



The 1st International Conference on Local Resource Exploitation

www.lorexp.org / info@lorexp.org
REF: LOREXP_2021_A1182 Pages: 1022–1028



Analyse des impacts de l'injection de la production d'énergie photovoltaïque sur le réseau de la Société Béninoise d'Énergie Electrique (SBEE)

Analysis of the impacts of the injection of photovoltaic energy production on the network of the Beninese Electricity Energy Company (SBEE).

Fannou Jean-Louis Comlan^{1,2,*}, Semassou Guy Clarence², Dangnon Emmanuel², Adjalla Dieudonné K³.

¹ Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Appliquée (LEMA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

² Ecole Nationale Supérieure de Génie Énergétique et Procédés (ENSGEP)/UNSTIM BP 2282 GOHO Abomey, Bénin.

³ Société Béninoise de l'Énergie Electrique (SBEE), Département du Développement des Énergies Renouvelables (SDER / SBEE)

* Auteur Correspondant : jlfannou@gmail.com

RÉSUMÉ :

Afin de combler son déficit énergétique et de réduire son importation d'énergie des pays voisins, le Bénin opte pour la construction de microcentrale solaire photovoltaïque dans les régions les plus ensoleillées et d'envisager son injection dans le réseau électrique existant dans le cas où cette énergie localement produite n'est pas consommée entièrement. Dans cette optique, un projet de production décentralisé d'électricité a été initié. En particulier le projet, objet de cette présentation vise à simuler et à analyser les impacts de l'injection de la production d'énergie photovoltaïque de 25 MW sur le réseau électrique national existant de la Société Béninoise d'Énergie Electrique (SBEE). A cet effet, le dimensionnement de la centrale de 25MW a été réalisé. Le réseau électrique de la SBEE a été modélisé ainsi que le point d'injection de l'énergie de la centrale solaire PV (ligne de 20 kVA) dans l'environnement du logiciel NEPLAN, tout en respectant les exigences en matière d'injection de l'énergie photovoltaïque sur un réseau électrique existant. Seules les configurations d'exploitation extrêmes ont été étudiées : la configuration creuse synchrone et de celle point synchrone. Les résultats de simulation ont montré des surcharges sur certains postes de transformation du réseau, ce qui révèle que des ajustements doivent se faire avant l'injection réel de l'électricité produite. Par ailleurs, le réseau électrique n'a pas connu de perturbation du plan de tension et des flux de puissance. Enfin, les simulations effectuées ont permis de conclure que l'intégration des centrales solaires PV permettra de limiter l'importation d'énergie depuis le Ghana et le Nigéria.

Mots clés : Injection, Énergie solaire photovoltaïque, Réseau électrique, Réduction énergétique, Dimensionnement.

ABSTRACT:

In order to fill its energy deficit and reduce its import of energy from neighboring countries, Benin opts for the construction of micro-solar photovoltaic power plants in the sunniest regions and to consider injecting it into the existing electricity network in the event that this locally produced energy is not fully consumed. With this in mind, a decentralized electricity production project has been initiated. In particular, the project, which is the subject of this presentation, aims to simulate and analyze the impacts of the injection of 25 MW photovoltaic energy production on the existing national electricity grid of the Beninese Electricity Energy Company (SBEE). To this end, the sizing of the 25 MW power plant was carried out. The SBEE electricity grid was modeled as well as the point of injection of the energy of the solar PV plant (20 kVA line) into the environment of the NEPLAN software, while respecting the requirements in terms of injection of the solar power plant. photovoltaic energy on an existing electricity network. Only the extreme operating configurations were studied: the synchronous hollow configuration and the synchronous point configuration. The simulation results showed overloads on some transformer stations in the network, indicating that adjustments must be made before the actual injection of the electricity produced. Furthermore, the power grid has not experienced any disturbance in the voltage plane and power flows. Finally, the simulations carried out led to the conclusion that the integration of solar PV plants will make it possible to limit the import of energy from Ghana and Nigeria.

Keywords: Injection, Photovoltaic solar energy, Electricity network, Energy reduction, Sizing.

1. INTRODUCTION

La préoccupation permanente des pays en voie de développement en générale et en particulier celle du Bénin, est de répondre aux besoins fondamentaux de leur population dont celui en énergie, qui ne cesse d'augmenter à cause d'une part de la croissance de la population et d'autres parts à cause de la volonté des gouvernements d'opérer une transformation de leurs économies. Pour preuve au Bénin, et comme décrit dans le document de programme d'électrification rurale par raccordement au réseau de la SBEE (2010), la consommation énergétique des ménages a augmenté de 14,4 % par année de 1996 à 2005 pour une croissance moyenne de la population de 3,25 % par année. Cette demande en énergie croît malheureusement plus rapidement que l'offre dominée par des importations. Vu sa dépendance de l'extérieur pour les approvisionnements en produits pétroliers et son taux d'électrification national très faible qui est passé de 25,5 % en 2010 à 33,2 % en 2015 (ARE-BENIN, 2020), le Bénin est obligé d'opter pour la location des groupes électrogènes pour la production d'énergie thermique afin de satisfaire les besoins énergétiques de la population malgré les importations du Nigéria, et du Ghana. Par ailleurs, l'utilisation des ressources conventionnelles (pétrole, gaz naturel, charbon) a un impact négatif sur l'environnement par l'émission des gaz à effet de serre qui contribuent aux réchauffements observés à la surface terrestre et le tarissement des cours d'eau. Pour toutes ces raisons, le monde se dirige vers les sources renouvelables pour remplacer les énergies conventionnelles. Parmi ces sources d'énergies renouvelables, on peut citer le solaire, l'éolien, la biomasse, l'hydroélectricité et la géothermie.

Le Bénin, de par sa situation énergétique actuelle et surtout de son important ensoleillement, offre un cadre privilégié au développement de la technologie photovoltaïque. Il a longtemps bâti sa politique de développement énergétique sur les importations d'énergies et sur la base de l'offre prépondérante de services d'énergie de tendance fossile. Cette politique de développement, n'est pas viable à long et même à moyen terme. L'intérêt du photovoltaïque d'un point de vue énergétique se fait donc fortement sentir au Bénin, notamment pour le gestionnaire de réseau (la SBEE). Le photovoltaïque permet en effet de diversifier la production d'électricité et de mettre en avant un bilan écologique favorable. Beaucoup de travaux ont été réalisés dans ce sens. En 2012, Compere (2012) a mené l'étude de faisabilité d'une centrale photovoltaïque de 30 MW à Sirarou, commune de N'Dali, département de Borgou, pour réduire le déficit énergétique de la Communauté Electrique du Bénin (CEB). De même, Idrissou (2012) a fait l'étude et le dimensionnement d'une centrale photovoltaïque de 100 MW pour la réduction du déficit énergétique de la SBEE. En 2013, une contribution à la réduction du déficit énergétique au Bénin par injection de l'énergie photovoltaïque sur le réseau électrique d'Abomey-Calavi de la SBEE a été apportée par Soude (2013). Akognitche (2015) a travaillé sur la production de 60 MVA à injecter sur le réseau électrique de la ville de Natitingou toujours pour combler le déficit énergétique du Bénin à l'aide d'une centrale photovoltaïque. Malgré ces nombreuses études qui militent en faveur du développement des systèmes solaires au Bénin, on a constaté que très peu d'entre elles sont véritablement orientées vers le comportement du réseau de transport suite à l'injection de l'énergie solaire. Or, l'injection de la production électrique des systèmes photovoltaïques (PV), intermittente et parfois aléatoire, dans un réseau électrique public, influe sur sa stabilité et sa protection (Bachtiri, 2015). Elle peut entraîner une variation locale de tension, un déséquilibre des tensions, une variation rapide de puissance (intermittence), une injection des harmoniques, une injection du courant continu et un aveuglement de protection (Colin et al., 2010). C'est pour palier tout cela qu'on a décidé d'apporter notre pierre à l'édifice par ce travail intitulé « **Simulation de l'injection de la production d'énergie photovoltaïque de 25 MW : Analyse d'impacts sur le réseau de la SBEE** ». Le choix du village d'Onigbolo (latitude : 7°11'7'' Nord, longitude : 2°39'6'' Est) comme emplacement de la future centrale se justifie par le fort taux d'ensoleillement de cette localité qui est estimé à 1788 kWh/m²/an avec un productible annuel supérieur à 1 430 kWh/kWc/an (Defissol, 2016), un véritable atout pour le système PV à installer. Le dimensionnement de la centrale a tenu uniquement compte de l'estimation à l'horizon 2026 du déficit énergétique du Bénin et du niveau de tension en HTA du village d'Onigbolo, sans faire une étude approfondie du réseau électrique au travers duquel est alimenté ce dernier. En 2017, Toussaint et al. (2017) a réalisé une étude des impacts de l'injection du PV sur le réseau du Burkina-Faso. Cette étude a révélé que le système PV influe généralement sur la puissance du poste source, la tension du réseau et les facteurs de puissance des installations électriques sans compensateurs de puissance réactive. Une étude réalisée par Thi Minh Chau Le (2012) a révélé

que le raccordement des systèmes PV au réseau peut avoir des impacts importants sur son fonctionnement notamment sur le plan de tension, sur le plan de protection, sur la qualité de l'énergie et sur les pertes dans les réseaux de distribution.

L'objectif de ce travail est de dimensionner la centrale solaire PV de 25 MW de puissance, de l'injecter sur le réseau électrique de la SBEE existant et d'étudier les impacts sur ce dernier.

De façon plus spécifique, il s'agit d'évaluer l'impact des changements sur l'état du réseau existant tel que : augmentation des niveaux de tension, de puissance des postes des transformateurs et de voir les possibilités d'installation de nouvelles lignes de transport et interconnexion d'un réseau avec d'autres.

Nomenclature :

BT	: Basse Tension
CEB	: Communauté Electrique du Bénin
HTA	: Haute Tension catégorie A
HTB	: Haute Tension catégorie B
Hz	: Hertz
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
MT	: Moyenne Tension
MVA	: Méga Volt Ampère
MVAR	: Méga Volt Ampère Réactif
MCA	: Millennium Challenge Account
MW	: Méga Watt
PV	: Photovoltaïque
SBEE	: Société Béninoise d'Energie Electrique
Wc	: Watt-crête

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Description du système étudié

Le système étudié est essentiellement constitué de la centrale solaire PV de 25 MW. Ses principaux composants sont les suivants : les modules photovoltaïques, les onduleurs, les transformateurs et les réseaux de câbles. Cette centrale solaire est couplée avec le réseau électrique national géré par la SBEE

2.1.2. Présentation de l'outil de simulation

Dans le cadre de ce travail, le logiciel NEPLAN a été utilisé. NEPLAN (Network Planning and Optimization Tool) (Baetscher, 2001, NEPLAN, 2015) est un outil très convivial pour les utilisateurs de système de planification et d'information pour les réseaux électriques, de gaz, d'adduction d'eau ainsi que les réseaux de chauffage.

2.2. Méthodologie

2.2.1. Dimensionnement de la centrale solaire photovoltaïque

En se basant sur les méthodes de dimensionnement existants (Idrissou, 2012 ; Fomouo, 2018 ; Sharma et Shakya, 2011 ; Skunponga and Plangklang, 2011) et en prenant en compte les recommandations proposées par David & Seng (2009) et de Shabaniverk (2015), la centrale PV est composée de 17 sous-champs de puissance 1,52 MWc chacun. Chaque sous-champ est constitué de 66 tables de modules. Les tables comprennent 4 rangés de 18 modules en paysage, soit 72 modules.

En général, il est recommandé pour le choix de l'onduleur que la puissance maximale d'entrée soit supérieure ou égale à 1,25 fois la puissance maximale générée par le champ PV pour ne pas dépasser la limite fixée par le fabricant (Soude, 2013). Ainsi, la réalisation de la centrale PV de 25 MW à l'entrée du poste de transformation, nécessite 748 onduleurs de 400 V et ayant une puissance nominale de 30 kW reliés en parallèle.

Chaque sous-champ disposera d'un régulateur solaire avec un total de 17 régulateurs solaires pour la centrale PV.

2.2.2. Description du réseau électrique de la SBEE

Le réseau d'étude est constitué de quarante (41) nœuds dont deux (02) en 330 kV, neufs (09) en 161 kV, sept (07) en 63 kV, trois (03) en 33 kV, neufs (09) en 20 kV, neufs (09) en 15 kV et deux (02) en 11 kV.

2.2.3. Méthode de simulation

La centrale a été connectée sur le jeu de barre 20 kV SBEE situé dans le poste de transformation CEB d'Onigbolo (**niveau de tension de 20 kV**). Le couplage est réalisé conformément aux exigences en matière d'injection de puissance sur un réseau électrique existant, établies par le ministère de l'énergie (2019) :

Le réseau peut être exploité suivant plusieurs configurations qui définissent ses différents états possibles. Ici, seules les configurations d'exploitation extrêmes ont été étudiées. Il s'agit de la configuration creux synchrone (heures creuses où la consommation est la plus basse) et de celle point synchrone (heures de pointe où la consommation est la plus élevée).

Dans cette étude, une première simulation est faite du réseau électrique de la SBEE modélisé dans le logiciel NEPLAN afin de disposer des données de références. Par la suite le couplage du réseau initial avec la centrale PV a été réalisé et les résultats de simulation sont comparés avec ceux sans la centrale PV.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Simulation du réseau-point synchrone

La figure 1 récapitule les principaux résultats en tension sur le réseau :

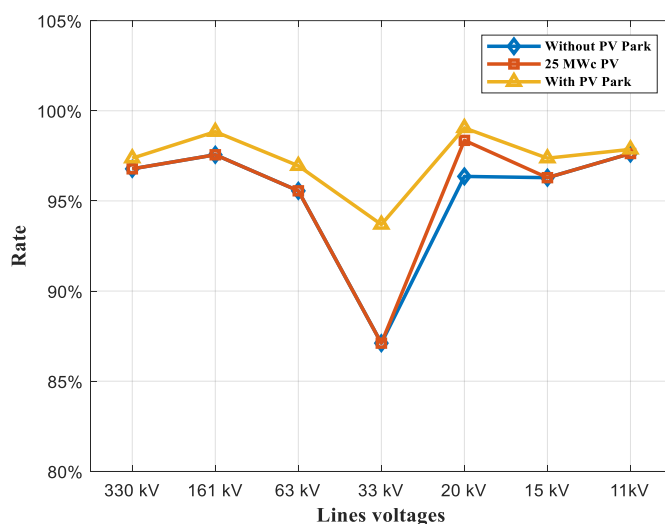


Figure 1 : Résultats en tension-point synchrone

On constate que le tableau de Bembérékè (tableau 33 kV) est bien au-delà des limites de +/-5 %. En effet, il n'y a pas de générateur à Bembérékè et la ligne 161 kV de 108 km entre Parakou et Bembérékè est exploitée en 33 kV. Ne sachant quand le passage de la ligne soit en 161 kV aura lieu, il a été considéré qu'elle est toujours exploitée en 33 kV dans la

configuration. La sous-tension calculée est donc logique dans la mesure où transporter de l'énergie sur une si longue distance en MT engendre d'importantes chutes de tension. Il faut aussi signaler que sans PV 25 MWc, nous avons 95,05 % des 20 kV de jeux de barre d'Onigbolo (point de raccordement) et 100 % avec PV 25 MWc. Ce qui a amélioré le plan de tension du tableau 20 kV.

La figure (2a) présente les résultats en surcharge transformateurs point synchrone. Ces constats de surcharge sont liés à l'évolution de la consommation qui nécessitera des renforcements de transformateurs. On remarque que le seul transformateur surchargé associé à un projet de centrale PV est celui de Bohicon T1 : centrale PV réalisée dans le cadre du projet MCA.

La figure (2b) montre les résultats en surcharge lignes-point synchrone. Ces constats de surcharge sont liés à l'évolution de la consommation qui nécessitera des renforcements de lignes.

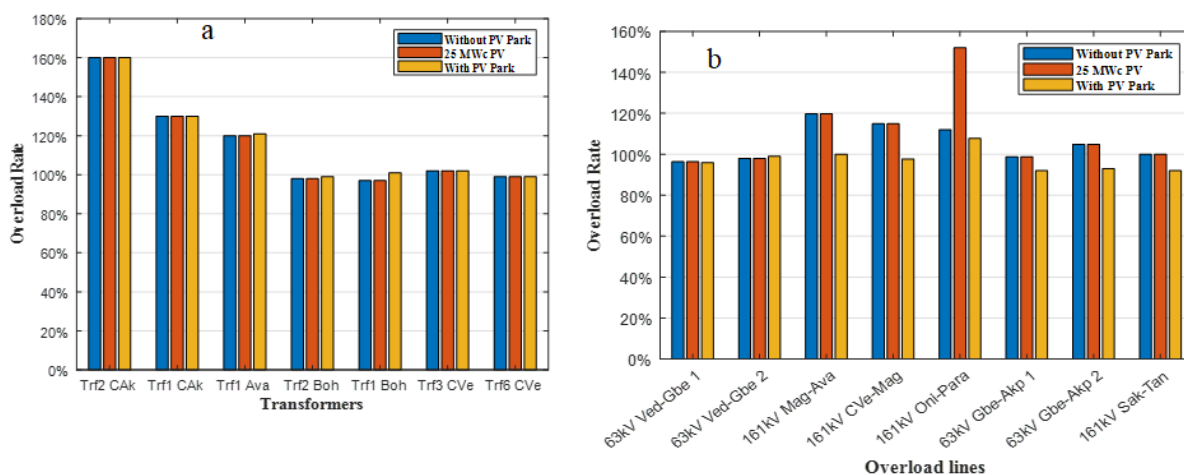


Figure 2 : (a) surcharge transformateurs-point synchrone. (b) surcharge lignes-point synchrone

3.2. Simulation du réseau-creux synchrone

La figure (3a) présente les résultats de la simulation en tension creux synchrone. En observant, on remarque que le tableau 161 kV de Djougou est en légère surtension lorsque les centrales PV produisent. En effet, 4 futures centrales sont raccordées à ce nœud (2 à Natitingou et 2 à Djougou) soit 22,5MW. Cette puissance est supérieure à la puissance consommée à Djougou et transite donc sur de longues distances d'où l'élévation de tension.

La figure (3b) présente les résultats en surcharge transformateurs creux synchrone. A Djougou (tableau 161 kV), le transformateur est très surchargé lors de la production PV maximale. Toutefois, lorsque la ligne Djougou Bembéréké sera exploitée en 161 kV, la puissance produite par les futures centrales PV de Djougou sera transmise au réseau 161 kV via un autre transformateur. Alors l'intégration des centrales permet de réduire la puissance importée depuis le Ghana et le Nigéria.

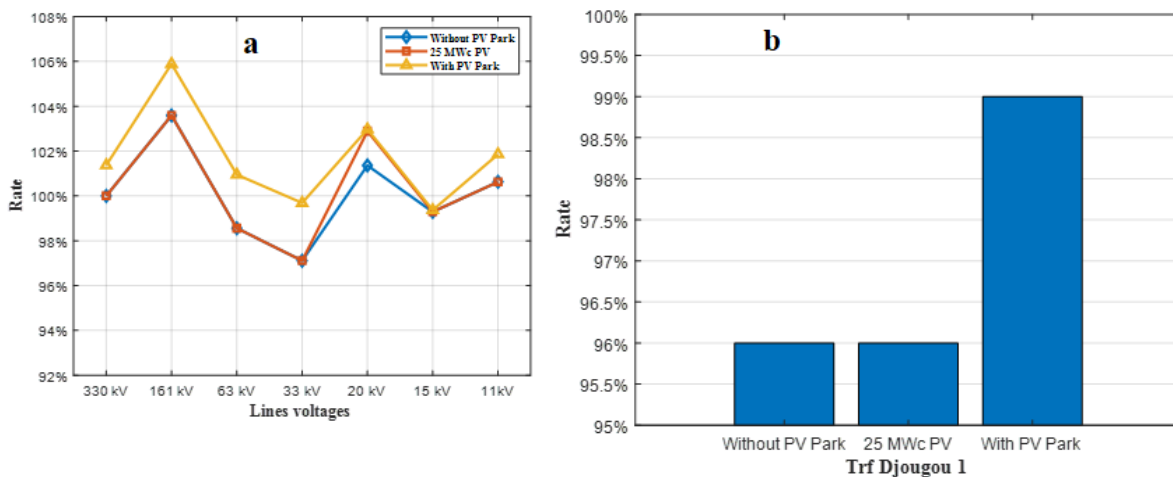


Figure 3 : (a) Tension-creux synchrone. (b) surcharge transformateurs-creux synchrone

La figure 4 montre les résultats d'une surcharge de deux lignes en fonction de l'injection des centrales sur le réseau. Comme il peut se constater, l'injection totale de l'ensemble de la production de PV réduira la surcharge des lignes lorsque la demande sera au maximum.

Ces constats de surcharge sont liés à l'évolution de la consommation qui nécessitera des renforcements de lignes.

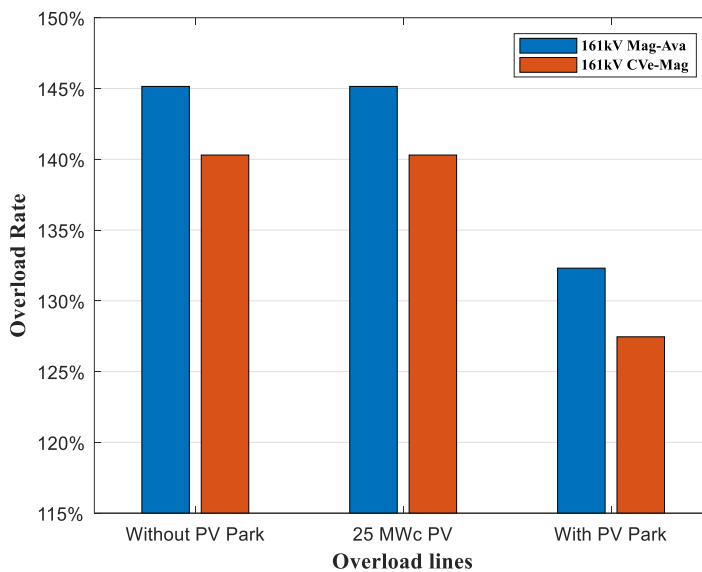


Figure 4 : Surcharge des lignes-creux synchrone

4. CONCLUSION

Dans cet article, on a simulé la production décentralisée de l'énergie électrique via une centrale photovoltaïque couplée au réseau électrique de la Société Béninoise d'Énergie Électrique (SBEE). Ainsi on a pris en compte le réseau complet de la SBEE avec pour point d'implantation le poste source d'Onigbolo. L'objectif principal de cette étude étant d'apporter notre contribution à la réduction du déficit énergétique au Bénin. A cet effet, on s'est particulièrement intéressé à l'étude et au dimensionnement d'un système PV de 25 MWc, au choix des composants et puis à sa connexion au réseau avec les projets en cours. Les simulations effectuées ont permis d'observer quelques surcharges sur le réseau électrique à certain poste de transformation. Par ailleurs, cette injection a permis d'augmenter la capacité du réseau existant, ce qui permet de conclure que l'intégration des centrales

solaires PV permettra de limiter l'importation d'énergie du Bénin depuis le Ghana et le Nigéria. De plus, celles-ci ne génèrent pas de perturbation du plan de tension et des flux de puissance tant est-il que le seuil admis est respecté. Enfin, l'existence à Onigbolo d'une usine de fabrication de ciment permettra une consommation locale de la puissance produite.

5. CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a pas de conflits d'intérêt.

6. RÉFÉRENCES

- Akognitche Denis Luc, 2015. Production de 60 MVA à injecter sur le réseau électrique de la ville de Natitingou pour combler le déficit énergétique du Bénin à l'aide d'une centrale photovoltaïque, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), 60p.
- ARE-BENIN, A.d.R.d.I.E., 2020. La production d'électricité sur le plan national. [cited 2020 17 Décembre 2020]; Available from: <https://are.bj/laproduction/>.
- Bachtiri E., 2015. Intégration du photovoltaïque au réseau électrique. Note de Cours. EST-USMBA.
- Baetscher, F., Application du logiciel Neplan pour le calcul des réseaux électriques. 2001: Fribourg.
- Colin H., Duvauchelle C., Moine G., Tanguy Y., Gaiddon B., Tran-Quoc T., 2010. Raccordement des installations photovoltaïques au réseau public de distribution électrique à basse tension: Cadre réglementaire, impacts et préconisations, 64p.
- Compere Ruben, 2012. Etude de faisabilité d'une centrale photovoltaïque de 30 MW à Sirarou, commune de N'Dali, département de Borgou, pour réduire le déficit énergétique de la Communauté Electrique du Bénin (CEB). 2012, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC).
- David T. and Seng A.K., 2009. Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems.
- Defissol, 2016. Projet BÉNIN, Etude de faisabilité du projet de construction de centrales solaires photovoltaïques, Société Béninoise d' Energie Electrique(SBEE)
- Erwin, F., NEPLAN Manuel d'utilisation V5. 2014.
- Foumouo D., 2018. Conception, dimensionnement d'un systeme photovoltaïque autonome. Univ Européenne, 100p.
- Idrissou Thalès Comlan, 2012. Réduction du déficit énergétique de la SBEE par l'installation d'une centrale photovoltaïque de 100 MW : Etude et Dimensionnement. 2012, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC).
- Ministère de l'énergie, 2019. Règles techniques de raccordement et règles de conduite du système électrique, République Algérienne Démocratique et Populaire (R.A.D.e.P.).
- NEPLAN, Modules for research. 2015.
- SBEE, I.E., 2010. Programme d'électrification rurale par raccordement au réseau de la SBEE 2010.
- Shabaniverki M., 2015. Design and Analyze of 20 MW Photovoltaic Solar Power Plant in Iran. *2nd International Conference and Exhibition on Solar Energy (ICESE)2015*. August 2015: Tehran, Iran.
- Sharma D.K. and Shakya S.R. 2011. Training Manual For Engineers on Solar PV System. 259p.
- Skunponga R. and Plangklang B., 2011. A Practical Method for Quickly PV Sizing. *Procedia Engineering*, **8**, 120-127.
- Soude G. Cherif B., 2013. Contribution à la réduction du déficit énergétique au Bénin par injection de l'énergie photovoltaïque sur le réseau électrique d'Abomey-Calavi de la SBEE.
- Thi Minh Chau Le, 2012. Couplage onduleurs photovoltaïques et réseau, aspects contrôle / commande et rejet de perturbations. 2012, Thèse, Université de Grenoble, 195p.
- Toussaint Tilado Guingane, Z.K., Cedric Beogo, Eric Simonguy, Nogma Ouyia, Dominique Bonkougou, François Zougmore, 2017. Impact de la pénétration du photovoltaïque sur le réseau électrique. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*.