 6.



**Figure 6 :** la figure montre le Cos  $\varphi$  du réseau avec injection du photovoltaïque.

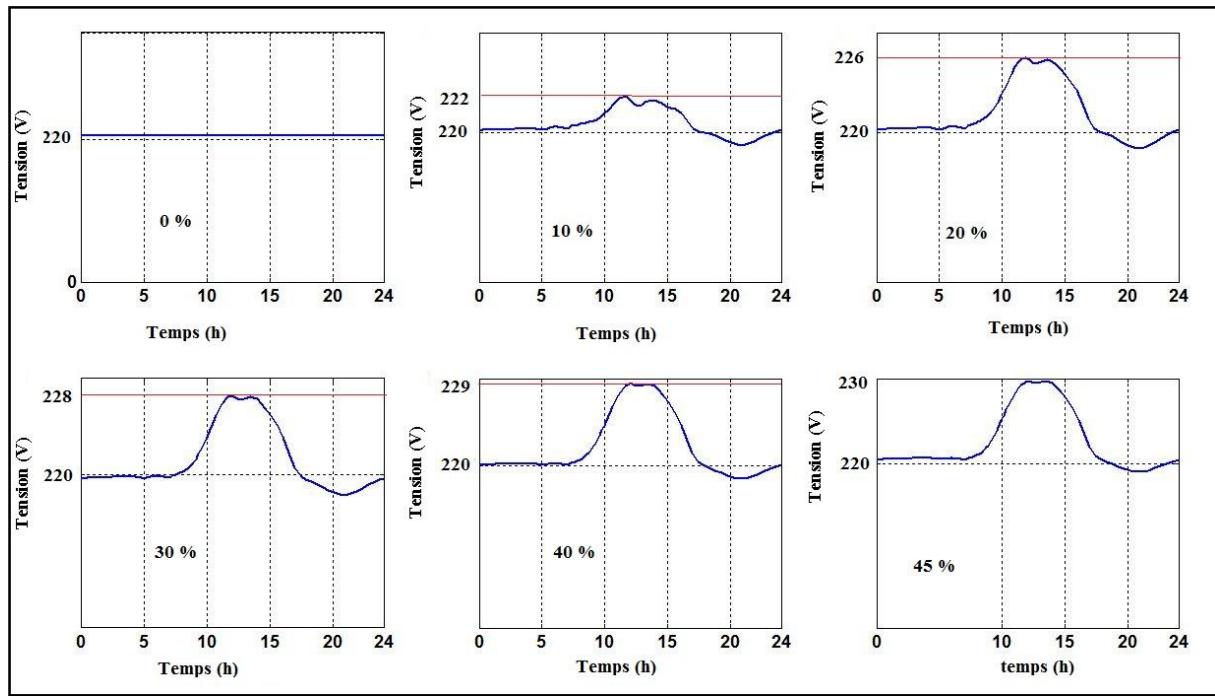
### 3.2 Impacts de l'injection du système PV sur la tension du réseau :

L'amélioration de la tension en bout d'un réseau électrique est une préoccupation du distributeur d'électricité. Parmi les moyens qui améliorent la qualité de la tension du réseau, nous citons le raccordement des systèmes PV sur le réseau électrique BT, qui est une solution très adoptée pour résoudre ce problème en produisant l'énergie électrique à l'endroit du déficit.

Nous présentons un cas d'étude de l'impact de la connexion du système photovoltaïque sur la tension d'un réseau BT.

#### - Scenario 1

Nous avons considéré un réseau en bout de ligne caractérisé par une baisse de la tension de l'ordre de 4% de la tension nominale. La figure 7 montre l'évolution de la tension du réseau en fonction du taux de pénétration du PV.

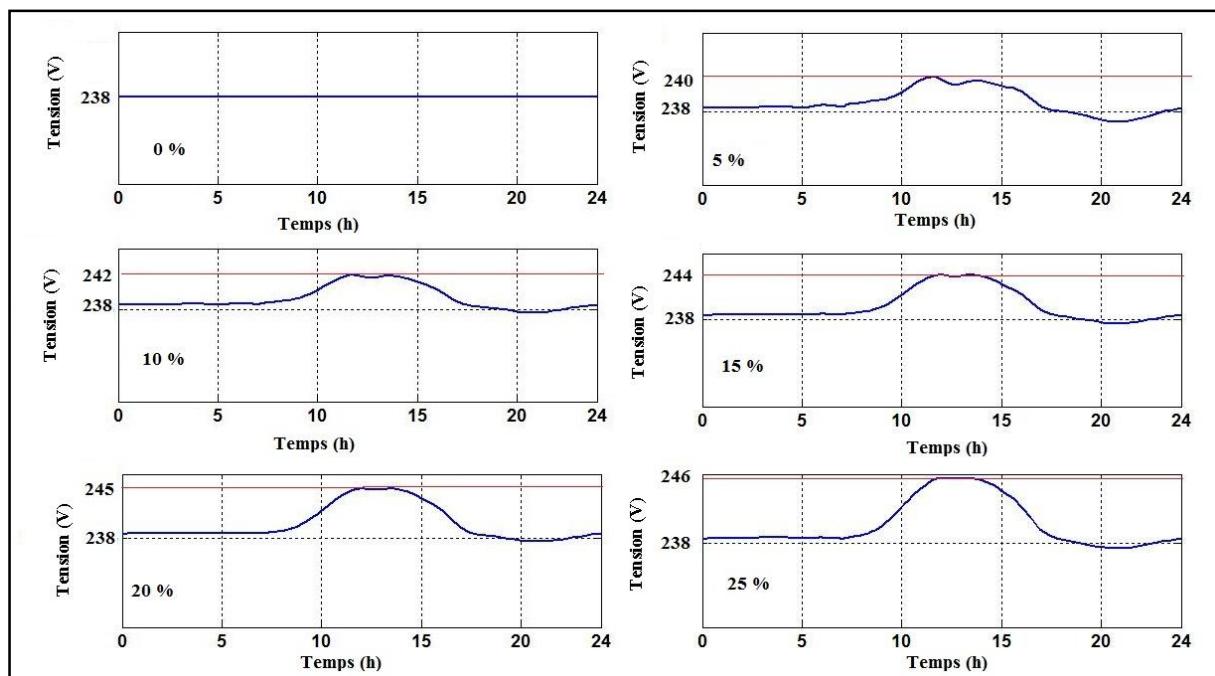


**Figure 7 :** Evolution de la tension avec présence du PV pour un réseau en bout de ligne

#### - Scenario 2

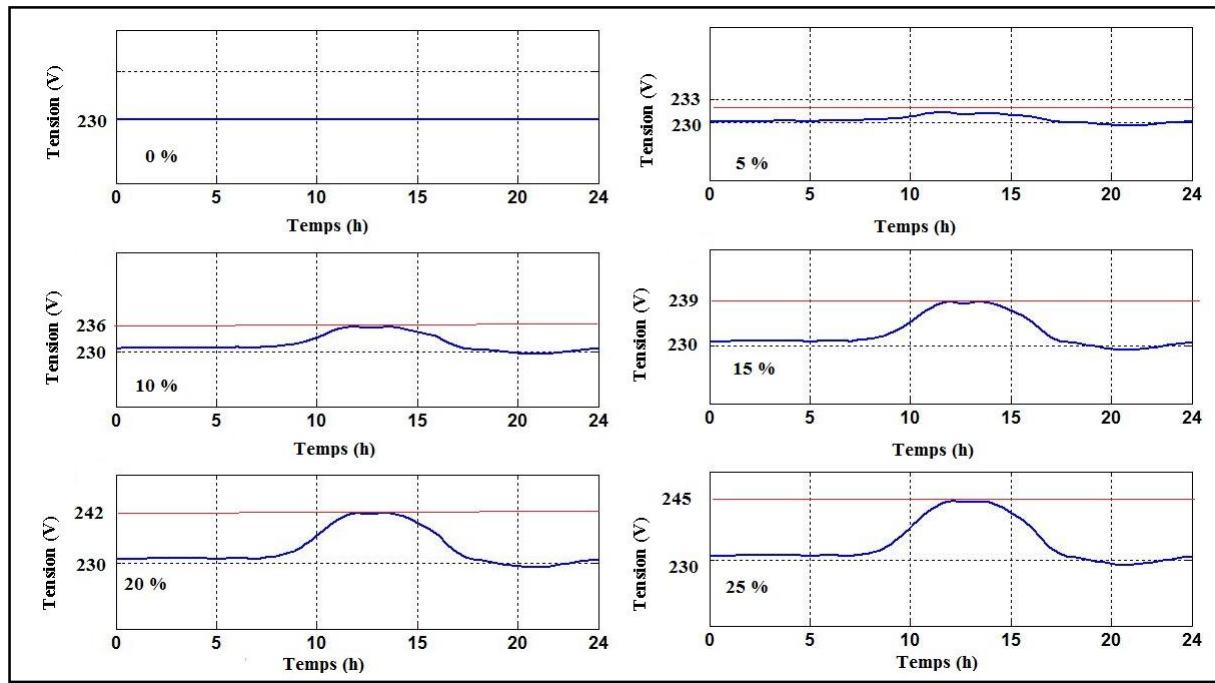
L'insertion massive du PV, sur un réseau où la tension excède la tension nominale, peut être une source de surtension et conduire à des niveaux de tension du réseau en dehors des limites fixées. En effet dans un réseau BT urbain, la qualité de la tension sera inacceptable lorsque sa valeur excède 5 % de la tension nominale.

Sur la figure 8 nous avons représenté l'évolution de la tension pour un réseau saturé (proche d'un poste de distribution par exemple).



**Figure 8 :** Evolution de la tension avec présence du photovoltaïque pour un réseau en surtension

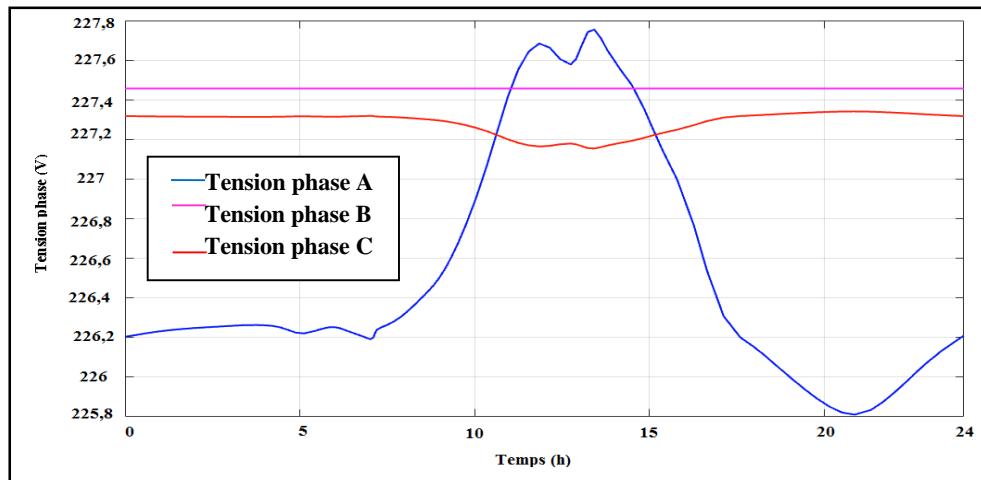
De même sur la figure 9 nous avons représenté l'évolution de la tension pour un réseau dont la tension est égale à la tension nominale (230V).



**Figure 9 :** Evolution de la tension avec présence du photovoltaïque pour un réseau à tension nominale.

#### - Scenario 3

Nous étudions ici le déséquilibre de phase du réseau que peut entraîner l'insertion des systèmes PV. Sur la figure 10 nous présentons le déséquilibre de phase.



**Figure 10 :** Déséquilibre de phase lors de l'injection du photovoltaïque (PV).

## 4. DISCUSSION

Sur la figure 5, on constate que la variation du  $\cos \phi$  est autour de 0,8 ce qui est assez conforme au règlement fixé par la SONABEL (Société Nationale Burkinabé d'Électricité). Cependant lorsque tous les consommateurs injectent sur le réseau cela va jouer sur l'évolution du  $\cos \phi$ , illustrée sur la figure 6. La valeur du  $\cos \phi$  décroît et atteint 0,784 entre 10h et 16h. Cette décroissance est due à une forte pénétration du PV sur le réseau. Si l'injection est très importante, la valeur du  $\cos \phi$  pourrait dépasser les limites recommandées.

En considérant un réseau en bout de ligne caractérisé par une baisse de la tension de l'ordre de 4% de la tension nominale représenté sur la figure 7. Lorsque le taux de pénétration augmente, la tension aussi augmente jusqu'à atteindre la tension nominale (230 V) du réseau à partir de 45% de pénétration.

On peut dire de cette observation que l'insertion des systèmes PV dans le réseau électrique relève le niveau de la tension en bout de réseau et donc diminue le courant transité par la ligne.

Sur la figure 8, on remarque que lorsque nous sommes à 0% de pénétration la tension excède déjà la tension nominale de 3,5 %. Si nous effectuons l'injection, à partir d'un taux de 10 % la tension devient inacceptable car l'excès de tension dépasse 5%.

De même sur la figure 9, on constate qu'à partir d'un taux de pénétration de 20 % la tension devient inacceptable. On peut conclure en disant que l'insertion des systèmes PV sur le réseau peut être source de problème si l'injection se fait dans un réseau de moindre qualité.

L'injection en BT se fait généralement entre deux phases ou sur une phase. Ceci crée généralement un déséquilibre entre les phases et amène la tension à des valeurs dangereuses. Sur la figure 10 nous constatons qu'une phase du réseau est décalée par rapport aux autres phases ; ce qui marque l'injection du PV sur cette phase.

Cette étude montre que l'insertion massives des systèmes photovoltaïques connectés sur le réseau électrique perturbe les paramètres de ce dernier. En effet lorsque le taux de pénétration du PV augmente la tension du réseau peut croître jusqu'à dépassée la limite recommandée selon plusieurs recherches [3,4,5,6,7,8-6] et donc favoriser des surtensions sur le réseau. Dans tous les cas le maximum de pénétration du PV est observé entre 10h et 15h. Cette observation s'explique par le fait qu'il existe une forte corrélation entre l'ensoleillement et la production PV. Lorsque l'ensoleillement atteint son maximum entre 10h et 15h, la production croît également entraînant ainsi une hausse de tension. Des études déjà faites ont également montrer que la tension était sensible en fonction du taux de pénétration du PV [6,7,8,16].

Le réseau électrique de la plupart des pays de l'Afrique de l'ouest est généralement caractérisé par un faible maillage et une instabilité, l'intégration de l'énergie solaire de nature intermittente sur ce réseau peut contribuer à renforcer sa production locale, mais des précautions doivent être prises car cela peut créer un déséquilibre (instabilité) sur le réseau et des surtensions.

## 5. CONCLUSION

Dans ce papier nous avons présenté une contribution à l'étude de l'influence des systèmes Photovoltaïque (PV) connecté sur le réseau électrique. La simulation de systèmes photovoltaïque (PV) connectés au réseau BT de dix (10) consommateurs a révélé que ces systèmes permettent d'améliorer la tension en bout de ligne. Toutefois des précautions doivent être prises car elles peuvent engendrer des surtensions et des déséquilibres de phase dans le réseau.

Pour la suite, nous envisageons d'améliorer le travail par la mise en place d'un système PV connecté sur un réseau électrique pilote afin de mieux étudier les impacts liés en fonction du taux de pénétration et de les comparer avec ceux de la modélisation.

## 6. REFERENCES

1. Guingane T. T., Bonkoungou D., Koalaga Z., and Zougmore F. Photovoltaic (PV) System Connected to the Grid without Battery Storage as a Solution to Electricity Problems in Burkina Faso. International Journal of Engineering Research. 2017, Volume No.6, Issue No, ISSN:2319-6890, pp :30-33. Available: <http://www.ijer.in/ijer/publication/v6/006.pdf>
2. Mäki K., Repo S., and P. Järventausta. Impacts of Distributed Generation On Earth Fault Protection In Distribution Systems With Isolated Neutral.19th International Conference on Electricity Distribution,2007, Vienna, 21-24. Available: [http://www.cired.net/.../cired2007/pdfs/CIRED2007\\_0107\\_paper.pdf](http://www.cired.net/.../cired2007/pdfs/CIRED2007_0107_paper.pdf)
3. Pankow Y. Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque. Thèse de doctorat, 2004, Ecole Nationale Supérieure d'arts et de métiers, France. Available: <http://l2ep.univ-lille1.fr/fileupload/file/theses/YannPankow.pdf>
4. Elnozahy M. S., and M. M. A. Salama. Technical impacts of grid-connected photovoltaic systems on electrical networks. Journal of Renewable Sustainable Energy.2013, doi: 10.1063/1.4808264. Available: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4808264>
5. Tan Y. T. Impact on the power system with a large penetration of photovoltaic generation.2004, Thèse de doctorat, University of Manchester Institute of science and technology, Angleterre. Available: [http://www2.ee.washington.edu/research/.../Yun-Tiam\\_TAN.pdf](http://www2.ee.washington.edu/research/.../Yun-Tiam_TAN.pdf)
6. Ali S., Pearsall N., and Putrus G. Impact of High Penetration Level of Grid-Connected Photovoltaic Systems on the UK Low Voltage Distribution Network. International Conference on Renewable Energies and Power Quality, (2012). Available: <http://www.icrepq.com/icrepq'12/368-ali.pdf>
7. Begović M., Pregelj A., Rohatgi A., and Novosel D. Impact of Renewable Distributed Generation on Power Systems. International Conference on System Sciences, 2001. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download>
8. Hiscock J., Hiscock N., and Kennedy A. Advanced voltage control for networks with distributed generation. 19th International Conference on Electricity Distribution,2007, Paper 0148. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474>
9. Hernandez J., Medina A., F. Jurado F. Impact comparison of PV system integration into rural and urban feeders. Energy Conversion and Management 49, 2008, pp : 1747-1765. Available: [http://www.researchgate.net/.../222142633\\_Impact\\_comparison\\_o](http://www.researchgate.net/.../222142633_Impact_comparison_o)
10. Mäki K., Kulmala A., Repo S., and Järventausta P. Studies on Grid Impacts of Distributed Generation in a Combined Real-Time Simulation Environment. International Conference on Power Systems Transients in Lyon, France, 2007. Available: [http://ipstconf.org/papers/Proc\\_IPST2007/07IPST073.pdf](http://ipstconf.org/papers/Proc_IPST2007/07IPST073.pdf)
11. Hashim T. J. T., Mohamed A., and Shareef H.. A review on voltage control methods for active distribution networks. Electrical Review,2012, ISSN 0033-2097, pp :304-312. Available: <http://scholar.google.com.my/citations>
12. Le A. D. T., Kashem M. A., and Negnevitsky M. Distributed Generation Control using Protection Principles, Australian Universities Power Engineering Conference, Melbourne, Victoria, Australia, 2006. Available: <http://www.utas.edu.au/Profiles>

13. Jillani S. S. H. S., Impact of distributed generation on distribution systems and its protection. Master of Science Thesis in Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden, 2012. Available: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/155732.pdf>
14. Zayandehroodi H., Mohamed A., Shareef H., and Mohammadjafari M. Impact of distributed generations on power system protection performance International Journal of the Physical Sciences, 2011, Vol. 6(16), pp. 3999-4007. Available: [http://www.academicjournals.org/.../article1380729058\\_Zayandehroodi](http://www.academicjournals.org/.../article1380729058_Zayandehroodi)
15. Mäki K., Repo S., P. J. TUT P. J., and Finland. Impacts of distributed generation on earth fault protection in distribution systems with isolated neutral. International Conference on Electricity Distribution, 2007, paper n° 0107. Available: [http://www.cired.net/.../cired2007/pdfs/CIRED2007\\_0107\\_paper.pdf](http://www.cired.net/.../cired2007/pdfs/CIRED2007_0107_paper.pdf)
16. Gallery T., Martinez L., and Klopotan D. Impact of distributed generation on distribution network protection. ESBI Engineering & Facility Management, Ireland, 2009. Available: <http://pdfs.semanticscholar.org/>

**Cite this article:** Toussaint Tilado Guingane, Zacharie Koalaga, Cedric Beogo, Eric Simonguy, Nogma Ouiya, Dominique Bonkoungou et François Zougmore. IMPACT DE LA PENETRATION DU PHOTOVOLTAÏQUE SUR LE RESEAU ELECTRIQUE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2017; 5(6): 397-404.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>