

Etude de l'impact des pollueurs de l'énergie électrique domestique: Cas du réseau de distribution MT/BT du quartier Kakifuluwe, cabine de transformation CDM

[Study of the impact of domestic electric energy polluters: Case of the MV/LV distribution network in the Kakifuluwe district, CDM transformer cabin]

Daniel Kasongo Monga Muswa and Patric Makanta Kaela

Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi, Section Electricité industrielle, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: For electrical engineers, the transit of power between the source and the consuming load must respect the principle of balance.

Unfortunately, this balance is affected by pollution of the power consumed, through the polluting loads of electrical energy. From where an instability in tension and in power appear; one of the causes of this instability corresponds to a high load. In the case of the medium voltage-low voltage network, this is due to the growing increase in demand and a large transfer of energy between the source of energy which is the transformer cabin and the consumers, which are the subscribers of the SNEL company.

The SNEL network is subject to voltage instability because the load becomes too high than expected and the risk is all the greater when the consumption of reactive energy is also greater than expected.

The low voltage electricity network of the city of Kolwezi is not spared from electrical energy pollution, the quality of the voltage and the power even consumed daily leaves something to be desired and raises more questions.

KEYWORDS: Polluters, impact, electrical energy.

RESUME: Pour les ingénieurs électriciens, le transit de puissance entre la source et la charge consommatrice doit respecter le principe d'équilibre. Malheureusement cet équilibre est affecté par une pollution de la puissance consommée, à travers les charges polluées d'énergie électriques. D'où une instabilité en tension et en puissance se manifeste; l'une des causes de cette instabilité correspond à une charge élevée. Dans le cas du réseau moyenne tension-basse tension, ceci est dû à l'augmentation croissante de la demande et à un large transfert d'énergie entre la source d'énergie qui est la cabine de transformation et les consommateurs, qui sont les abonnés SNEL.

Le réseau SNEL est sujet d'instabilité en tension du fait que, la charge devient trop importante que celle prévue et le risque est d'autant plus grand que la consommation de l'énergie réactive est également plus grande que prévue.

Le réseau électrique basse tension de la ville de Kolwezi, n'est pas épargné de la pollution en énergie électrique, la qualité de la tension et de la puissance même consommée quotidiennement laisse à désirer et suscite plus d'interrogations.

MOTS-CLEFS: Pollueurs, impact, Energie électrique.

1 INTRODUCTION

La province du Lualaba figure parmi les 26 provinces que compte notre pays, la République Démocratique du Congo. Elle doit son existence à la loi N° 15/04 du 28 février 2015 déterminant les modalités d'installation des nouvelles provinces. Elle a

une superficie de 121 308 kilomètres carrés, soit 5,2 % de la superficie du territoire national, ce qui lui confère le huitième rang de par son étendue par rapport aux autres provinces de la R.D.C.

De nos jours le problème de la pollution des réseaux électriques est devenu une grande préoccupation pour les ingénieurs, car cette pollution affecte la sûreté des éléments des réseaux et l'ensemble du système énergétique. L'identification des pollueurs et des sources des pollutions sont des étapes essentielles conduisant à l'étude de la stabilité des réseaux et

L'amélioration des grandeurs caractéristiques des réseaux comme par exemple le plan de tension, le taux de charge et les paramètres linéiques des lignes de transmission de puissance de l'alimentation par la société nationale d'électricité (SNEL) et son remplacement par un matériel et des lignes conformes.

2 INDICES DE POLLUTION

La dégradation de grandeurs électriques liées à la puissance fournie et consommée donne une indication sur la pollution de l'énergie électrique, la dégradation de ces grandeurs entraînent:

- Des taux de charges anormales des transformateurs;
- Des chutes de tensions anormales au niveau des transformateurs et des consommateurs;
- Des court-circuits des câbles des distributions affectés par la variation des courants de charges;
- L'échauffement exagéré des transformateurs, accélère leurs vieillissements prématurés;
- La dégradation du facteur de puissance.

3 IDENTIFICATION DES POLLUEURS D'ENERGIE ELECTRIQUE BASSE TENSION

La connaissance des récepteurs utilisés par les consommateurs d'énergie permet d'identifier facilement les pollueurs. Ainsi dans le réseau électrique on peut lister en trois catégories les récepteurs à savoir:

- Récepteurs fortement inductifs;
- Récepteurs fortement résistifs;
- Récepteurs fortement capacitifs.

Il est important dans cette identification des récepteurs qui constituent les charges de connaître les grandeurs suivantes:

- Les puissances nominales (active, réactive et apparente);
- Les puissances réellement absorbées;
- Le facteur de puissance;
- Le rendement;
- Les transitoires de fonctionnement (démarrage des moteurs...).

Il est certain que la plupart des récepteurs électriques dans le domestique sont des charges déformantes, c'est-à-dire non linéaire. Nous assistons à une augmentation régulière des utilisateurs libres de brancher n'importe quel récepteur au réseau SNEL qui, malheureusement génère des taux d'harmonique et crée le déséquilibre des courants et une forte consommation de l'énergie réactive.

Les pertes des câbles traversés par des courants harmoniques, en particulier le conducteur de neutre, sont majorées et elles provoquent une élévation de température. Dans ces câbles on assiste finalement à:

- L'augmentation de la valeur efficace du courant pour une puissance active consommée;
- L'élévation de la résistance apparente de l'âme avec la fréquence, phénomène dû à l'effet de peau;
- L'élévation des pertes diélectriques dans l'isolant avec la fréquence si le câble est soumis à une distorsion non négligeable.

3.1 INSTALLATIONS PERTURBATRICES DANS LE RESEAU BASSE-TENSION

Il est d'un constat amer de voir que la plupart des consommateurs d'énergie électrique en basse tension a des activités utilisant l'énergie électrique eu les charges suivantes:

- Fours à arc;
- Soudeuses;

- Toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, cybers;
- Chambres froides;
- Et récemment les panneaux solaires.

De ce fait la tension en basse-tension n'est presque pas stable dans une grande partie du réseau basse tension. La valeur efficace de la tension dans ces parties du réseau varie continuellement, car les abonnés SNEL modifient sans être inquiétés du jour le jour, la charge en fonction de leurs activités, et ces variations deviennent répétitives et de fois aléatoire.

Le pollueur principal, qui est l'abonné SNEL, est aujourd'hui insensible aux fluctuations de tension qui provoque un papillonnement d'éclairage qui normalement doit être gênante pour lui et pour les autres abonnés. La SNEL, néglige certaines perturbations liées aux variations de l'énergie et sous-estime certaines variations qui constituent par conséquent une pollution de la qualité de cette énergie.

3.2 PHÉNOMÈNES PHYSIQUES INDICATEURS DE LA POLLUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

On peut observer la probabilité d'une pollution en énergie électrique en observant les variations des grandeurs électriques. Le tableau suivant résume les principaux phénomènes perturbateurs:

Tableau 1. Principaux phénomènes perturbateurs

Perturbations	Origines	Conséquences	Dégâts
Coupure longue	Court-circuit, surcharge, déclenchement intempestif	Arrêts d'équipements, Pertes de production, dégâts	Destruction d'équipements Industriels
Fluctuations rapides (flicker)	Installations fluctuantes (four à arc, soudeuse, moteur à démarrage fréquent)	Papillotement de l'éclairage, moins de luminosité	Extinction et ré allumage des équipements
Creux de tension et coupure brève	Court-circuit, (enclenchement de gros moteur)	Arrêts d'équipements, pertes de production	Pertes de données informatiques
Harmonique	Installations non linéaires (électronique de puissance, arcs électriques, panneaux PV,...)	Effets thermiques (moteurs, condensateurs, conducteurs neutre...) diélectriques (vieillessement d'isolant) ou quasi instantanés.	Mise en péril du processus de production et ralentissement de la machine
Inter harmonique	Installations non linéaires et fluctuantes (four à arc, soudeuse, éolienne), chargeurs de fréquence.	Papillotement de l'éclairage fluorescent, dysfonctionnement d'automatismes, dégâts mécaniques sur des machines tournantes	Mise en péril du processus de production et ralentissement de la machine
Déséquilibre	Installations déséquilibrées	Echauffement des machines tournantes, vibrations, disfonctionnement de protections	Ouverture des contacteurs de grande puissance
Surtension	Court-circuit, commutations, foudre	Déclenchements, danger pour les personnes et pour les matériels	Claquade d'un filament de lampe et destruction des protections

On retiendra que les perturbations polluantes en tension comme les creux de tension, les surtensions, les déséquilibres, et les harmoniques de tension trouvent généralement leurs origines du réseau électrique lui-même et parfois aussi de la charge.

L'une de remarque de l'analyse du tableau, c'est que l'utilisation croissante des équipements informatiques et de l'électronique de puissance sur les réseaux électriques contribue à la pollution et donc à la dégradation de la tension d'alimentation électrique.

Ces équipements constituent des charges non linéaires et appellent sur les réseaux électriques de courants déformés qui, lorsqu'ils sont importants en amplitude, vont modifier l'allure de la tension sinusoïdale. Cette tension réseau irrégulière a une influence directe sur les performances et le dysfonctionnement des équipements électriques.

4 METHODES D'ANALYSE DES PERTURBATIONS DANS LE RESEAU ELECTRIQUE

4.1 ETUDE DES DÉSÉQUILIBRES DE TENSION

Le réseau de distribution d'énergie électrique (SNEL) basse tension est sujet des déséquilibres en tension. Le système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et /ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120 °. Le degré de déséquilibre est défini en utilisant la méthode des composantes de Fortescue par le rapport de la composante inverse (U1inv) du fondamental à celui de la composante directe (U1dir) du fondamental.

La relation entre les composantes symétriques de Fortescue est donnée par l'expression matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ao} \\ V_{ad} \\ V_{ai} \end{bmatrix}$$

Avec: $a = -0.5 + j 0.866 = ej2\pi/3$: operateur de Fortescue

En fonction des tensions simples triphasés du réseau, on calcule les composantes directes, inverse et homopolaire par les expressions:

$$V_d = 1/3 (V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$V_i = 1/3 (V_a + a^2V_b + aV_c)$$

$$V_0 = 1/3 (V_a + V_b + V_c)$$

De même pour les courants on écrit:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ao} \\ I_{ad} \\ I_{ai} \end{bmatrix}$$

De même:

$$\begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_i \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

Ainsi le courant dans le fil neutre est:

$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

D'où:

$$I_n = 3I_0$$

Nous pouvons donc à l'aide de la transformation de Fortescue étudié la puissance développée dans le circuit triphasé:

$$S = P + jQ = V_a I^*_a + V_b I^*_b + V_c I^*_c = 3 (V_o I^*_o + V_d I^*_d + V_i I^*_i)$$

où I^* : le conjugué du courant pour chaque composante

On calcule ainsi le degré de déséquilibre par:

$$\Delta U_i \% = |V_{1i}| / |V_{1d}| \times 100$$

La qualité de service aux clients est définie sur le plan technique par les critères suivants:

- Une puissance suffisante: appel instantané de puissance;
- Une énergie suffisante: facteur durée;
- Une tension sinusoïdale de niveau suffisant et stable $230V \pm 10\%$;
- Une limitation des creux de tension inférieur à 500 ms;
- Un degré de déséquilibre inférieur à 2%, pour déclarer que le réseau électrique est stable.

4.2 ETUDE DES SURCHARGES DES TRANSFORMATEURS ET DES CÂBLES

On doit effectuer les essais suivants:

- Mesures des tensions au secondaire du transformateurs: cette mesure se fera à vide et en charge;
- Mesure des taux de charge du transformateur;
- Mesure du facteur de puissance afin d'avoir une idée précise sur la quantité de puissance active et réactive appelées par la charge et disponibles par la source, et finalement connaître le type de charge;
- Evaluation de la section des câbles en fonction du courant de charges;
- Mesures de fréquences harmoniques.

Notons que dans l'évaluation de taux de charge, les méthodes statistiques sont nécessaires afin d'en dégager les moyennes en tension et en courant.

4.3 ETUDE DES SURCHARGES DE FLUCTUATION DE PUISSANCE (FLICKER) ET CREUX DE TENSION

Des techniques de gestion du réseau sont nécessaires de manière à repérer les abonnés qui utilisent les charges qui sont à l'origine de fluctuation de puissance. Ces abonnés devraient payer des pénalités adéquates, et la SNEL devrait repérer tout abonné ayant:

- Des fours électriques;
- Des postes à souder;
- Des activités de scieries, nécessitant de démarrage fréquent des moteurs asynchrones.
- Des panneaux solaires connectés au réseau électrique SNEL

5 CORRECTION DE LA POLLUTION ÉNERGETIQUE DANS LE RESEAU MT/BT DE KAKIFULUWE, CABINE CDM

Notre réseau d'étude est composé des trois cabines de transformation moyenne tension-basse tension; signalons en même temps que nous avons eu l'occasion de traiter le cas de la cabine de transformation de CDM.

5.1 CARACTÉRISTIQUES DU TRANSFORMATEUR CONCERNÉ

Le tableau suivant reprend les caractéristiques du transformateur de la cabine de transformation de CDM

Tableau 2. Caractéristiques du transformateur de la cabine CDM

Puissance nominale en kVA	400
Tension primaire à vide en Volt	6600
Tension secondaire à vide en Volt	400
Tension de court-circuit en Pourcentage	4
Fréquence en Hertz	50
Indice horaire et couplage	Dyn 11
Courant primaire nominal en Ampère	35
Courant secondaire nominal en Ampère	577,4
Nature du diélectrique	Huile
Refroidissement	ONAN
Nature de l'enroulement	Aluminium
Masse du diélectrique en kg	275
Masse à découper en kg	765
Masse totale en kg	1330
Température ambiante en degrés Celsius	40
Année de fabrication	2010
Année de service	2018
Position du régleur à vide (tap change)	5

Notons que la cabine de transformation MT/BT nommée CDM est constituée de quatre départs vers les abonnés.

5.2 PRÉLÈVEMENT DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES

Nous avons prélevé deux grandeurs électriques importantes lors de notre étude, le courant et la tension électrique dans une période couvrant neuf semaines, c'est-à-dire environ égal à deux mois de prélèvement des données. Ces grandeurs seront représentées dans différents tableaux statistiques, dans l'optique d'évaluer les différents taux de charges et à la finalité d'en déduire le facteur de puissance du réseau d'étude.

A partir de ces tableaux, nous allons présenter seulement ceux comprenant les moyennes de mesures faites par semaine.

5.2.1 CHARGES ET TAUX DE CHARGES MOYENS POUR LES DEUX MOIS

Tableau 3. Moyenne générale des charges et taux de charges pour les deux mois

CHARGES ET TAUX DE CHARGES MOYENS POUR LES DEUX MOIS				
I_{2n} 577,4	COURANTS MOYENS EN AMPERE			MOYENNE SEMAINE
SEMAINES	R	S	T	$T_U\%$
1 ere SEMAINE	493	508,7	563,5	90,3
2 e SEMAINE	511	512,7	536,1	90
3e SEMAINE	544,2	528,4	507,7	91,2
4e SEMAINE	533	555,5	540,7	94
5e SEMAINE	485	525,7	522,2	88,4
6e SEMAINE	550,4	491	543,4	91,4
7e SEMAINE	532,4	569,7	555,5	95,6
8e SEMAINE	497,1	527,2	509,8	88,5
9e SEMAINE	493,8	449,4	552,4	86,3
MOYENNE GENERALE	515,5	518,7	536,8	90,6

Première Observation: Le taux de charge moyen du transformateur durant les deux mois de prélèvement des données est de 90,6 %, les différents courants moyens de ces trois phases pour les deux mois de prélèvement (confère tableau A.1) se présente de la manière suivante:

- Phase R: $I_a = 515,5$ A;
- Phase S: $I_b = 518,7$ A;
- Phase T: $I_c = 536,8$ A.

En se référant aux normes de l'électrotechnique international, ce transformateur est surchargé, car son taux de charge est de 90,6 %, qui dépasse la valeur admissible fixée par la CEI, qui est de 80%.

5.2.2 PRELEVEMENT DE NIVEAUX DE TENSION MOYENS POUR LES DEUX MOIS

Tableau 4. Niveau de tensions moyens pour les deux mois

SEMAINES	TENSIONS SIMPLES MOYENNES EN VOLT		
	R	S	T
1 ere SEMAINE	167,7	167	164,8
2 e SEMAINE	168,7	160,8	160,5
3e SEMAINE	172,4	168,4	167,7
4e SEMAINE	167,5	165,1	164,5
5e SEMAINE	171,2	167,7	165,5
6e SEMAINE	167,4	164	167
7e SEMAINE	168,4	160,8	165,5
8e SEMAINE	166	159,5	163,8
9e SEMAINE	173,5	173,7	177
$1/9 \sum_{j=1}^9 V_j$	169,2	165,2	166,2

Deuxième Observation: Le niveau moyen de tensions simples, mesurées entre phases et neutre pendant les deux mois, se présente de la manière suivante:

- Phase R: $V_a = 169,2$ V;
- Phase S: $V_b = 165,2$ V;
- Phase T: $V_c = 166,2$ V.

5.2.3 PRELEVEMENT DE NIVEAUX DE TENSION A VIDE MOYENS POUR LES DEUX MOIS

Tableau 5. Niveau de tensions moyens a vide pour les deux mois

SEMAINES	TENSIONS SIMPLES MOYENNES EN VOLT		
	R	S	T
1 ere SEMAINE	221	220	222
2 e SEMAINE	230	228	230
3e SEMAINE	227	228	230
4e SEMAINE	225	224	226
5e SEMAINE	220	220	220
6e SEMAINE	229	230	230
7e SEMAINE	228	229	227
8e SEMAINE	226	226	227
9e SEMAINE	229	230	230
MOYENNE GENERALE $1/9 \sum_{j=1}^9 V_n$	226,1	226,1	226,8

En se référant au tableau ci-dessus, la tension composée moyenne secondaire nominale à vide est donnée par la moyenne suivante:

$$U_{2n0} = \sqrt{3} \times (Va0+Vb0+Vc0) / 3 = \sqrt{3} \times (226,1+226,1+226,8) / 3 = 392,02 \text{ V}$$

5.3 CALCUL DE PUISSANCE ÉLECTRIQUE REELLEMENT CONSOMMEE

Le calcul de la puissance consommée est trouvé en cherchant d'abord les composantes symétriques suivantes:

CALCUL DES COMPOSANTES SYMÉTRIQUES DES COURANTS

$$I_o = (Ia+Ib+Ic) / 3 = (515,5+518,7+536,8) / 3 = 523,6 \text{ A}$$

$$I_d = (Ia+aIb+a^2Ic) / 3 = (515,5+518,7 (-0,5+j0,866) +536,8 (-0,5-j0,866)) / 3 = -4,083 - j5,224 \text{ A}$$

$$I_i = (Ia+a^2Ib+aIc) / 3 = (515,5+518,7 (-0,5-j0,866) +536,8 (-0,5+j0,866)) / 3 = -4,083 + j5,224 \text{ A}$$

Les conjugués de ces composantes se présentent de la manière suivante:

$$I^*_o = 523,6 \text{ A}$$

$$I^*_d = -4,083 + j5,224 \text{ A}$$

$$I^*_i = -4,083 - j5,224 \text{ A}$$

CALCUL DES COMPOSANTES SYMÉTRIQUES DES TENSIONS

$$V_o = (Va+Vb+Vc) / 3 = (169,2+165,5+166,2) / 3 = 166,86 \text{ V}$$

$$V_d = (Va+aVb+a^2Vc) / 3 = (169,2+165,2 (-0,5+j0,866) +166,2 (-0,5-j0,866)) / 3 = 1,166 - j0,288 \text{ V}$$

$$V_i = (Va+a^2Vb+aVc) / 3 = (169,2+165,2 (-0,5-j0,866) +166,2 (-0,5+j0,866)) / 3 = 1,166 + j0,288 \text{ V}$$

CALCUL DES COMPOSANTES DE LA PUISSANCE APPARENTE

$$S_o = 3V_o I^*_o = 3 \times 166,86 \times 523,6 = 262\ 103,688 \text{ VA}$$

$$S_d = 3V_d I^*_d = 3 (1,166 - j0,288) (-4,083 + j5,224) = -9,768 + j21,801 \text{ VA}$$

$$S_i = 3V_i I^*_i = 3 (1,166 + j0,288) (-4,083 - j5,224) = -9,768 - j21,801 \text{ VA}$$

5.3.1 DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE APPARENTE CONSOMMÉE

Cette puissance est déterminée, en faisant une somme directe de trois composantes suivantes:

$$S = S_o + S_d + S_i = 262\,103,688 - 19,536 = 262\,084,152 \text{ VA}$$

$$S = 262,084152 \text{ kVA}$$

5.3.2 DÉTERMINATION DU FACTEUR DE PUISSANCE DU RÉSEAU D'ÉTUDE

Le facteur de puissance, étant le rapport de la puissance active sur la puissance apparente; partons du raisonnement mathématiquement de la fonction tangente, qui est le rapport de la partie imaginaire sur la partie réelle. A cet effet, le facteur de puissance est déterminé en s'intéressant aux deux composantes de la puissance apparente, de la composante directe et inverse.

$$\tan \varphi = Q_d/P_d = Q_i/P_i$$

Cette méthode de composantes symétriques, nous amène à la détermination du facteur de puissance de charge, et la détermination du taux de déséquilibre.

En effet:

$$\Delta U_i\% = |V_{1i}|/|V_{1d}| \times 100 = (|1,166+j0,288|) / (|1,166+j0,288|) \times 100 = 100\%$$

Troisième Observation: Nous constatons que, le réseau étudié est déséquilibré à sa valeur maximale; car son degré de déséquilibre est de 100% qui dépasse la valeur limite de 2%.

Ce degré de déséquilibre justifie même le mauvais facteur de puissance, et physiquement, le réseau étudié est soumis à des charges fortes comme:

- Les activités de scieries utilisant des moteurs asynchrones triphasés, activités estimées à 20%;
- Les activités de soudures électriques estimées à 40%.

D'ailleurs la population de cette contrée se plaint d'une forte chute de tension pendant la journée, combinée au phénomène de flicker, difficile pour certains de faire fonctionner même le poste téléviseur pendant la journée, il faut attendre au moins 20h30 minutes pour voir la tension remontée autour de la valeur acceptable.

6 CONCLUSION

L'équilibre du réseau électrique basse tension est affectée par beaucoup de contraintes liées à l'utilisation de l'énergie électrique. La pollution du réseau basse tension est démontrée par la mauvaise qualité de puissance consommée causée par les pollueurs, engendre par conséquent une forte dégradation du facteur de puissance, à travers des charges fortement réactives qui finalement conduisent à d'autres effets notamment: les déséquilibres à pourcentage maximal, le phénomène de flicker, lié aux activités des soudures et par surcroit la surcharge du transformateur, source d'approvisionnement en énergie électrique de ses abonnés SNEL

L'Analyse physique de cette pollution en termes de dégradation de puissance à travers les méthodes expérimentales d'évaluation des taux de charges et de tension de nœuds, combinés aux équations mathématiques de Fortescue, démontre une dégradation du facteur de puissance à 0,40.

Il est clair qu'en cas d'une dégradation du facteur de puissance une compensation en énergie électrique doit être envisagée de manière à relever le facteur de puissance et finalement l'auto correction de la tension fournie et la réduction de l'échauffement du transformateur d'alimentation.

Ce pourquoi nous recommandons que les pollueurs d'énergie électrique soient régulièrement identifiés et ce par des inspections fréquentes des abonnés du réseau de distribution de l'énergie électrique (SNEL) ce qui lui donnera le pouvoir d'appliquée des pénalités aux consommateurs pollueurs d'énergie électrique.

REFERENCES

- [1] Michel Aguet, Jean-Jacques Morf, « Traité d'Electricité», volume XII, Presses Polytechniques et Universitaires romandes, 1987.
- [2] Ronneau C., Energie, pollution, environnement: les éléments du débat. Sciences, éthiques, sociétés. Bruxelles: De Boeck Université, 1993.
- [3] Christophe Prévé, « Réseau électrique industriel » Tome 2, Edit. LAVOISIER, juin 2005.
- [4] T. DEFLANDRE, P. MAURAS, « Les harmoniques sur les réseaux électriques», Edit. EYROLES, 1998.
- [5] E. Felice, « Perturbations harmoniques, effets, origines, mesures, diagnostic, remèdes», DUNOD, Paris, 2000.
- [6] ERIC FELICE, PHILIPPE REVILLA, 'Qualité des réseaux électriques et efficacité énergétique', Collection: Technique et ingénierie, Dunod, Novembre 2009.
- [7] W. V. Lyon, Applications of the method of symmetrical components, New-York, McGraw-Hill Book Company, 1937.
- [8] « La Qualité de l'Energie Electrique», Cahier technique N° 199, Edition Octobre 2001, Schneider Electric.