

Qualité de la tension au point d'injection du système photovoltaïque du CDER

Amar Hadj Arab *, Salim Bouchakour, Said Ould Amrouche, Kamel Abdeladim,
Smail Semaoui Bilal Taghezouit, Abdelhak Razagui, Saliha Boulahchiche,
Fella Tobbal¹ et Noureddine Yassaa

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, 16340 Bouzaréah, 16340, Algiers, Algeria

Laboratoire des Systèmes Electriques et Industriels, LSEI
USTHB, B.P. 32 El Alia, 16111 Bab Ezzouar, Algiers, Algeria

(reçu le 20 Février 2017 - accepté le 30 Mars 2017)

Résumé - *Ce travail s'inscrit dans le domaine du monitoring de la qualité de l'énergie électrique dans le réseau de distribution basse tension (BT). Il a pour objectif d'établir un diagnostic d'analyse de la qualité de la tension au point de connexion commun (PCC) de l'installation photovoltaïque (PV) du CDER. La fréquence, l'amplitude et le taux d'harmoniques individuelles de la tension ont été évalués selon la norme européenne EN 50160 du Cenelec qui définit les caractéristiques de la tension dans les réseaux de distribution BT publics. Les résultats montrent la conformité des paramètres analysés à cette norme. De plus l'impact de la production PV sur le niveau et le taux global de distorsion harmonique de la tension triphasée au PCC a été examiné. La qualité de la tension de l'intégration de l'énergie PV dans le réseau électrique BT constitue un avantage certain.*

Abstract - *This work presents in the field of monitoring of the power quality in the low voltage (LV) distribution network. Its aims to establish a diagnosis of the voltage quality analysis at the common connection point (PCC) of the CDER's grid connected PV system. The frequency, the level and the individual harmonic of the voltage were evaluated according to the European standard EN 50160 of Cenelec which defines the voltage characteristics in the public LV distribution networks. The results show that the analyzed parameters agree with this given standard. In addition, the impact of the PV production on the level and the total harmonic distortion factor of the three-phase voltage at the PCC was evaluated. The voltage quality of the integration of PV energy into the LV electrical network represents a valuable advantage.*

Mots clés: Réseau électrique - Basse tension - Système photovoltaïque - Qualité de la tension - Norme EN 50160.

1. INTRODUCTION

Le contexte politique, économique et énergétique actuel appuie le développement de la production, le transport, la distribution et la consommation de l'énergie électrique en Algérie. Ce développement favorisera la mise en œuvre du programme national des énergies renouvelables (EnRs) et de l'efficacité énergétique; ce qui indique clairement la volonté de notre pays d'encourager l'utilisation d'une électricité à la fois efficiente et faiblement carbonée. D'où l'enjeu de l'intégration des EnRs dans les réseaux électriques dans les meilleures conditions techniques, économiques et sécuritaires.

L'énergie électrique principalement distribuée sous forme d'un système triphasé sinusoïdale permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux équipements et matériels de l'électrotechnique. C'est particulièrement l'aspect de sinusoïdal de la tension d'origine qu'il est nécessaire de conserver, afin de lui préserver ses qualités essentielles pour la transmission de la puissance utile aux équipements terminaux. Lorsque la forme d'onde de la tension n'est pas sinusoïdale, on rencontre alors des

* a.hadjarab@cder.dz

perturbations qui génèrent des dysfonctionnements et des échauffements des récepteurs et appareillages raccordés sur un même réseau d'alimentation électrique [1].

La qualité de l'énergie dans les réseaux électriques est un paramètre important dans leurs développements. La généralisation des charges déformantes dans les réseaux de distribution Basse Tension (BT) nécessite d'apporter les solutions adaptées pour remédier à ces perturbations par la mise en place de solutions passives, actives ou hybrides.

Par ailleurs, en prévision de l'intégration de la production décentralisée d'origine renouvelable dans le réseau de distribution d'énergie, le gestionnaire du réseau devra imposer des conditions particulières pour leur raccordement, afin de garantir la stabilité et la qualité du réseau.

Ce travail a pour objectif d'étudier l'impact de l'installation photovoltaïque (PV) connectée au réseau électrique interne du Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) sur la qualité de la tension au point de connexion commun (PCC).

La mesure va permettre d'obtenir une image précise des paramètres du réseau électrique au PCC, nécessaire et indispensable pour analyser et évaluer la tension, avec et sans injection de la production PV, selon la norme EN 50160 élaborée par le comité européen de normalisation électrotechnique (Cenelec).

2. POINT DE CONNEXION COMMUN

Le réseau BT représente le dernier niveau dans une structure électrique, il permet d'alimenter un nombre très élevé de consommateurs correspondant au domaine domestique. Ce dernier représente le premier grand consommateur d'énergie électrique [2].

Avec un taux d'électrification de plus de 99 %, le développement du PV dans le réseau BT peut être la solution la plus appropriée pour réduire le pic de consommation et participer dans le service réseau. Ainsi, valoriser la ressource solaire et fossile (production, transport et distribution).

Le courant distribué en BT est livré à la tension nominale de 230/400 Volts. Les conditions de service prévoient spécifiquement les caractéristiques de la tension et de la fréquence du réseau. La tolérance maximale pour la variation de la BT autour de la tension nominale est de 5 % pour les zones urbaines à usage d'éclairage prépondérant. La fréquence du courant distribué est fixée à 50 Hertz; elle ne doit pas varier de plus de 1.5 Hertz en plus ou en moins de sa valeur nominale [3].

La figure 1 montre le schéma de raccordement du système PV et des charges au réseau électrique BT. Le PCC peut être un point de soutirage ou d'injection de la puissance active selon la production PV et la consommation des charges connectées.

2.1 Système PV du CDER

Le système PV du CDER, constitue le premier système PV connecté au réseau électrique BT en Algérie. Les coordonnées géographiques de l'installation sont: latitude de 36°48'04"8 Nord, longitude de 04°12'08"53 Est et une altitude de 345 mètres.

L'installation PV du CDER est constituée d'un générateur PV de 90 modules solaires totalisant une puissance installée de 9.54 kWc sur une surface de 70 m², les modules sont de type Isofoton d'une puissance de 106 Wc et une tension de 12 V. Le générateur est partagé en trois champs de 30 modules pour une puissance installée de 3.18 kWc. Chaque champ PV est structuré en deux (02) branches parallèles de 15 modules en série. Les trois champs identiques sont connectés au réseau de distribution

BT à travers trois onduleurs monophasés de type SMA/ Sunny Boy 3000TL d'une puissance nominale de 3 kW.

Les trois sorties des onduleurs PV monophasés (neutres reliés entre eux) sont branchées sur le réseau BT interne du CDER, en parallèle aux charges utilisées dans le Laboratoire Intégration des Systèmes PV au réseau. L'énergie produite par les trois champs PV est directement consommée sur place par les charges du Laboratoire. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau. Dans les cas contraires, l'appoint est assuré par le réseau [4].

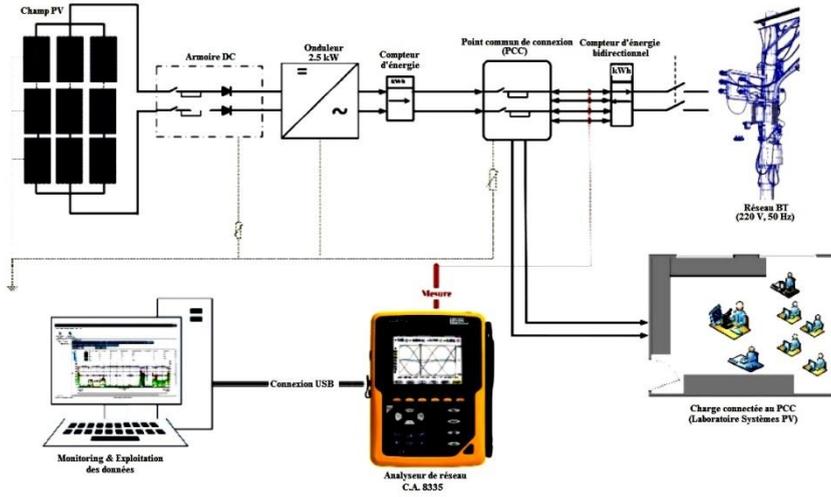


Fig. 1: Structure du PCC et le monitoring des paramètres électriques

2.2 Charges connectées au PCC

Actuellement, la réalité technologique a conduit à une intégration massive de l'électronique dans de nombreux matériels d'électrotechnique (charges) ce qui contribue essentiellement à la prolifération des perturbations électriques qui impactent la qualité de l'onde de la tension sinusoïdale. Ces récepteurs ou charges non-linéaires déforment le courant et la tension en produisant des courants et tensions harmoniques. De ce fait, cette pollution harmonique est traduite par des pertes électriques ou des dysfonctionnements du réseau électrique.

L'identification de la nature de la charge (linéaires ou non) peut être effectuée, soit par reconnaissance du type de la charge, soit par la mesure afin de vérifier les caractéristiques du courant appelé par la charge.

La plus part des équipements connectés au PCC sont dotés de composants d'électronique de puissance, dont on peut citer les ballasts électroniques, les alimentations à découpage des ordinateurs, les alimentations statiques interruptibles (AIS), les imprimantes et les périphériques d'ordinateurs. Ces charges non linéaires absorbent un courant qui n'est pas d'allure sinusoïdale et génèrent ainsi des courants harmoniques de rang impairs: 3, 5, 7, 9, etc. [1].

Les harmoniques de rang pairs: 2, 4, 6, etc... s'annulent en raison de la symétrie du signal. Ainsi dans la majorité des cas, il n'est donc question que des harmoniques de rang impairs [1].

La circulation de ces courants harmoniques contribue:

- à l'augmentation des pertes par effet Joule dans les conducteurs électriques,
- à la diminution du facteur de puissance de l'installation,
- au vieillissement prématuré des équipements raccordés sur l'installation électrique en diminuant leur durée de vie.

3. QUALITE DE LA TENSION AU PCC

Les mesures présentées dans ce travail ont été réalisées par un analyseur de réseau du fabricant, 'Chauvin Arnoux, modèle CA 8335'. La campagne de mesure a été réalisée durant trois semaines (21 jours) au cours du mois de Juillet, Août et Septembre 2016, en considérant la variation de la charge et de la production PV au PCC. Cela implique, durant plusieurs jours, la déconnexion des trois onduleurs PV pour relever les paramètres électriques du réseau au PCC sans l'injection de la production PV.

Les grandeurs mesurées pour chaque phase sont: les valeurs efficaces vraies (TRMS) des tensions triphasées, les valeurs efficaces vraies (TRMS) des courants triphasés, la puissance active de chaque phase, le taux de distorsion harmonique (THD) des tensions et des courants. Ces paramètres électriques sont enregistrés chaque minute.

Les résultats sont présentés par rapport à la puissance active, afin de montrer et de comparer les paramètres électriques avec et sans injection de la production PV. Les phases du réseau 01, 02 et 03 sont identifiées par les couleurs rouge, noire et bleue respectivement.

3.1 Fréquence

La norme EN 50160 exige que la valeur moyenne de la fréquence de la fondamentale mesurée par période de 10 secondes doit être comprise dans l'intervalle $\pm 1\%$ de 50 Hz pendant 99.5 % d'une semaine et entre -6 % et +4 % de 50 Hz pendant 100 % du temps [5]. Le **Tableau 1** montre une comparaison entre les exigences de la norme EN 50160 et les valeurs mesurées de la fréquence de la tension.

Tableau 1: Caractéristique de la fréquence de la tension

	Mesure (CA 8335)	EN 50160
Fréquence	49.8 Hz - 50.1 Hz	49.5 Hz - 50.5 Hz (99.5 %) 47 Hz - 52 Hz - 100%)

Les résultats montrent que la fréquence varie dans un intervalle compris entre -0.4 % et +0.2 % de 50 Hz pendant 100 % du temps de la surveillance (mesure).

3.2 Tension efficace

La norme EN 50160 exige que les valeurs efficaces moyennées sur une période de 10 minutes, doivent être comprises dans l'intervalle $\pm 10\%$ de 230 V pendant 95 % d'une semaine [5]. Le **Tableau 2** présente une comparaison entre les exigences de la norme EN 50160 et les valeurs efficaces mesurées de la tension au PCC.

Sur la période de mesure (trois semaines), nous observons que la tension efficace varie dans l'intervalle compris entre -9.65 % et +3.43 % de 230 V; ce qui est conforme aux exigences de la norme EN50160.

En pratique, la valeur de la tension au PCC change en permanence, d'une part, en fonction des conditions locales des charges et du système PV au PCC, d'autre part en fonction des conditions globales du réseau.

Tableau 2: Caractéristique de la fréquence de la tension

	Plage de variation des valeurs efficaces de la tension		EN 50160
	Sans injection PV	Avec injection PV	
Phase 01	216.9 V - 234.5 V	207.8 V - 235.9 V	207 V - 253 V
Plage 02	215.6 V - 237.9 V	227.8 V - 235.2 V	Pendant 95 %
Plage 03	216.2 V - 235.6 V	227.7 V - 234.1 V	d'une semaine

Du point de vue local, les résultats ci-dessous montrent l'impact de l'injection de la production PV sur le niveau de tension au PCC. Les figures 2, 3 et 4 présentent la tension efficace en fonction de la puissance active des phases 01, 02 et 03 respectivement. Les valeurs des tensions efficaces varient à l'intérieur des seuils de tolérance défini dans les principes et règles techniques de raccordement des clients consommateurs en BT, $230V \pm 10\%$.

Avec injection de la production PV, puissance négative, le niveau de la tension augmente et dépasse parfois 230 V. Sans injection de la production, puissance active positive, le niveau de la tension est en-dessous de 230 V, on indique que pour un appel de charge de 01 kW, le niveau de tension enregistré est autour de 225 V.

Cette corrélation montre l'effet de la production PV sur le niveau de la tension réseau au PCC en composant la chute de tension locale entraînée par les charges raccordées au point d'injection.

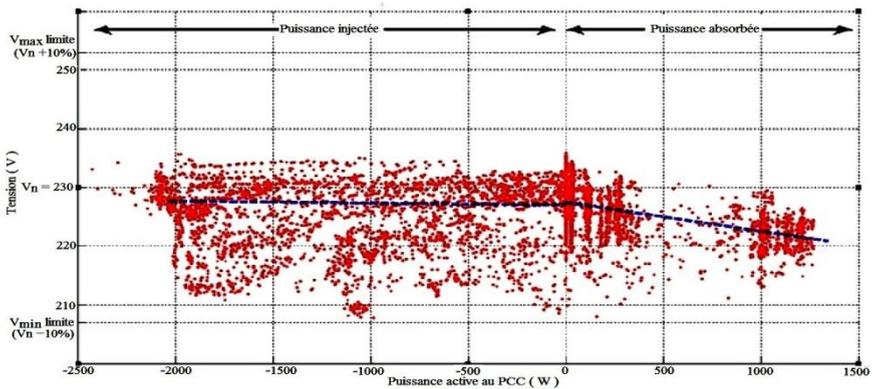


Fig. 2: Tension efficace en fonction de la puissance active, phase 01

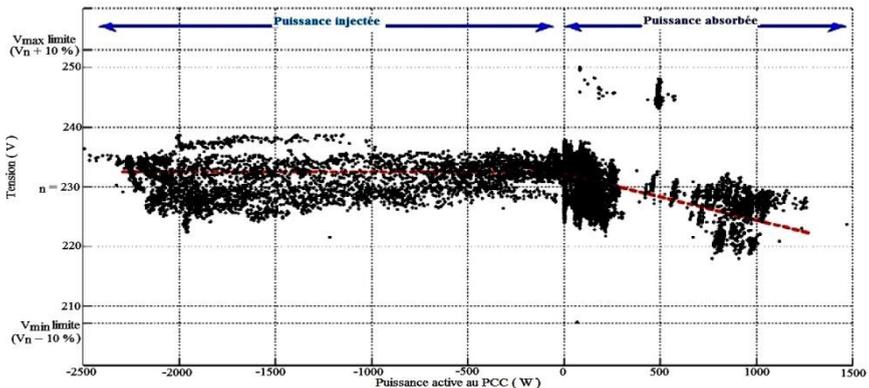


Fig. 3: Tension efficace en fonction de la puissance active, phase 02

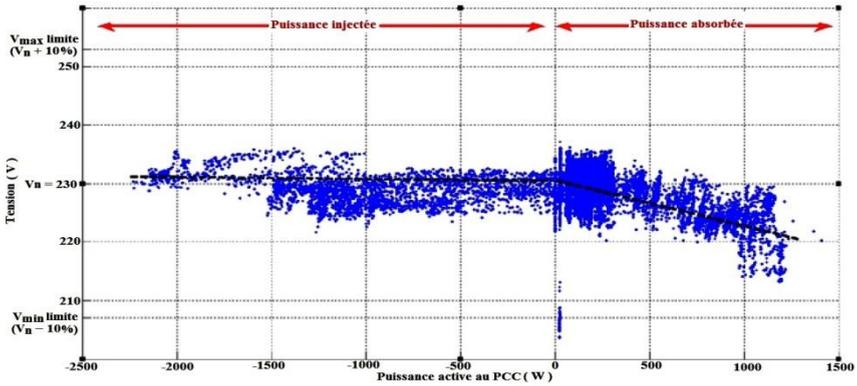


Fig. 4: Tension efficace en fonction de la puissance active, phase 03

3.3 Tensions harmoniques

Alors que la majorité des chutes de tension et des coupures de courant ont pour origine les systèmes électriques et relèvent de la responsabilité du fournisseur, les problèmes d'harmoniques proviennent toujours des équipements des utilisateurs.

Le **Tableau 3** présente les tensions harmoniques impaires individuelles selon la norme EN 50160 et mesurées au PCC. Cette évaluation individuelle fait apparaître que la tension au PCC est conforme aux limites maximales exigées par cette norme à l'exception de l'harmonique tension de rang 15.

Tableau 3: Comparaison des exigences des tensions harmoniques selon la norme EN 50160 et les valeurs mesurées au PCC.

Non multiple de 3			Multiple de 3		
Ordre	Tension relative en % (EN 50160)	Tension relative en % (mesurée)	Ordre	Tension relative en % (EN 50160)	Tension relative en % (mesurée)
5	6	0.6 - 5	3	5	0.1 - 2.9
7	5	0 - 1.9	9	1.5	0.1 - 1.3
11	3.5	0 - 0.5	15	0.5	0 - 1
13	3	0 - 0.9	21	0.5	0 - 0.4
17	2	0 - 0.6			
19	1.5	0 - 0.5			
23	1.5	0 - 0.2			
25	1.5	0 - 0.4			

Concernant le taux de distorsion globale, les résultats ci-dessous montrent l'impact de l'injection de la production PV sur la qualité de l'onde de la tension au PCC. Les figures 5, 6 et 7 présentent le THD de la tension en fonction de la puissance active des phases 01, 02 et 03 respectivement.

Les valeurs enregistrées du THD de la tension, sur les trois phases, sont inférieures à 4 % lorsque le flux de puissance est négatif (injection de la production PV). Alors qu'ils dépassent 4 % lorsque le flux de puissance est positif (sans la production PV).

Cette corrélation montre l'effet avantageux de la production PV sur la qualité de l'onde de la tension au PCC.

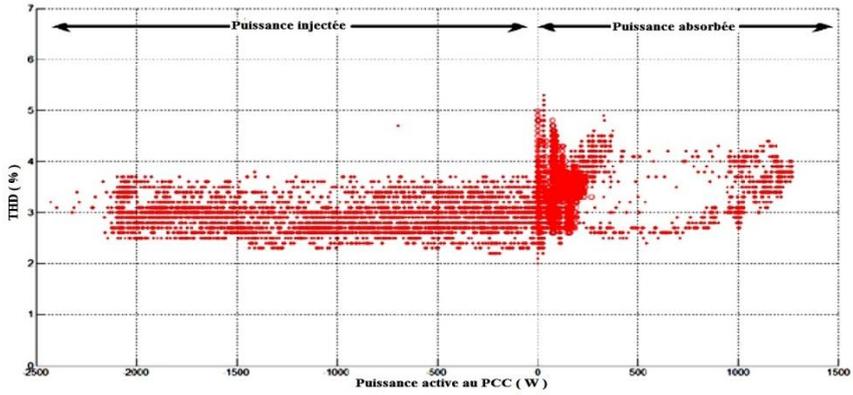


Fig. 5: THD de la tension en fonction de la puissance, phase 01

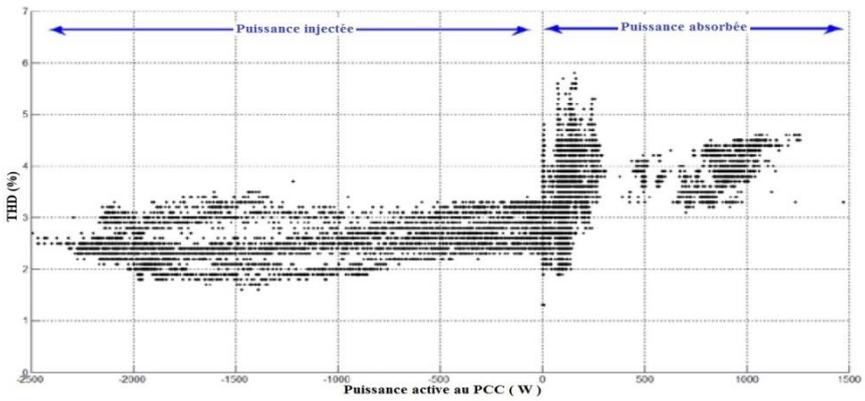


Fig. 6: THD de la tension en fonction de la puissance, phase 02

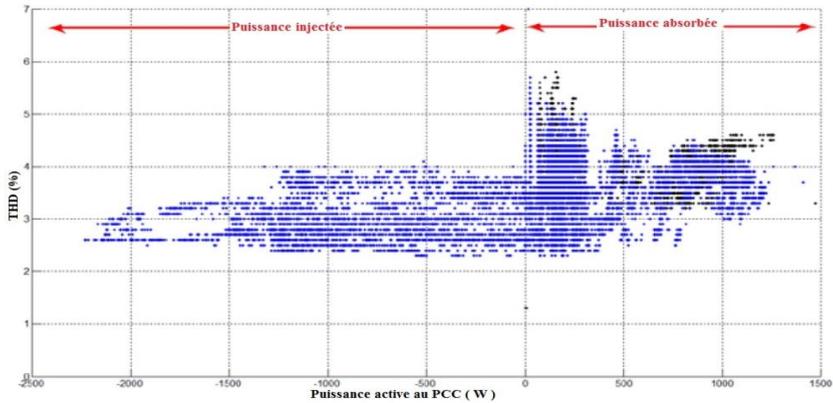


Fig. 7: THD de la tension en fonction de la puissance, phase 03

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce travail s'inscrit dans le domaine du monitoring de la qualité de l'énergie électrique dans le réseau de distribution basse tension (BT).

Les critères de la qualité de l'énergie sont définis dans les normes et les standards internationaux.

La norme EN 50160 a été utilisée pour l'évaluation de la fréquence, de l'amplitude et du THD de la tension au PCC en considérant l'injection de l'énergie PV. Aussi, une analyse des résultats est présentée pour montrer l'effet de l'injection de la production PV sur le niveau et la qualité de l'onde de la tension.

L'analyse des données mesurées de la fréquence et de l'amplitude de la tension au PCC révèle, d'une part, leurs conformités sur la période de surveillance avec les exigences de la norme EN 50160.

D'autre part, l'amplitude de la tension au point d'injection peut dépendre des conditions locales: puissance PV injectée et la valeur de la charge locale. Contrairement au cas sans injection de la production PV, le niveau de tension dépend uniquement de l'appel de la charge. L'augmentation locale du niveau de tension est d'autant plus notable qu'il y a plus de PV et peu de charges. On note qu'avec la puissance du système PV, le niveau de tension ne dépasse pas la limite exigée par la norme EN 50160.

L'évaluation individuelle des harmoniques de tensions impaires fait apparaître que la tension au PCC est conforme aux limites maximales exigées à l'exception de l'harmonique tension de rang 15. De plus, l'analyse des résultats du taux de distorsion harmoniques globale de la tension montrent l'impact positif de la production PV sur la qualité de l'onde de la tension au PCC.

L'étude de la qualité de la tension montre la conformité de la tension réseau, en termes d'amplitude et d'harmoniques, avec la norme EN 50160. Ainsi que l'impact positif de la production PV sur l'amélioration du niveau de la tension et l'atténuation des harmoniques.

La première perspective de ce travail concerne l'évaluation comparative et complète de la caractéristique de la tension BT au PCC: fréquence, amplitude, variation rapide et lente (Plt, Pst), creux et surtension, coupure brèves et longues, déséquilibre et tensions harmoniques paires, impaires et inter-harmonique, selon les normes EN 50160 et EN 61000-2-2.

La seconde, concerne la simulation du comportement réel de la production décentralisée d'origine renouvelable et du réseau électrique de distribution BT. Ainsi cela permettra de développer des scénarios d'impact de l'intégration des systèmes PV dans le réseau électrique BT.

Remerciements- Les travaux présentés ont été réalisés dans le cadre du projet 'REELCOOP - Research Cooperation in Renewable Energy Technologies for Electricity Generation', cofinancé par la commission européenne (FP7 ENERGY.2013.2.9.1, Accord de subvention N°: 608466).

REFERENCES

- [1] E. Félice et P. Révilla, '*Qualité des Réseaux Electriques et Efficacité Energétique*', Livre, Edition Dunod, 2009.
- [2] Société Nationale de l'Electricité et du Gaz: www.sonelgaz.dz, 2016.
- [3] Décret Exécutif N°10-138 du 28 Joumada El Oula 1431 correspondant au 13 mai 2010 fixant les 'Règles Techniques de Conception, d'Exploitation et d'Entretien des Réseaux de Distribution de l'Electricité et du Gaz'.

- [4] S. Bouchakour, '*Contribution à l'Etude et Commande d'un Couplage des Systèmes Hybrides (Réseau et Photovoltaïque) pour la Production d'Energie Electrique*', Thèse de Doctorat, Université de Mostaganem, 2015.
- [5] H. Markiewicz and A. Klajn, '*Caractéristique de la Tension dans les Réseaux Publics de Distribution: Norme EN 50160*', Guide Power Quality, Leonardo Energy, 2004.
- [6] Rapport Technique, '*Règles Techniques de Raccordement au Réseau de Transport de l'Electricité et Règles de Conduite du Système Electrique*', Ministère de l'Energie et des Mines, www.energy.gov.dz, 2008.
- [7] A. Hadj Arab, F. Cherfa, A. Chouder and F. Chenlo, '*Grid-Connected Photovoltaic System at CDER-Algeria*', 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelone, 6-10 June 2005.
- [8] S. Bouchakour, F. Cherfa, A. Chouder, K. Abdeladim and K. Kerkouche, '*Experimental Study of Grid-Connected Photovoltaic System at CDER, Algiers*', Revue des Energies Renouvelables, SIENR'12, Ghardaïa, pp. 59 - 66, 2012.
- [9] S. Bouchakour, A. Tahour, K. Abdeladim, H. Sayah, F. Cherfa, A. Hadj Arab and S. Ould Amrouche, '*PV Systems and Power Quality in Algerian Distribution Grid*', 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2014.
- [10] F. Cherfa, A. Hadj Arab, R. Oussaid, K. Abdeladim and S. Bouchakour, '*Performance Analysis of the Mini-grid Connected Photovoltaic System at Algiers*', Energy Procedia, pp. 226 - 236, 2015.
- [11] A. Hadj Arab, S. Ould Amrouche, K. Abdeladim, S. Bouchakour, F. Cherfa and B. Taghezouit, '*Power Quality Monitoring of the Grid-Connected PV System At CDER, Algeria*', International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources, NuRER, 2014.