Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°4 (2014) 651 – 661
DOI: https://doi.org/10.54966/jreen.v17i4.478

Amélioration de la qualité de l'énergie électrique: Identification des creux de tension

Boulaares Gattal [*], Khaled Chikhi et Cherif Fetha[†]

Département Electrotechnique, Université Hadj Lakhdar
Rue Chahid Mohamed El-Hadi Boukhlouf, 05000 Batna, Algérie

(reçu le 14 Février 2014 – accepté 24 Décembre 2014)

Résumé – *L'article présente une technique pour l'analyse des problèmes de qualité de l'énergie électrique, applicable aux creux de tension. Cette méthode représente un processus d'identification du type de creux de tension à partir des formes d'onde enregistrées. Le type de creux de tension est une caractéristique importante, car elle permet l'identification et la localisation du défaut produit.*

Abstract – *This article presents a technique for the analyze electricity quality problems, applicable to the voltage hollows. This method represents a process of identification of tension hollow type from recorded waves forms. The hollow tension type is an important characteristic, it allows the identification and the localization of the product defect.*

Mots-clés: Qualité de l'énergie électrique - Creux de tension – Propagation - Perturbations électriques.

1. INTRODUCTION

Le développement des usages de l'électricité dans l'industrie induit des exigences dans la qualité de l'énergie à fournir. La qualité de l'énergie fournie aux utilisateurs dépend de celle de la tension au point de livraison. Elle peut être affectée par certains incidents, soit externes comme la défaillance de la source d'alimentation ou bien inhérents à l'installation. Ces défauts détériorant la qualité de la tension se manifestent sous forme de différentes perturbations: surtension, déséquilibre, fluctuation, harmonique, creux de tension.

Selon leur fréquence, les perturbations sont classées en deux groupes: perturbations au niveau du fondamental et perturbations harmoniques. Les perturbations au niveau du fondamental [1] affectent l'amplitude des grandeurs d'intérêt (tension ou courant). Ce sont par exemple les creux de tension, les coupures, les surtensions et les déséquilibres. Les perturbations dites 'harmoniques' sont caractérisées par l'apparition de nouvelles composantes à des fréquences multiples de la fréquence fondamentale. En s'ajoutant à la composante fondamentale, elles provoquent donc la distorsion des formes d'onde des grandeurs d'intérêt.

Les divers types de perturbations sont en général analysés et quantifiés par des méthodes spécifiques, nécessitant souvent l'utilisation de plusieurs grandeurs différentes [2]. Par exemple, les creux de tension et les surtensions sont analysées par les valeurs efficaces des grandeurs de phase mesurées ou bien par des méthodes basées sur les composantes symétriques; les déséquilibres et les harmoniques sont analysés à partir des spectres des grandeurs de phase enregistrées, etc.

Cet article a pour objectif d'introduire une approche efficace de l'analyse des creux de tensions dues à des défauts dans les systèmes triphasés. L'approche classification ABC est généralement basée sur les tensions individuelles pour chacune des trois

[*] gattal_bou@yahoo.fr , k_chikhi@lycos.com
[†] cherif_fetha@hotmail.com

phases. Cette méthode est plus appropriée en tant que base pour les essais de l'équipement et à l'interprétation de la propagation des creux dans le système. Cette méthodologie permet d'extraire les caractéristiques du creux de tension et de déterminer son type et sa gravité [3].

En outre, la classification ABC a été développée lorsque la perturbation se propage à travers un transformateur. La méthode d'analyse que nous avons appliquée montre que les creux de tension sont principalement causés par les défauts du système. Chaque type de défaut a un effet différent sur les tensions au point de défaut, qui a ensuite défini les types de chute de tension. Des simulations ont été effectuées en utilisant le logiciel MATLAB basées sur un modèle simplifié qui est décrit dans ce présent document.

2. LES CREUX DE TENSION

Un creux de tension (sag ou dip en anglais), [4] est une baisse brutale de la tension en un point du réseau électrique à une valeur comprise (par convention) entre 90% et 10% par rapport à la tension de référence (U_{ref}), suivie d'un rétablissement de cette tension après un court laps de temps compris entre la demi-période fondamentale du réseau (8 ms à 16ms) et une minute. La tension de référence est généralement la tension nominale pour les réseaux BT et la tension déclarée ou avant perturbation pour les réseaux MT et HT.

Les coupures brèves sont un cas particulier des creux de tension de profondeur supérieure à 90 (IEEE1159) et de durée allant jusqu'à une minute.

Les creux de tension ont pour principale origine les courts-circuits affectant le réseau électrique ou les installations raccordées, et le démarrage des moteurs de forte puissance. Toutefois, les courts-circuits restent la principale cause de creux de tension et de coupures brèves. Ils engendrent des variations brusques de l'amplitude de la tension et pour cette raison, les creux de tension correspondants se caractérisent par une forme rectangulaire en fonction de temps (Fig. 2a). Les courts-circuits peuvent affecter une, deux ou trois des phases et peuvent engendrer des déphasages supplémentaires entre elles.

3. LE SYSTEME DE DISTRIBUTION ETUDIE

Le réseau à simuler est représenté par bloc fonctionnel (Fig. 1) [9].

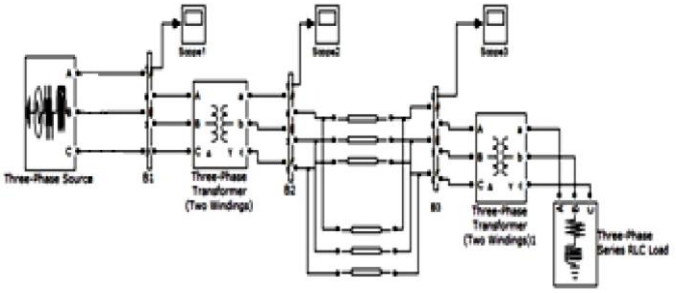


Fig. 1: Le modèle du système simulé

4. CLASSIFICATION DES CREUX DE TENSION

D'après la classification des creux de tension universellement reconnue [5], on distingue 7 principaux types de creux de tension dénotés par les lettres de A à G

présentées en figure.2, où d est l'amplitude de la chute de tension la plus importante, appelée aussi profondeur du creux de tension.

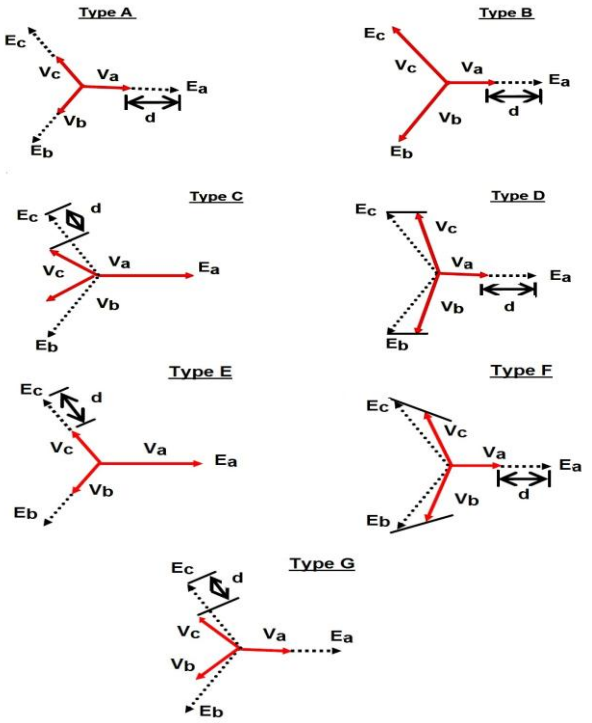


Fig. 2: Les différents types de creux de tension

Les expressions des tensions pour chaque cas sont les suivantes:

Type A

$$V_a = V,\ V_b = -1/2V - \sqrt{3}/2JV,\ V_c = -1/2V + \sqrt{3}/2JV$$

Type B

$$V_a = E,\ V_b = -1/2E - \sqrt{3}/2JE,\ V_c = -1/2E + \sqrt{3}/2JE$$

Type C

$$V_a = E,\ V_b = -1/2E - \sqrt{3}/2JV,\ V_c = -1/2E + \sqrt{3}/2JV$$

Type D

$$V_a = V,\ V_b = -1/2V - \sqrt{3}/2JE,\ V_c = -1/2V + \sqrt{3}/2JE$$

Type E

$$V_a = E,\ V_b = -1/2V - \sqrt{3}/2JV,\ V_c = -1/2V + \sqrt{3}/2JV$$

Type F

$$V_a = V,\ V_b = -1/2V - \sqrt{3}/2JV,\ V_c = -1/2V + \sqrt{3}/2JV$$

Type G

$$V_a = 1/2E + 1/3,\ V_b = -1/3E - 1/6V - \sqrt{3}/2J,$$

$$V_c = -1/3E - 1/6V + \sqrt{3}/2Jv$$

Les tensions avant la défaillance sont indiquées par les lettres E. Les tensions dans les phases en défaut ou entre les phases sont indiquées par les lettres V.

5. PROPAGATION DES CREUX DE TENSION DANS UN RESEAU INDUSTRIEL

Les creux de tension A, B, C et E sont mesurés au niveau de tension où le défaut se produit. Ils se propagent en aval du réseau en modifiant leur signature en fonction du type des transformateurs, donnant naissance à d'autres types de creux de tension qui peuvent être de type: C, D, F et G. La figure.3 et le **Tableau 1** présentent la transformation des creux de tension A, B, C et E, lorsqu'ils se propagent en aval du réseau, via les transformateurs les plus souvent utilisés: Dy.

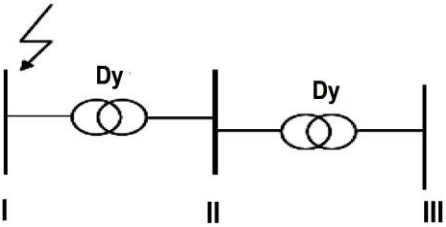


Fig. 3: Transformation des types de creux de tension

Table 1: Propagation des creux de tension

Niveau de tension	I	II	III
Type de creux de tension	A	A	A
	B	C	D
	C	D	C
	E	F	G

6. LES FACTEURS QUI CONCERNENT LE TYPE DE CREUX DE TENSION

6.1 Types et caractéristiques des défauts

Les creux de tension sont principalement causés par les défauts du système. Chaque type de défaut a un effet différent sur les tensions au point de défaut, qui a ensuite défini les types de creux de tension, [6].

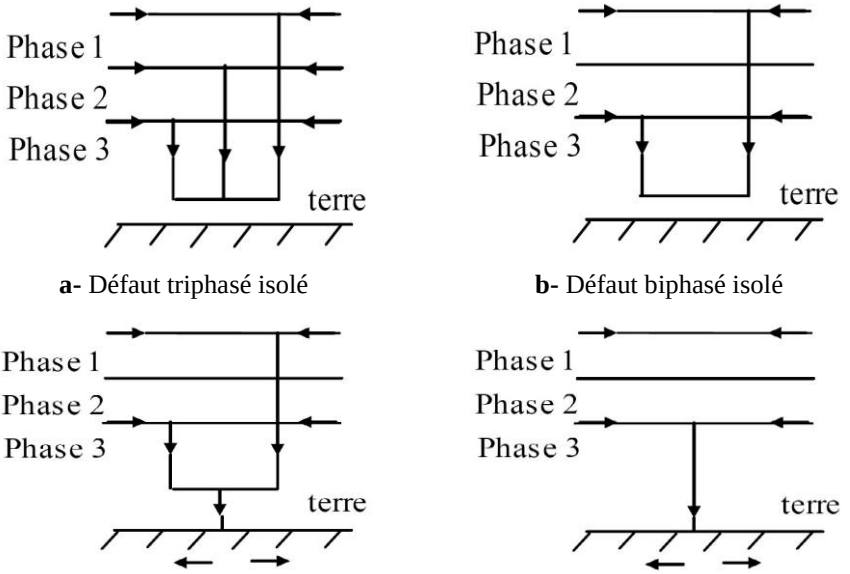
-Types des défauts

L'existence de défauts multiples, en particulier les défauts monophasés, engendre des phénomènes ou d'autres types de défaut en fonction de la localisation et du temps.

Défaut double: Ce sont deux défauts d'isolement phase terre simultanés entre deux phases différentes d'un même réseau alimenté par un même transformateur HTB/HTA sur des terres différentes éloignées géographiquement. Les deux défauts peuvent se trouver sur le même départ HTA ou sur deux départs HTA différents. Les défauts doubles font circuler dans les terres, à l'endroit des deux défauts, des courants élevés, provoquant par la même des montées en potentiel importantes, [6].

Défaut évolutif: C'est un défaut d'un type donné qui évolue vers un nouveau type dans un temps variable de quelques millisecondes à plusieurs centaines de millisecondes. Les plus fréquents sont: - Un défaut monophasé qui évolue en défaut polyphasé (bi ou triphasé), - Un défaut monophasé qui évolue en défaut double.

Les différents types des défauts sont représentés par la figure 4.



a- Défaut triphasé isolé **b-** Défaut biphasé isolé

c- Défaut biphasé terre **d-** Défaut biphasé terre

Fig. 4: Différents types de défauts

6.2 Caractéristiques des défauts

Défaut auto–extincteur: Un défaut auto-extincteur monophasé est un défaut qui s'élimine seul, sans coupure de l'alimentation ou fermeture du disjoncteur shunt.

Défaut réamorçant: Un défaut réamorçant est un défaut monophasé auto–extincteur, qui réapparaît périodiquement (dans environ 90% de cas, le défaut monophasé auto–extincteur est constitué d'un seul amorçage).

Défaut en régime établi à 50 Hz: Un défaut en régime établi 50 Hz comporte un courant ayant essentiellement une composante à 50 Hz après son apparition.

6.3 Connexion des enroulements d'un transformateur

La signature des creux de tension peut être modifiée par les transformateurs situés au sein du réseau. Par exemple, le creux de tension présenté à gauche de la figure 5 se caractérise par une chute de tension sur la phase a uniquement. Lors de son passage par le transformateur Dy11, il se transforme en creux de tension biphasé, avec des chutes de tension principales sur les phases b et c, [7].

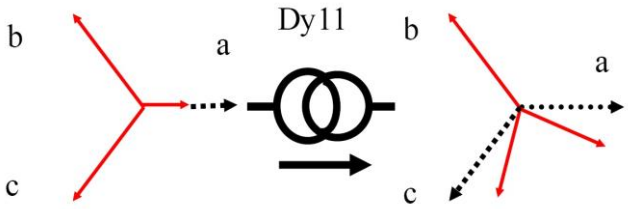


Fig. 5: Modification du type de creux de tension via un transformateur Dy

En effet, un creux de tension peut se caractériser par des signatures différentes du côté primaire et du côté secondaire d'un transformateur en fonction de son type et de sa

connexion. En fonction des modifications introduites dans les signatures des creux de tension, on distingue trois familles de transformateurs [8]:

-La signature du creux de tension n'est pas modifiée:

Les tensions du côté secondaire, (pu) sont égales aux tensions du côté primaire (pu). Dans cette catégorie, on ne distingue qu'un seul transformateur de type $Y_n y_n$.

Le rapport entre les tensions du côté primaire (v_{ABC}) et les tensions du côté secondaire (v_{abc}) peut être représenté sous la forme suivante:

$$v_{abc} = k \times T \times v_{ABC}$$

Où k est le rapport de transformation et T représente la matrice de transformation.

La matrice de transformation pour ce type de transformateur est la matrice identité, c'est à dire:

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- La composante homopolaire est enlevée.

Les tensions du côté secondaire sont obtenues en enlevant la composante homopolaire des tensions du côté primaire. Dans cette famille, on distingue les transformateurs de type Dd, Dz, $Y_n y$, $Y y_n$.

Leur matrice de transformation est définie par:

$$T_2 = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

- Les tensions de phase sont modifiées en tensions composées et vice versa.

Les tensions du côté secondaire sont proportionnelles à la différence de deux tensions du côté primaire. Dans cette catégorie, on distingue les transformateurs de type Dd, Yz, Yd.

La matrice de transformation correspondante est la suivante:

$$T_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

De manière analogue, la connexion des charges détermine le type de creux de tension que celles-ci subissent. Les charges connectées en triangle ou en étoile avec neutre flottant modifient le type de creux de tension, alors que les charges connectées en étoile avec neutre connecté à la terre ne modifient pas la signature des perturbations.

7. SIMULATION EN MATLAB

Le réseau à simuler est représenté par le bloc fonctionnel de la figure 1. Les caractéristiques de ce réseau sont données dans les **Tableaux a-**, **b-** et **c-**.

Afin de discuter adéquatement les résultats de simulations de l'ensemble constitué du réseau, nous allons présenter nos résultats de simulation en plusieurs étapes selon le type de défaut et la position où nous avons effectué la simulation.

7.1 Défaut symétrique (défaut sur trois phases) dans la barre 1

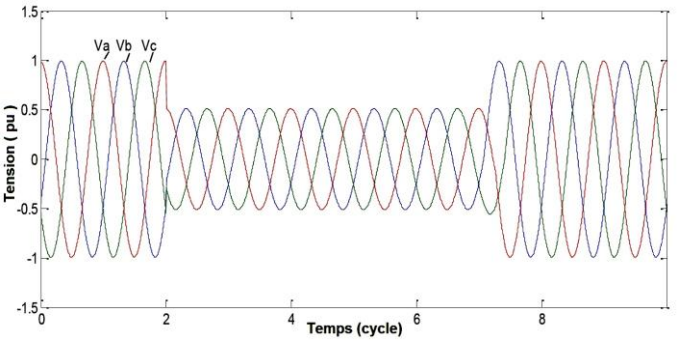


Fig. 6: Tensions dans les jeux de barres 1, 2 et 3
(Creux de tension de type A)

Trois phases en défaillance: Les creux de tension de type A, dus à des défauts triphasés, présentent des chutes de tension de la même profondeur sur les trois phases sans déphasages supplémentaires. Ce type de creux de tension se propage en aval du réseau sans modifier sa signature.

7.2 Défaut asymétrique dans la barre 1

1- Défaut monophasé

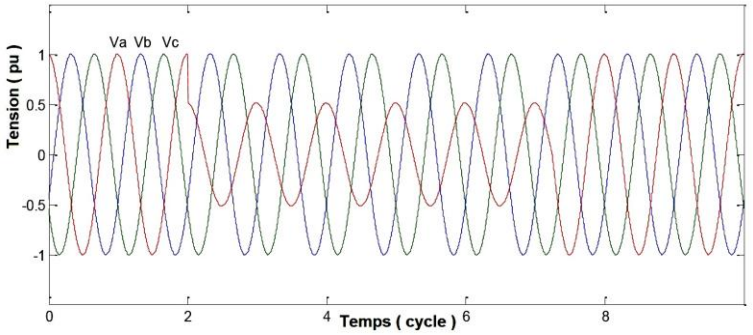


Fig. 7: Tensions dans la barre 1
(Creux de tension de type B)

Une phase à la terre: Elle provoque une baisse de la tension de ligne tandis que les deux autres tensions demeurent inchangées.

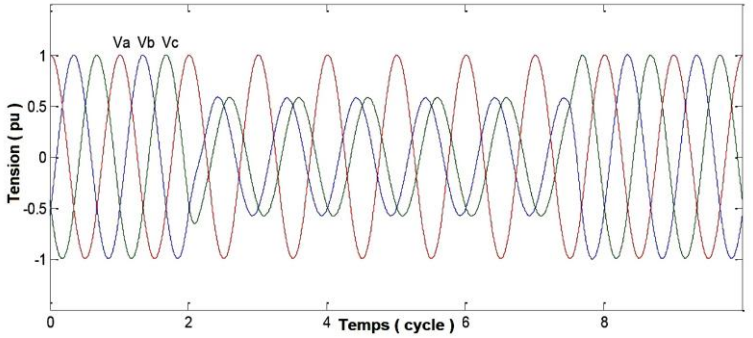


Fig. 8: Tensions dans la barre 2
(Creux de tension de type C)

Les creux de tension de type B après un transformateur couplé en triangle/étoile (Dy) provoque le déplacement de deux phases, alors que la troisième phase ne change pas du tout.

Les creux de tension de type D sont dus à la propagation des creux de tension de type C via les transformateurs, (Fig. 9). Ils se caractérisent par une chute principale sur une des phases et de faibles chutes de tension et déphasages supplémentaires pour les deux autres phases.

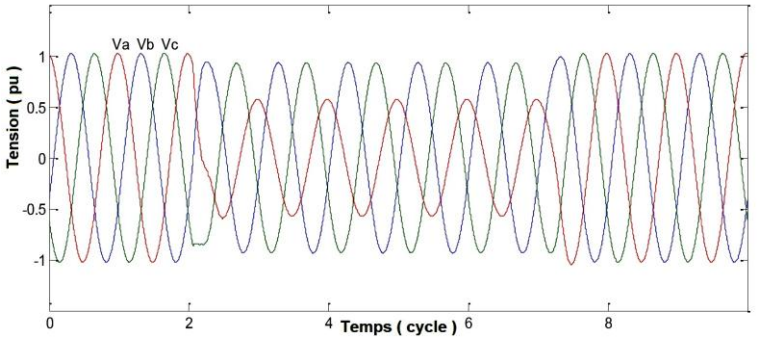


Fig. 9: Tensions dans la barre 3
(Creux de tension de type D)

2- Défaut biphasé

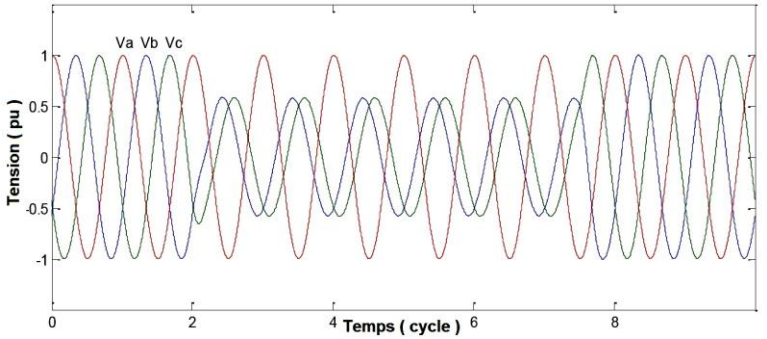


Fig. 10: Tensions dans la barre 1
(Creux de tension de type C)

Défaut phase-phase: Elle provoque le déplacement de deux phases, alors que la troisième phase ne change pas du tout, il s'agit des creux de tension de type C.

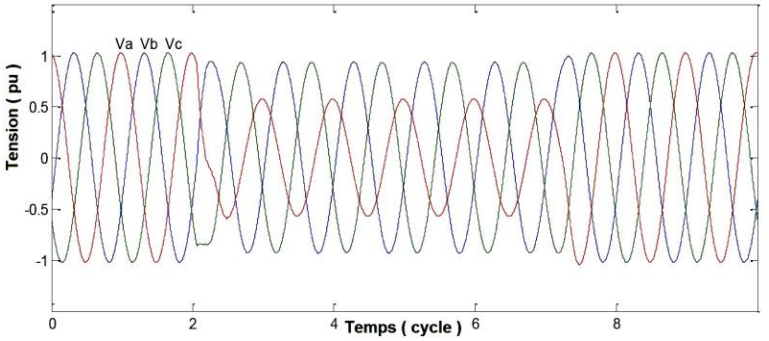


Fig. 11: Tensions dans la barre 2
(Creux de tension de type D)

Dans ce cas, les creux de tension de type D sont dus à la propagation des creux de tension de type C via les transformateurs (Fig. 11). Ils se caractérisent par une chute principale sur une des phases et de faibles chutes de tension et déphasages supplémentaires pour les deux autres phases.

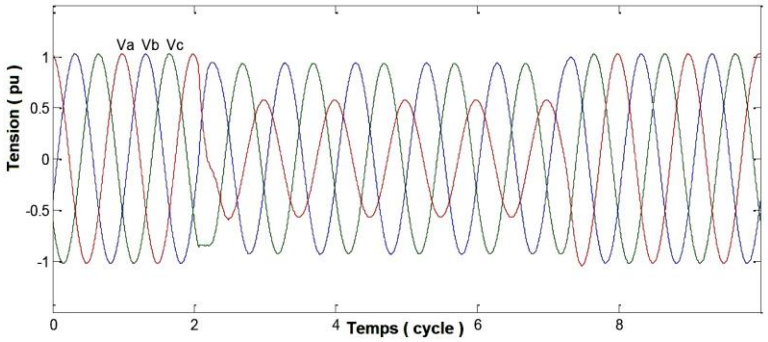


Fig. 12: Tensions dans la barre 3
(Creux de tension de type C)

Dans ce cas, les creux de tension de types C sont produits par la propagation des creux de tension de type D (Fig. 12) via les transformateurs.

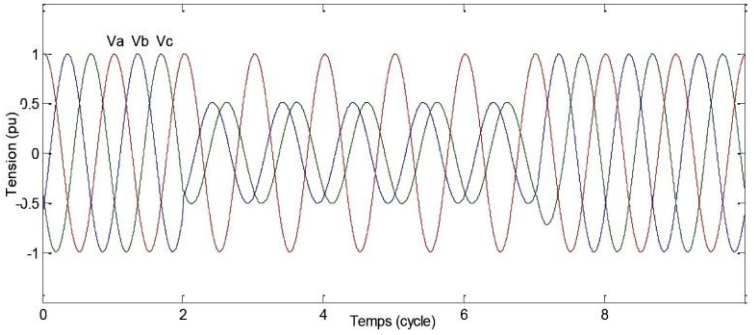


Fig. 13: Tensions dans la barre 1
(Creux de tension de type E*)*

Les creux de tension de type E sont dus à un défaut entre deux phases et la terre (Fig. 13). Ils se caractérisent par des chutes de tension sans déphasage sur deux des phases.

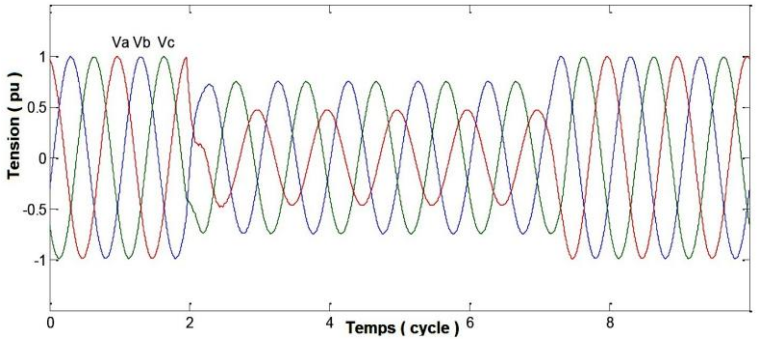


Fig. 14: Tensions dans la barre 2
(Creux de tension de type F)

Les creux de tension de type F sont dus à de la propagation des creux de type E via les transformateurs (Fig. 14). Ils se caractérisent par une chute de tension sur une des phases et de faibles chutes de tension avec déphasage pour les deux autres phases.

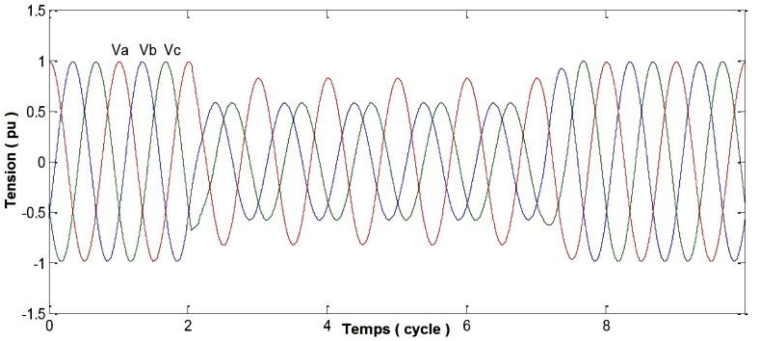


Fig. 15: Tensions dans la barre 3
(Creux de tension de type G)

Les creux de tension de type G sont dus à de la propagation d'un défaut biphasé et terre à travers deux transformateurs couplés en triangle/étoile (Fig. 15), présentent des chutes de tension avec déphasages supplémentaires pour deux des phases et une faible baisse de tension pour la troisième phase.

7. CONCLUSION

A cause des défauts qui se produisent dans notre réseau, des problèmes de la qualité d'énergie se produisent. Ces défauts engendrent des creux de tension qui se propagent dans le réseau électrique. Les résultats montrent que la classification peut effectivement classer les différents creux de tension. Sept types de creux sont définis qui correspondent à des courts-circuits possibles dans le réseau triphasé et à la propagation à travers les transformateurs. Le nombre de phases affectées, ainsi que la sévérité de ces creux de tension dépend du type de défaut et du couplage du transformateur.

REFERENCES

[1] G.T. Heydt, '*Electric Power Quality: A Tutorial Introduction*', IEEE Computer Applications in Power, Vol. 11, N°1, pp. 15 – 19, 1998.

[2] C.J. Melhorn and M.F. McGranaghan, '*Interpretation and Analysis of Power Quality Measurements*', IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 31, N°6, pp. 1363 - 1370, 1995.

[3] H.J. Bollen, Y.H Irene, '*Signal Processing of Power Quality Disturbances*', Wiley-Interscience, United State, 2006.

[4] Normes IEEE Standard 519-1992; '*IEEE recommended practices and requirements for Harmony Control in Electrical Power Systems*', pp. 15 – 99, 12 April 1993.

[5] M.H. Bollen, '*Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*', 672 p. Wiley-IEEE Press, 1999.

[6] C.D. Pham, '*Détection et Localisation de Défauts dans les Réseaux de Distribution HTA en Présence de Génération d'Energie Dispersée*', Thèse de Doctorat, INPG, 2005

[7] I. El Baaklini, '*Outils de simulation de propagation des creux de tension dans les réseaux industriels*', Thèse de Doctorat, INPG, 2001.

[8] L. Zhang, '*Three-Phase Unbalance of Voltage Dips*', Licentiate Thesis, Chalmers University of Technology, Dept Electric Power Engineering, Gothenburg, Sweden, November 1999.

[9] M.S. Kamarudin, S.A. Zulkifli, E.Sulaiman and N.H. Mokhtar, '*A Detailed Comparative Study of ABC and Symmetrical Component Classification for Fault Analysis*' The 2nd International Power Engineering and Optimization Conference, 'PEOCO'08', Shah Alam, Selangor, pp. 267 – 271, Malaysia, 4 - 5 June 2008.