

Amélioration de la Tension aux bouts des Lignes Electriques Basse Tension par l'insertion des Systèmes Photovoltaïques aux Milieux Mal Desservis

Benbouza Naima^{1*}, Benfarhi Louiza², Azoui Boubekur³

^{1*}Departement Génie électrique, Faculté de science appliquées, Université KasdiMarbeh, Ouargla, Algeria

²Department Génie électrique Faculté de Technologie, Université Mostafa Benboulaïd, Batna 2, Algeria

³Laboratoire LEB, Faculté de Technologie, Université Mostafa Benboulaïd, Batna 2, Algeria

* Correspondant: aintoutan@yahoo.fr

RESUME

Lorsque la demande électrique augmente ou les consommateurs sont très loin du poste de distribution électrique, il arrive fréquemment qu'une dégradation de la qualité d'énergie survienne et des chutes de tension non admissibles apparaissent chez les usagers. L'extension des réseaux aux zones rurales ou la construction de nouveaux réseaux sur des sites isolés rencontrent des contraintes économiques importantes. Ce travail est consacré à la contribution de la solution photovoltaïque au renforcement des bouts de ligne électrique et à la réduction des chutes de tension. En effet lorsque le maximum de la charge appelée est en phase avec l'ensoleillement, l'installation de modules photovoltaïques sur les toits et les façades des bâtiments ou le placement d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau à l'endroit du déficit, permet d'écarter les pointes, de redresser la tension et de pallier les chutes de tension qui peuvent se produire au bout de ligne électrique.

Keyword: Chute de tension, Systèmes photovoltaïques (PV), intégration photovoltaïque au réseau électrique, compensation de la chute de tension.

1. INTRODUCTION

Le développement de nouvelles sources de production décentralisée (PD) est maintenant une réalité dans plusieurs pays du monde avec les évolutions technologiques des moyens de production de petite puissance. La production décentralisée de l'énergie est destinée à être produite localement (plus proche des centres de consommation et donc destinée à être transportée sur des distances courtes ou moyennes), généralement insérée dans le réseau de distribution. L'une des technologies de la production décentralisée c'est l'énergie photovoltaïque (GPV).

Dans la littérature, des études d'intégration des systèmes PV sont menées pour atteindre les différents objectifs. Dans les références [1, 2] les auteurs présentent un moyen de compenser les chutes de tension à la fin de la ligne électrique, solution basée sur les systèmes PV intégrés sur toiture connectés au réseau, en tenant compte des contraintes techniques et économiques pour déterminer la meilleure configuration du système réduisant considérablement les chutes de tension. Dans la

référence [3], afin de résoudre les problèmes de pertes dans le réseau de distribution d'énergie électrique, les auteurs ont discuté la reconfiguration du réseau de distribution basse tension (BT), en construisant de nouvelles lignes à haute tension (HT) et en identifiant le nœud du centre de gravité des charges où le transformateur doit être connecté et puis, ils ont suggéré la connexion des mini-centrales photovoltaïque au réseau étudié à des nœuds précis. Dans la référence [4], l'impact de trois types différents de production décentralisée (générateur diesel, turbine éolienne et photovoltaïque (PV)) sur le profil de tension et les pertes électriques de réseaux de distribution a été étudiée. Dans la référence [5, 6], les auteurs décrivent l'impact du raccordement d'une mini-station PV au réseau (BT) sur l'amélioration de la chute de tension.

Cet article présente une analyse du problème de la chute de tension liée à la charge de pointe en été provoquée par une consommation excessive d'électricité due à l'utilisation massive de la climatisation; cas de la plupart des régions d'Algérie qui sont marquées par des températures élevées en période estivale.

Le cas étudié dans ce travail consiste en un bout de ligne du réseau électrique alimentant un ensemble d'abonnés dispersés en petits groupes sur des dipôles situés à des distances du poste de transformation. L'analyse consiste à calculer et à vérifier par simulation selon la charge quotidienne imposée par la consommation des abonnés si les chutes de tension sont respectées par rapport aux limites autorisées et détectant ainsi les dipôles mal desservi pour pouvoir insérer les systèmes photovoltaïques chez les abonnés.

Le reste du manuscrit est organisé comme suit: Section 2 présente les contraintes du poste de transformation BT et les équations régissant la chute de tension dans une ligne électrique basse tension. La section 3 présente le cas étudié avec les caractéristiques de la sous-station et la consommation journalière des abonnés de la région concernée. La section 4 présente la problématique étudiée dans ce travail. La section 5 présente la solution photovoltaïque et les effets que les systèmes photovoltaïques peuvent avoir sur la puissance consommée avec le dimensionnement du générateur PV à installer. Les résultats de simulation et la discussion sont présentés dans la section 6. Enfin, une conclusion sur le travail est donnée.

2. Les contraintes du poste de distribution

Les contraintes liées au poste de distribution consistent à respecter les hypothèses suivantes [7]:

- ✓ Taux d'utilisation de transformateur : $50\% < KU < 80\%$
- ✓ Taux de déséquilibre admis à la borne BT de transformateur : 15%.
- ✓ Chute de tension admise des réseaux BT: 10%.

Si les contraintes du poste de distribution (charge, tension) dépassent les seuils situés ci-dessus, ils peuvent contraindre le fonctionnement normal du poste de distribution public BT et subir plusieurs problèmes pour les sociétés de distribution (avarie de transformateur) et pour le client (coupure d'électricité et dysfonctionnement de appareils électroménagers).

2. CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION DANS UNE LIGNE ELECTRIQUE DE TRANSPORT BT

La chute de tension d'une ligne est la différence entre les tensions à ses extrémités,

pour veiller à la bonne marche des appareils alimentés, il faut que la chute de tension ne dépasse pas les limites préalablement fixées. Le circuit équivalent des lignes moyennes, se compose seulement d'une résistance (R) et d'une réactance (X). La ligne électrique peut être représentée comme un dipôle parcouru par un courant (I), (voir figure .1).

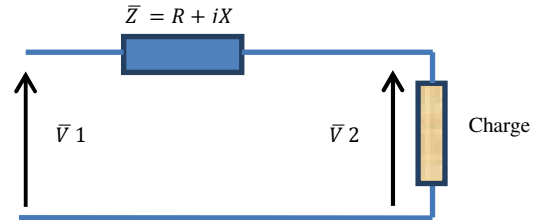


Figure .1 : Schéma d'une ligne moyenne tension.

La tension V_1 de départ est :

$$V_1 = R \cdot I + jX \cdot I + V_2 \quad 1$$

Cette équation se traduit par le diagramme vectoriel suivant (figure.2):

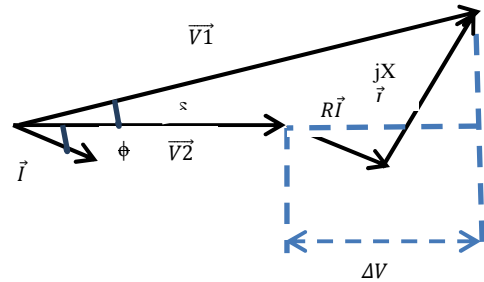


Figure .2: Diagramme vectoriel des tensions.

La chute de tension ΔV est la différence entre la tension de départ et la tension d'arrivée.

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad 2$$

En projetant sur la direction de V_2 tous les autres vecteurs, on aura :

$$V_1 \cdot \cos \delta = V_2 + R \cdot I \cos \theta + X \cdot I \cdot \sin \theta \quad 3$$

L'angle δ est très faible, donc $\cos \delta \approx 1$, l'équation (3) devient :

$$\Delta V = R \cdot I \cdot \cos \theta + X \cdot I \cdot \sin \theta \quad 4$$

Soit en introduisant la tension composée :

$$\Delta U = \sqrt{3} (R \cdot I \cdot \cos \theta + X \cdot I \cdot \sin \theta) \quad 5$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta) \quad 6$$

Le courant dans la ligne de distribution triphasé est donné par:

$$I = \frac{P}{U\sqrt{3} \cos \varphi} \quad 7$$

Avec P : puissance en (W) et U la tension en (V)
Ainsi l'équation devient :

$$\Delta U = \frac{P}{U} (R + X \operatorname{tg} \varphi) \quad 8$$

En divisant les deux membres par U et en les multipliant par 100, on aura :

$$\Delta U\% = \frac{P}{U^2} (R + X \operatorname{tg} \varphi) 100 \quad 9$$

En introduisant la résistance linéique r et la réactance inductive linéique x, on aura :

$$R = r \cdot l \text{ } [\Omega] ; r \text{ en } [\Omega/\text{km}].$$

$$X = x \cdot l \text{ } [\Omega/\text{km}].$$

L'équation (9) devient :

$$\Delta U\% = \frac{P}{U^2} l (r + x \operatorname{tg} \varphi) 100 \quad 10$$

Pour une ligne basse tension BT, le moment électrique ($P \cdot l$) est exprimé en ($\text{kW} \cdot \text{km}$) d'où l'équation V.12 de la chute de tension en basse tension BT devient comme suit:

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U^2} (R + X \operatorname{tg} \varphi) P \cdot l \quad 11$$

3. CAS D'ETUDE

Pour notre étude nous avons construit un bout de ligne électrique reposant sur les modèles des bouts de lignes existant dans les environs de la ville de Batna. Le bout de ligne comporte 187 habitations répartis sur huit dipôles de longueur totale 2.25 km du réseau BT et alimenté par un poste de distribution MT/BT avec une puissance nominale 160 kVA (figure 3) ; les caractéristiques du bout de ligne sont données par le tableau 1 [8].

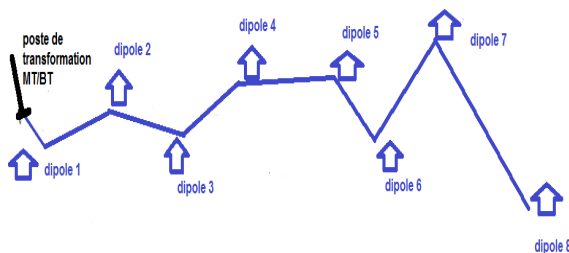


Figure..3 :
Architecture du bout de ligne étudié

Résistance de la ligne = 0.69 (Ω/km) ;

Réactance de la ligne = 0.35 (Ω/km) ;

Table 1 :

Caractéristiques des dipôles connectés au bout de ligne.

Numéro du dipôle	Nombre de clients connectés	Longueur du dipôle (km)
1	80	0.05
2	30	0.1
3	25	0.2
4	13	0.1
5	7	0.3
6	9	0.2
7	8	0.3
8	15	1

Pour connaître la chute de tension du client final qui se trouve sur le dipôle n, il suffit d'effectuer le cumul des chutes de tension qui apparaissent sur les dipôles 1 à n. La chute de tension horaire cumulée en (%) du dipôle n est égale à [2]:

$$(\Delta U\%)_n = 1 + 10^5 * \left[\frac{R+X \operatorname{tg} \varphi}{U^2} \right] * \sum_{i=1}^n P_i * L_i \quad 12$$

avec:

- n le nombre du dipôle.
- P_i : est la puissance (kW) cumulée appelée par la charge dans le tronçon L_i ; $P_i = \sum_{j=i}^m P_j$; où m c'est le nombre d'abonnés connectés au dipôle i
- $\operatorname{tg} \varphi = 0,4$;
- R : résistance linéique d'un conducteur (Ω/km) ;
- X : réactance linéique d'un conducteur (Ω/km) ;
- L_i : longueur du tronçon (km).
- La valeur de 1% correspond à la chute de tension du transformateur

L'expression de l'équation 12 montre que la chute de tension est proportionnelle à la distance du réseau et à la puissance appelée par le client j.

4. POSITION DU PROBLEME

La courbe de la puissance consommée par un abonné BT dans le site Batna pour deux journées de l'année (journée d'été et journée d'hivers) est représentée par la figure 4 [8]. On remarque que la consommation est variable tout au long de la journée. Pour la journée d'été elle présente une pointe située entre 12 h et 15 h, qui est due à l'utilisation de la climatisation en ce temps à cause de la température élevée.

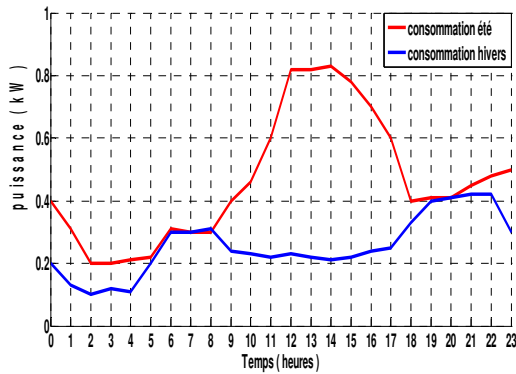


Figure. 4 :
Profil de charge journalière d'un abonné au site de Batna

En effet, aux extrémités d'un réseau, la qualité de la puissance s'affaiblit lorsque la demande en électricité augmente. en conséquence il y a apparition d'une chute de tension non admissible ($> 10\%$) chez les abonnés mal desservis.

4.1. SIMULATION AVANT L'INSTALLATION DES SYSTEMES PV

Sous l'environnement Matlab, nous avons calculé et simulé la variation de la chute de tension pour les huit dipôles pour une journée d'été (figure 5) et une journée d'hivers (figure 6).

On remarque que les valeurs non admissibles de la chute de tension apparaissent pour la période d'été durant les heures de forte consommation (pointe du jour entre 11h et 17h). la chute de tension dépasse 14% chez les abonnés du dipôle 8 situé à la limite du bout de ligne (figure 5).

Les dipôles de 1 à 7 ne présentent pas des chutes de tension non admissible, ce qui fait que notre étude sera faite sur le dipôle 8.

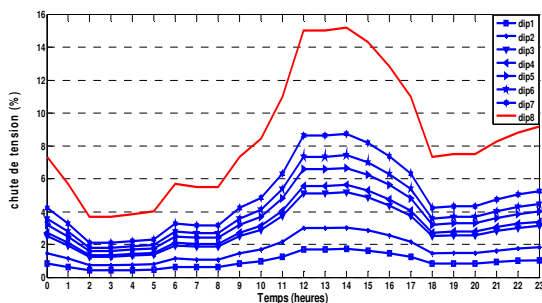


Figure.5 :
Evolution des chutes de tension en % dans les huit dipôles pour une journée d'été

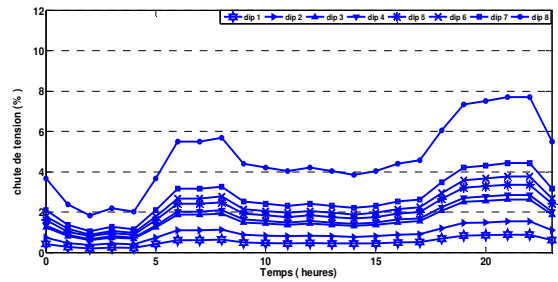


Figure.6 :
Evolution des chutes de tension en % dans les huit dipôles pour une journée d'hivers

La figure 7 représente la variation de la chute de tension pour les heures de pointe en fonction de la longueur de la ligne électrique. On remarque que la chute de tension dépasse le seuil de 10% pour les habitations situés à une distance supérieure à 1 km.

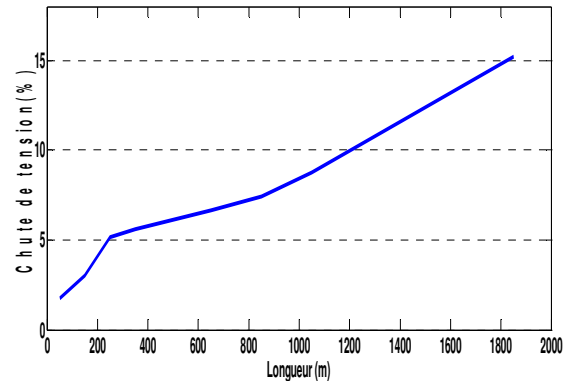


Figure.7 :
Variation de la chute de tension en fonction de la longueur de la ligne électrique

5. SOLUTION PHOTOVOLTAÏQUE

La réduction des contraintes du poste de transformation concernant la chute de tension peut être réalisé en réduisant la puissance soutirée du réseau électrique des clients au milieu mal desservi en périodes de pointe par la compensation photovoltaïques. L'opération de compensation sera faite sur les habitations du dipôle 8 par deux façons:

- Compensation partielle: Installer des systèmes photovoltaïque sur toiture pour chaque abonné du dipôle 8 à fin de satisfaire leur besoin pendant les heures de pointe et ainsi diminuer leur consommation de la part du réseau.
- Compensation globale: Raccorder une production photovoltaïque au réseau électrique par la société Sonalgaz à proximité du dipôle 8 ce qui permet d'améliorer la qualité de la tension à ce niveau et ainsi satisfaire les besoins des 15 abonnés pendant les heures de pointe.

5.1. EFFET DES SYSTEMES PV SUR LES la PUISSANCE SOUTIREE DU RESEAU ELECTRIQUE

Vue la coïncidence de la production photovoltaïque avec la consommation en heures de pointe figure 8, l'insertion des systèmes PV dans le réseau électrique ou chez les usagers fait qu'une partie de puissance consommée sera produite localement ce qui réduit la puissance débité par le poste de distribution en périodes de pointe et allège les contraintes (surcharge) du poste de distribution. La puissance appelée (soutiré du réseau BT) par le client j devient [26] [27]:

$$P'_j = P_j - P_{pv,j} \quad 13$$

$P_{pv,j}$ est la puissance produite par le système PV (kW) chez le client j.

La puissance débitée par le transformateur en présence des systèmes PV devient :

$$P_c (Kw) = \sum_{j=1}^n P'_j (Kw) \quad 14$$

L'équation (11) de la chute de montre que la chute de tension dépend de la valeur P'_j , donc la réduction de cette valeur nous permet de réduire la chute de tension .

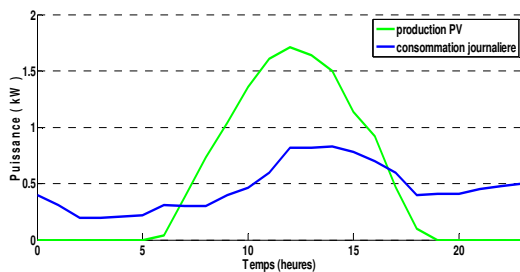


Figure. 9 : Disponibilité de l'énergie photovoltaïque aux heures de forte consommation

5.2.DIMENSIONNEMENT DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE GPV

La puissance du générateur photovoltaïque est donnée par :

$$P_c = \frac{E_{elec} \cdot P_i}{E_i \times K} \quad 15$$

Avec :

E_{elec} : énergie journalière consommée par l'habitation qui peut être calculée par l'intégration de la puissance journalière consommée, elle est égale à :

$$E_{elec} = 12.83 \text{ kWh/jour}$$

P_i (kW/m²): la puissance radiative dans les conditions standard de test (conditions STC) , $P_i = 1 \text{ kW/m}^2$.

E_i (kWh/j/m²) : l'irradiation solaire journalière la plus faible de la période étudiée. Pour la région de Batna elle est égale à [9] :

$$E_i = 6.91 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$$

PR: le ratio de performance de l'installation photovoltaïque, égale à 0.75

D'où le générateur photovoltaïque aura une puissance crête de :

$$P_c = \frac{12.83}{6.91 \times 0.75} = 2.47 \text{ kWc}$$

On peut prendre $P_c = 3 \text{ kWc}$.

6. SIMULATION APRES COMPENSATION PHOTOVOLTAÏQUE

A. compensation partielle

L'opération de la compensation partielle consiste en l'insertion de systèmes PV de puissance crête $P_c = 3 \text{ kWc}$ chez les abonnés mal desservis du dipôle 8 d'une manière successive avec le relevé de la chute de tension après chaque opération. L'opération s'arrête lorsque la valeur la chute de tension soit inférieure à la valeur admissible ($\Delta U\% < 10\%$).

D'après la figure 10, on remarque que la chute de tension est devenue tolérable ($< 10\%$) après l'installation du 6^{ème} système PV.

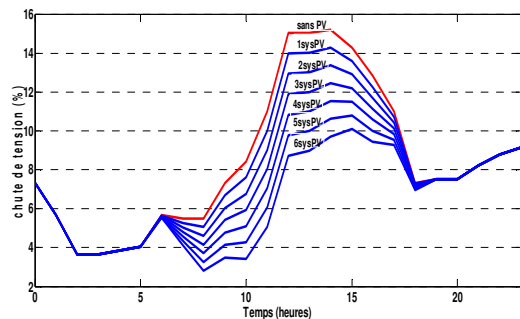


Figure. 10 : Chute de tension au dipôle 8 après compensation partielle

B. Compensation globale

Consiste en l'installation d'une mini-centrale photovoltaïque au niveau dipôle 8. Deux cas peuvent être présentés :

- Compensation globale sans stockage qui permettra la diminution de l'énergie soutirée au réseau pendant les heures de pointes et ainsi la chute de tension sera abaissée pendant le jour

- Compensation globale avec stockage. Dans ce cas les 15 abonnés du dipôle 8 ne seront plus connectés au réseau électrique

6. 1. RESULTATS DE SIMULATION

D'après la figure 11 la chute de tension au niveau du dipôle 8 a considérablement diminué pendant le jour.

D'après la figure 12 on voit que la chute de tension de l'ensemble des abonnés du dipôle 8 est presque négligeable. Dans ce cas la chute de tension au niveau du dipôle 8 est égale à la somme des chutes de tension des 15 abonnés. Le dipôle 8 est indépendant des autres dipôle.

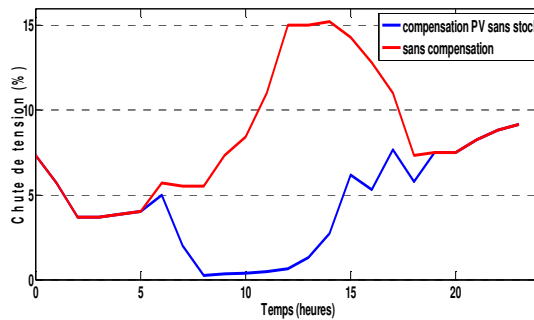


Figure 11 :
Variation de la chute de tension au dipôle 8 après installation du système PV global sans stockage

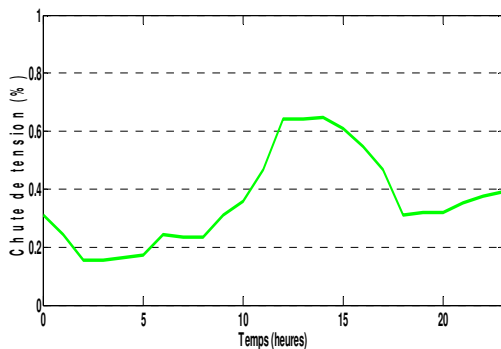


Figure 12 :
Variation de la chute de tension au dipôle 8 après installation du système PV global avec stockage

7. CONCLUSION

L'étude réalisée dans ce travail a montré que les systèmes photovoltaïques peuvent être considérés comme solution très efficace pour répondre aux problèmes de la chute de tension. Lorsque le maximum de la charge appelée est en phase avec

l'ensoleillement, le système photovoltaïque permet d'écrêter les pointes. Ils permettent d'améliorer la puissance et d'éviter la surchauffe du matériel et réduire ainsi le nombre de transformateurs endommagés par la surcharge et éviter ou retarder les investissements pour renforcer le réseau.

REFERENCES

- [1] Poggi, P.; Muselli, M.; Stefka, N.; Nedeltcheva.: Reducing Voltage Drops at theEnd of the Feeder by Grid-Connected Rooftop PV Systems for: Case Study in Corsica Island. Energy, 2000, Vol. 25, N°8, 741- 756.
- [2] Acquaviva, V. Analysis of the integration of the energy systems based on renewable energy sources in an island electricity networks. PhD Thesis, University of Corsica: July, 2009.
- [3] Houndedako, S.; Dai Tometin, D.; Chetangny, K.P.; Espanet, C.: Reduction of the losses on the electric distribution network Low voltage of the Beninese Company of Electrical energy (SBEE). International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), May-June, 2013, Vol. 3, Issue. 3, 1837-1842.
- [4] Vasiliki, V.; Tareafa, A.; Lambros, E. The Impact of Distributed Generation in the Distribution Networks' Voltage Profile and Energy Losses; 2015.
- [5] Mouheb, M.; Hamidatet, A.; Loukarfic L.: Impact of PV Compensation in Improving the Voltage Drop in Electrical Networks LV. Energy Procedia18, 2012, 751-761.
- [6] Kadri, A.Y.; Hamidat, A.: Connecting Impact of the PV MiniPower on voltage and load of LV Network. Journal of electricalsystems, November, 2009, Special Issue N° 01, 94-98.
- [7] Markiewicz, H.; Klajn, A.: Caractéristique de la Tension dans les Réseaux Publics de Distribution. Norme EN 50160', Guide Power Quality, Leonardo Energy, 2004.
- [8] Algerian National Corporation of Electricity and Gas Sonalgaz, Batna Region, Algeria, Archive 2016.
- [9] Yaiche Mohamed R., Bouhanik A.: Calculation of solar radiation in Algeria. <http://data.cder.dz>. 2017.