

Analyse des conséquences du branchement des réceptrices basses tensions entre une phase d'un réseau 1 et le neutre d'un réseau 2.

Nzuru Nsekere J.P.^{1*}

Abstract

Analysis of the effect of low voltage loads connection between a phase of a network 1 and the neutral of a network 2

Published online:
27 March, 2015

This paper analyzes the consequences on the electric power quality, of the connection of the low voltage loads (called parasites) between a phase of a network 1 (with so-called normal loads) and the neutral of a network 2. This analysis is done by computing the load voltage as a function of the load (unloaded, resistive, inductive and capacitive loads) and the characteristics of the networks 1 and 2.

Keywords:

Electrical energy quality, low voltage network, grounding impedance, electrical voltage, power shortage, modeling, voltage collapse, normal load

Regarding normal loads, it appears that the supply of the parasitic load from one line phase A has very little effect on their operation. Indeed, the deterioration of the voltage that results does not exceed 2% of the nominal value. This presence could become troublesome for loads on the pirated phase upon prior imbalance of network 1, the total impedance grounded transformers low or short circuit across the parasitic load.

For the parasitic load, its operation is possible only below a critical value of the current determined by the voltage collapse and some system parameters. Its value is even greater, as the network is lightly loaded, pirate connection is made to the least loaded line phase, grounding impedances of the two transformers are low, the total parasite load has a significant reactive component.

¹ *Departement de Génie électrique et Informatique, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo*

* To whom correspondence should be address. Prof Dr Nzuru Nsekere JP, e-mail: jp.nzuru@unikin.ac.cd, nsekere@yahoo.fr

INTRODUCTION

Par ses multiples applications, l'énergie électrique est devenue incontournable dans la vie quotidienne de l'homme. Cette dernière doit présenter un certain nombre de caractéristiques en vue de son utilisation optimale : la fiabilité, la qualité et la sécurité.

Lors de la conception d'un réseau électrique, des dispositions doivent être prises pour que la continuité de la fourniture de l'énergie électrique soit le plus possible garantie. Des coupures intempestives causent des désagréments chez les consommateurs (toutes les activités électroménagères, les laboratoires et les usines sont à l'arrêt). La fiabilité du réseau doit donc être minutieusement étudiée.

Pour leurs bons fonctionnements, les récepteurs doivent recevoir une énergie électrique de bonne qualité. Le paramètre le plus important est la tension. Elle doit rester dans une plage acceptable. L'autre paramètre est la fréquence dont les variations entraînent, dans une certaine mesure, une instabilité de la tension. La fréquence doit rester constante car le bon fonctionnement d'un certain nombre de récepteurs en dépend (moteurs asynchrones, fours à microondes, allumage de feux,...)

Le réseau de distribution de la ville de Kinshasa connaît d'énormes problèmes dont la saturation de certains équipements alimentés. Ceci a, pour conséquence, le délestage volontaire de certaines charges par la Société Nationale d'Electricité (SNEL) [*Société Nationale d'Electricité, 2014*]. Le délestage occasionne plusieurs

abus de la part des abonnés, comme la connexion de certaines habitations délestées (réseau 2) à celles alimentées (réseau 1). Dans la quasi majorité des cas, ces connexions se font seulement avec le conducteur de phase sans le conducteur neutre.

Le comportement des réseaux électriques 1 et 2 est analysé par la détermination de la tension en fonction de la charge (à vide, charges résistive, inductive et capacitive) et des caractéristiques du réseau. L'approche théorique de cette étude a déjà été validée par des mesures réalisées dans les mêmes situations.

II. PRESENTATION DU RESEAU

La figure 1 donne une illustration de la situation de la connexion d'une charge délestée (réseau 2) à un réseau alimenté.

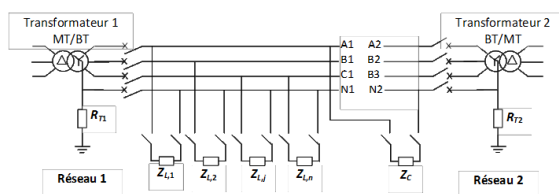


Figure 1 | Schéma électrique d'un branchement de récepteurs basse tension entre une phase d'un réseau A et le neutre d'un réseau B

Puisque le branchement des récepteurs entre la phase A_1 du transformateur 1 et le neutre N_2 du transformateur 2 n'a lieu que lorsque ce dernier est délesté (non alimenté), nous distinguons deux catégories de charges pour le transformateur 1 : la charge dite « normale » constituée des récepteurs d'impédance Z_{Lj} ($j = 1, 2, \dots$) et la charge dite « parasite » constituée des récepteurs d'impédance Z_{Ci} ($i = 1, 2, \dots$).

III.1. Hypothèses de travail

Pour des raisons de modélisation, nous supposons ce qui suit :

- * **Hypothèse 1 :** Le transformateur 2 n'est pas sous tension ;
- * **Hypothèse 2 :** L'abonné dont une des phases est connectée à la charge pirate ne dispose pas de dispositif différentiel à courant résiduel (DDR), auquel cas cette connexion amènerait ce dernier à ouvrir le circuit [Jacques Schonek, 2006] ;
- * **Hypothèse 3 :** Toutes les charges sont connectées en bout de ligne (les impédances des tronçons de canalisations entre les récepteurs sont négligées) ;
- * **Hypothèse 4 :** Les canalisations (câbles) des deux réseaux ont les mêmes caractéristiques électriques ;
- * **Hypothèse 5 :** Les transformateurs 1 et 2 possèdent les mêmes impédances en grandeurs physiques (R_{cu}, X_{cc}, \dots) ;

- * **Hypothèse 6 :** Toutes les charges sont à impédance constante ;
- * **Hypothèse 7 :** Les tensions au secondaire du transformateur 1 demeurent constantes ;
- * **Hypothèse 8 :** Tous les abonnés ont la même charge par phase.

III.2. Présentation du modèle

Partant des hypothèses énumérées au point III.1, le schéma de l'installation basse tension est présenté à la figure II.

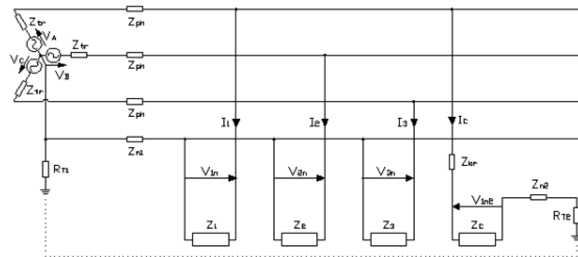


Figure 2 | Schéma de branchement à l'étude

Avec :

- $\bar{V}_A, \bar{V}_B, \bar{V}_C$: tensions induites dans les enroulements secondaires du transformateur 1 (mesurées par rapport au point neutre) ;
- \bar{Z}_{tr} : impédance longitudinale du transformateur 1 (rapportée au secondaire) augmentée de l'impédance de court-circuit du réseau 1 ;
- R_{T1}, R_{T2} : impédances de mise à la terre respectivement du transformateur 1 et du transformateur 2 ;
- \bar{Z}_{ph} : impédance du conducteur de phase ;
- $\bar{Z}_{n1}, \bar{Z}_{n2}$: impédances des conducteurs neutres respectivement des câbles 1 et 2 ;
- \bar{Z}_{br} : impédance équivalente des conducteurs de raccordement ;
- $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_3$: impédances équivalentes des charges branchées respectivement entre la phase A, la phase B, la phase C et le neutre 1 ;
- \bar{Z}_C : impédance équivalente des charges parasites connectées (en parallèle) entre la phase A du réseau 1 et le neutre du réseau 2 ;
- $\bar{V}_{1n}, \bar{V}_{2n}, \bar{V}_{3n}, \bar{V}_{1n2}$: tensions aux bornes des charges équivalentes d'impédances respectives $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_3, \bar{Z}_C$.

Pour l'analyse de ce réseau, deux approches sont possibles : celle des composantes symétriques et la loi des tensions de Kirchhoff.

Puisqu'il s'agira d'établir les courbes des tensions $\bar{V}_{1n}, \bar{V}_{2n}, \bar{V}_{3n}, \bar{V}_{1n2}$ en fonction du courant \bar{I}_C de la charge

parasite, la loi des tensions de Kirchhoff s'avère être la plus appropriée dans notre cas.

L'application de la loi des tensions de Kirchhoff aux quatre mailles principales conduit à la relation matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} \bar{Z}_{S1} & \bar{Z}_{n1} & \bar{Z}_{n1} & \bar{Z}_{ph} + \bar{Z}_{tr} \\ \bar{Z}_{n1} & \bar{Z}_{S2} & \bar{Z}_{n1} & 0 \\ \bar{Z}_{n1} & \bar{Z}_{n1} & \bar{Z}_{S3} & 0 \\ \bar{Z}_{ph} + \bar{Z}_{tr} & 0 & 0 & \bar{Z}_R + \bar{Z}_C \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_A \\ \bar{V}_B \\ \bar{V}_C \\ \bar{V}_A \end{bmatrix} \quad (1)$$

soit en écriture condensée :

$$[Z] \cdot [I] = [V]$$

D'où, :

$$[I] = [Z]^{-1} \cdot [V] \quad (2)$$

Avec

$$\bar{Z}_{Si} = \bar{Z}_{tr} + \bar{Z}_{ph} + \bar{Z}_i + \bar{Z}_{n1} \quad i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

$$\bar{Z}_R = \bar{Z}_{tr} + \bar{Z}_{ph} + \bar{Z}_{br} + \bar{Z}_{n2} + R_{T1} + R_{T2} \quad (4)$$

Partant de la figure II et de la relation (2), il découle que la tension aux bornes des charges équivalentes vaut :

$$\bar{V}_{1n} = \bar{Z}_1 \cdot \bar{I}_1(\bar{Z}_C) \quad (5.a)$$

$$\bar{V}_{2n} = \bar{Z}_2 \cdot \bar{I}_2(\bar{Z}_C) \quad (5.b)$$

$$\bar{V}_{3n} = \bar{Z}_3 \cdot \bar{I}_3(\bar{Z}_C) \quad (5.c)$$

$$\bar{V}_{1n2} = \bar{Z}_C \cdot \bar{I}_C(\bar{Z}_C) \quad (5.d)$$

Soit $\bar{Z}_{tr} = \bar{Z}_{res} + \bar{Z}_{tfo}$, avec \bar{Z}_{res} et \bar{Z}_{tfo} respectivement l'impédance de court-circuit du réseau et l'impédance longitudinale du transformateur 1 (vue du secondaire).

Sur base des indications données par France Transfo (1996) pour les transformateurs 20/0.4 kV, nous avons

$$\bar{Z}_{tfo} = 0.0026 + j0.0399\Omega. \quad (6)$$

Considérant les transformateurs des cabines « Résidentiel 3 » et « Place commerciale » du réseau de distribution basse tension de la ville de Kinshasa (cabines ayant fait l'objet des mesures antérieures) comme étant respectivement le transformateur 1 et le transformateur 2, et supposant que les charges équivalentes sont toutes situées à environ 400 m de leurs cabines respectives, il s'ensuit que :

$$\bar{Z}_{res} = 10.237 + j67.473\Omega \quad (7)$$

$$\bar{Z}_{ph} = 0.212 + j0.032\Omega \quad (8)$$

$$\bar{Z}_{n1} = Z_{n2} = 0.276 + j0.032\Omega \quad (9)$$

$$R_{T1} = 1\Omega \quad (10)$$

$$R_{T2} = 8.4\Omega \quad (11)$$

Quant à l'impédance \bar{Z}_{Li} relative à la charge par phase d'un abonné normal i , nous admettons la valeur de

$$\bar{Z}_{Li} = 59.125 + j12.001\Omega, \quad (12)$$

Ce qui correspond à une charge moyenne de 0.877 kVA par phase, soit 2.631 kVA par abonnée sous la tension nominale = 400V.

N étant le nombre total moyen d'abonnés du réseau 1, on peut écrire :

$$\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = \frac{\bar{Z}_{Li}}{N} \quad (13)$$

Pour l'impédance \bar{Z}_C qui est le paramètre, écrivons $\bar{Z}_C = Z_C \cdot e^{j\varphi_c}$, et prenons initialement $\cos\varphi_c = 0.9$.

Nous supposons dans un premier temps que $Z_{br} = 0\Omega$, c'est-à-dire que les impédances des conducteurs reliant le(s) récepteur(s) parasite(s) et le(s) point(s) de raccordement sont négligeables (figure II).

Quant aux tensions induites au secondaire du transformateur 1, nous considérons

$$\bar{V}_A = 253.8 \cdot e^{j\cdot 0}V, \quad (14)$$

$$\bar{V}_B = 253.8 \cdot e^{-j\cdot 120}V \quad (15)$$

$$\bar{V}_C = 253.8 \cdot e^{+j\cdot 120}V, \quad (16)$$

de manière à avoir $V_{1n} = V_{2n} = V_{3n} \cong 230V$ lorsque $Z_C \rightarrow \infty$ et $N = 25$.

IV. APPLICATIONS

Les calculs de la tension aux bornes des charges se feront à l'aide des relations 5 (a-d) en fonction des cas suivants : régime équilibré, nombre d'abonnés variable, régime déséquilibré du réseau 1, différentes valeurs des résistances de mise à la terre des neutres des réseaux 1 et 2, facteur de puissance de la charge parasite.

IV.1. Régime équilibré

IV.1.1. Résultats de calculs

Nous considérons le nombre de consommateurs normaux N constant sur chacune des phases et égal à 25 initialement. Les différentes tensions et chutes de tension calculées sont représentées dans les figures III et IV.

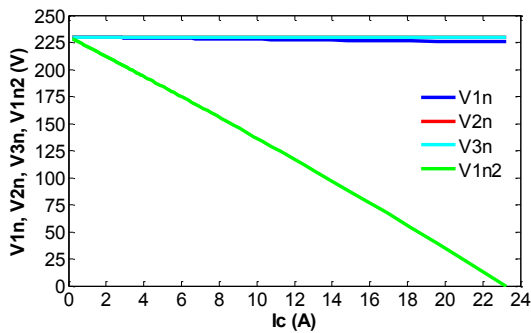


Figure III | Tensions V_{1n} , V_{2n} , V_{3n} et V_{1n2} en fonction de I_c avec $N = 25$

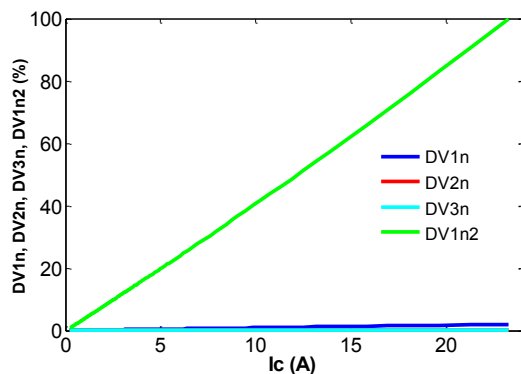


Figure IV | Chutes de tension ΔV_{1n} , ΔV_{2n} , ΔV_{3n} et ΔV_{1n2} en fonction de I_c avec $N = 25$

IV.1.2. Discussion des résultats de calculs

Charges normales:

En l'absence de récepteurs parasites ($I_c = 0$), les tensions aux bornes des charges normales valent à peu près 230 V.

Lorsque la charge parasite varie, de la marche à vide au régime de court-circuit, les chutes de tension ΔV_{1n} , ΔV_{2n} , ΔV_{3n} n'excèdent pas 2% (tableau 1).

Tableau 1 : Tensions dans le cas d'un court-circuit aux bornes de la charge parasite ($Z_c \rightarrow 0$)

	Volts	ΔV [%]
V_{1n}	227.20	1.84
V_{2n}	231.18	0.12
V_{3n}	231.34	0.05
V_{1n2}	0	100

Cependant, puisque le circuit parasite dispose d'au moins une protection (disjoncteur ou fusible) commune avec certains récepteurs normaux de la phase piratée, son intensité de court-circuit ($V_{1n2} = 0$ V et $I_c = 23.26$ A) pourrait entraîner un déclenchement par surcharge.

Partant de la norme de chute de tension maximale admissible de 5% [Nzuru Nsekere J.P., 2013], il en découle qu'à l'exception du risque de déclenchement sur les phases alimentant les récepteurs parasites, la présence de ceux-ci ne gêne en rien le bon fonctionnement des récepteurs normaux.

Charge parasite :

Tant que le courant parasite reste inférieure à une certaine valeur critique (I_{cr}), correspondant à $\Delta V_{1n2} = 5\%$, soit 1.278 A dans notre cas, la chute de tension aux bornes des charges parasites demeure acceptable. Ceci permet alors un fonctionnement normal des récepteurs parasites. Ce courant critique correspond à une puissance d'à peine 279 VA.

Au-delà de ce courant de charge, la chute de tension devient alors excessive, et donc gênante pour le bon fonctionnement des récepteurs parasites.

Remarquons, par ailleurs, que pour $Z_c = Z_L = 60.332 \Omega$, on a $V_{1n2} = 208.3$ V, soit $\Delta V_{1n2} = 10\%$. Cela veut dire que si les consommateurs parasites venaient à brancher l'équivalent du tiers de la charge normale d'un seul abonné normal, la tension serait telle que plusieurs de leurs récepteurs pourraient être endommagés. En effet, cette situation peut entraîner le calage suivi du grillage des moteurs à induction contenus dans certains récepteurs (réfrigérateurs, pompes, etc.).

IV.2. Nombre de consommateurs normaux N_i variable

IV.2.1. Résultats des calculs

En considérant que $N = 25$ correspond à la charge moyenne du système, et en supposant que la tension à la source n'est pas ajustée de manière à obtenir la tension nominale aux bornes des récepteurs, les résultats obtenus dans ces conditions sont donnés par les figures V, VI, VII et VIII.

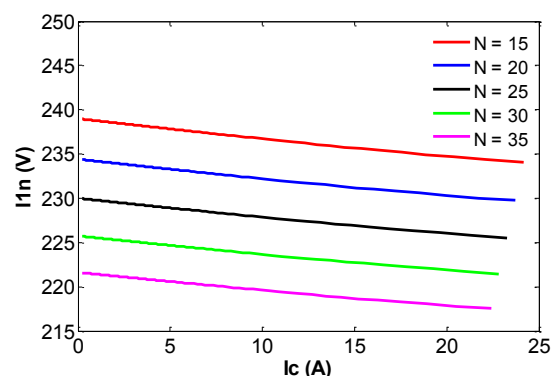
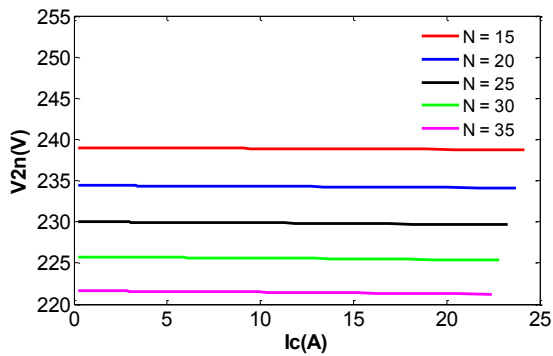
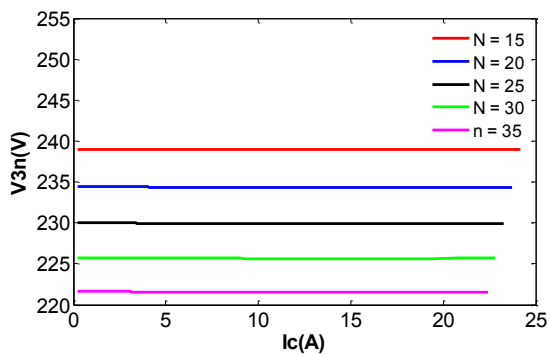
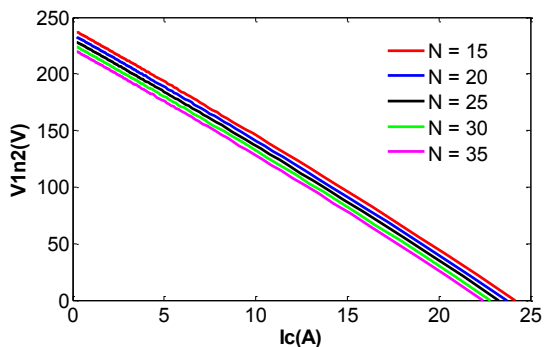


Figure V | Tension V_{1n} en fonction de I_c avec N variable

Figure VI | Tension V_{2n} en fonction de I_c avec N variableFigure VII | Tension V_{3n} en fonction de I_c avec N variableFigure VIII | Tension V_{1n2} en fonction de I_c avec N variable

IV.2.2. Discussion des résultats de calculs

Charges normales :

L'analyse des courbes des figures V, VI, VII et VIII ci-dessus montre que lorsque la charge normale vient à varier de manière équilibrée, les nouvelles courbes obtenues sont quasiment issues de la translation verticale de celle de départ ($N=25$). Sauf en cas d'une charge normale élevée, l'influence de la charge parasite sur les tensions V_{1n} , V_{2n} et V_{3n} n'est que très négligeable. En effet, comme l'indique les tableaux 1, 2 et 3, la différence maximale des chutes de tension est mesurée sur V_{1n} entre $N=15$ et $N=35$, et vaut $\Delta(\Delta V_{1n}) = 4.7 \text{ V} - 3.9 \text{ V} = 0.8 \text{ V}$, soit à peine 0.12% de la tension nominale.

Charge parasite :

Pour ce qui est de la tension parasite V_{1n2} , on constate que les différentes courbes résultent d'une translation oblique de la courbe de départ ($N=25$). Cette translation étant oblique, il en découle donc un déplacement du courant critique (I_{cr}). Ainsi, moins le réseau est chargé, plus grande pourra être la charge parasite admissible et inversement. La charge parasite admissible varie alors entre 75,9 VA (pour $N=35$) et 492,6 VA (pour $N=15$).

Les tableaux 1, 2 et 3 donnent une synthèse de l'analyse des courbes des figures V, VI, VII et VIII ci-dessus.

Tableau 1 : Tension V_{1n} (phase A) dans le cas où ($Z_c \rightarrow 0$)

Nombre d'abonnés (N)	V_{1n} (Volts) pour $Z_c \rightarrow \infty$	V_{1n} (Volts) pour $Z_c \rightarrow 0$	ΔV_{1n} (Volts)	ΔV_{1n} (%)
15	234.9	239.6	4.7	1.96
20	231.0	235.5	4.5	1.91
25	227.2	231.5	4.3	1.86
30	223.5	227.6	4.1	1.80
35	219.9	223.8	3.9	1.74

Tableau 2 : Tension V_{2n} (phase B) dans le cas où ($Z_c \rightarrow 0$)

Nombre d'abonnés (N)	V_{2n} (Volts) pour $Z_c \rightarrow \infty$	V_{2n} (Volts) pour $Z_c \rightarrow 0$	ΔV_{2n} (Volts)	ΔV_{2n} (%)
15	239.4	239.6	0.2	0.084
20	235.2	235.5	0.3	0.127
25	231.2	231.5	0.3	0.130
30	227.3	227.6	0.3	0.132
35	223.5	223.8	0.3	0.134

Tableau 3 : Tension V_{3n} (phase B) dans le cas où ($Z_c \rightarrow 0$)

Nombre d'abonnés (N)	V_{3n} (Volts) pour $Z_c \rightarrow \infty$	V_{3n} (Volts) pour $Z_c \rightarrow 0$	ΔV_{3n} (Volts)	ΔV_{3n} (%)
15	239.5	239.6	0.1	0.042
20	235.4	235.5	0.1	0.043
25	231.3	231.5	0.2	0.086
30	227.4	227.6	0.2	0.088
35	223.7	223.8	0.1	0.045

IV.3. Régime déséquilibré

IV.3.1. Résultats des calculs

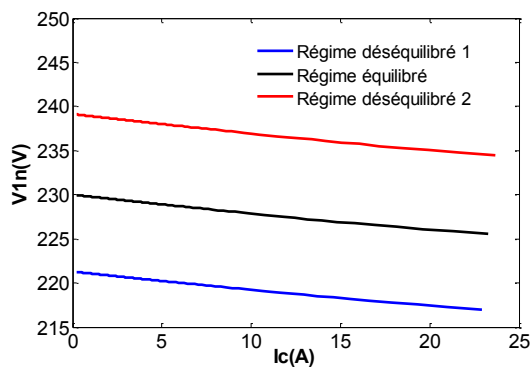
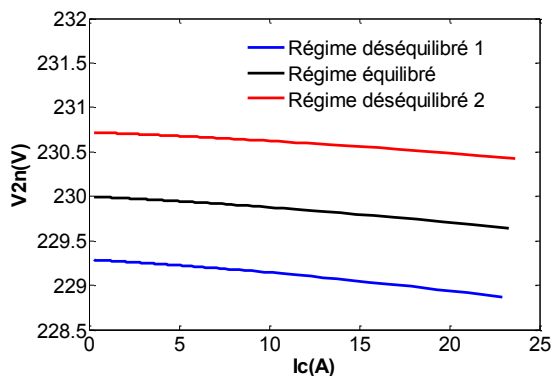
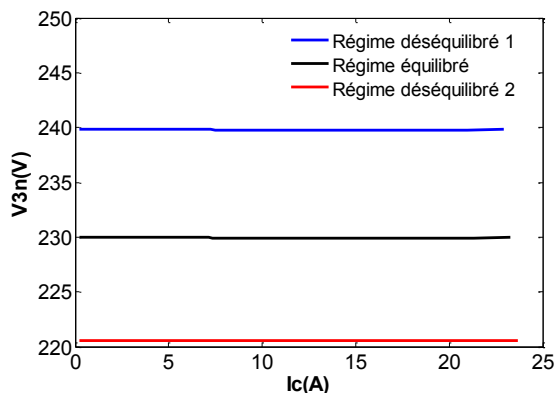
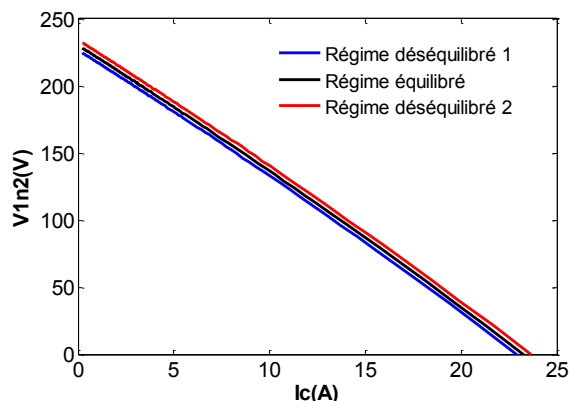
Pour l'étude du régime déséquilibré, nous considérons les cas suivants :

Régime déséquilibré 1 : $N_1 = 30$, $N_2 = 25$ et $N_3 = 20$;

Régime déséquilibré 2 : $N_1 = 20$, $N_2 = 25$ et $N_3 = 30$;

Régime équilibré : $N_1 = N_2 = N_3 = 25$.

Les résultats obtenus sont donnés par les figures IX, X, XI et XII ci-dessus.

Figure IX | Tension V_{1n} en fonction de I_c Figure X | Tension V_{2n} en fonction de I_c Figure XI | Tension V_{3n} en fonction de I_c Figure XII | Tension V_{1n2} en fonction de I_c

IV.3.2. Discussion des résultats des calculs

Les courbes des figures IX à XII mènent aux tableaux 4, 5 et 6.

Tableau 4 : Analyse de la tension pour la phase A

	$Z_c \rightarrow 0$	$Z_c \rightarrow \infty$	ΔV	$\Delta V[\%]$
Équilibré ($N=25$)	231.4	227.2	4.2	1.82
Déséquilibré 1 ^{er} cas	222.8	218.8	4	1.80
Déséquilibré 2 ^{ème} cas	240.4	236	4.4	1.83

Tableau 5 : Analyse de la tension pour la phase B

	$Z_c \rightarrow 0$	$Z_c \rightarrow \infty$	ΔV	$\Delta V[\%]$
Équilibré ($N=25$)	231.4	231.2	0.2	0.09
Déséquilibré 1 ^{er} cas	192.5	192.2	0.3	0.16
Déséquilibré 2 ^{ème} cas	289.9	289.7	0.2	0.07

Tableau 6 : Analyse de la tension pour la phase C

	$Z_c \rightarrow 0$	$Z_c \rightarrow \infty$	ΔV	$\Delta V[\%]$
Équilibré ($N=25$)	231.4	231.3	0.1	0.09
Déséquilibré 1 ^{er} cas	160.6	160.5	0.1	0.06
Déséquilibré 2 ^{ème} cas	333.6	333.5	0.1	0.03

L'analyse des courbes et des tableaux montre qu'une fois encore l'état de déséquilibre n'est pas plus prononcé en fonction de la charge parasite. En effet, les courbes sont une fois encore issues d'un glissement de celles de départ (régime équilibré).

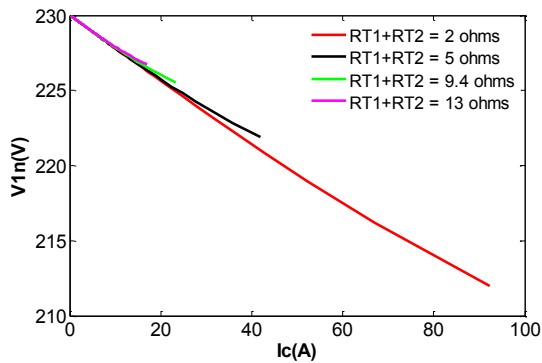
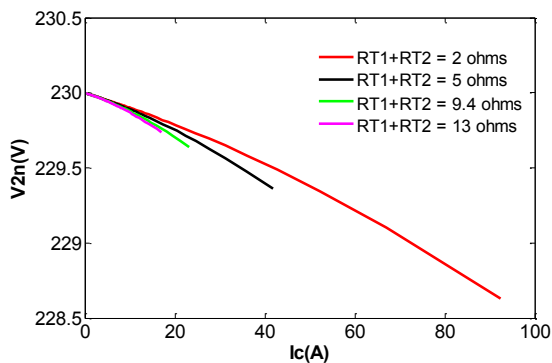
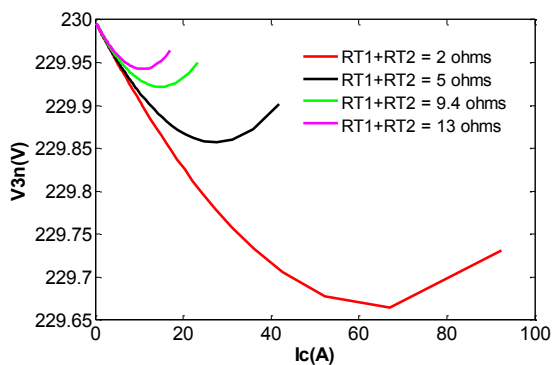
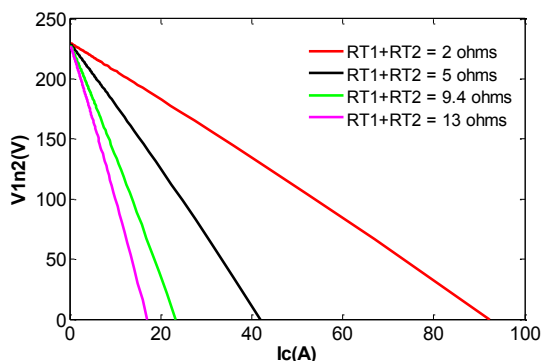
Cependant, tout déséquilibre tendant à augmenter la tension de la phase V_{1n} permet un accroissement du courant critique I_{cr} entraînant alors la possibilité de connecter davantage de récepteurs parasites et inversement.

IV.4. Influence des résistances de mise à la terre et du conducteur de raccordement

IV.4.1. Résultats des calculs

Afin d'analyser l'influence des deux résistances de mise à la terre, nous posons $R_T = R_{T1} + R_{T2}$ dans l'impédance \bar{Z}_R de la relation (3).

En donnant successivement à R_T les valeurs de 2, 5, 9.4 et 13 Ohms, les tensions aux bornes de chaque circuit évoluent comme indiqué sur les figures XIII, XIV, XV et XVI.

Figure XIII | Tension V_{1n} en fonction de I_c avec R_T variableFigure XIV | Tension V_{2n} en fonction de I_c avec R_T variableFigure XV | Tension V_{3n} en fonction de I_c avec R_T variableFigure XVI | Tension V_{1n2} en fonction de I_c avec R_T variable

L'analyse des courbes des figures XIII à XVI révèle ce qui suit :

Charges normales :

- Sur la tension V_{1n} : meilleure est la mise à la terre des 2 transformateurs (R_T faible) plus large sera la plage de variation de V_{1n} avec le courant parasite I_c , cette tension pouvant devenir inférieure à la tension critique de $0.95 \times V_{nom}$. En cas de court-circuit aux bornes de la charge parasite, la fréquence de déclenchement par surcharge est d'autant plus grande que la mise à la terre est de bonne qualité.
- Sur les tensions V_{2n} et V_{3n} : l'influence de la qualité de la mise à la terre sur ces deux tensions est négligeable puisque la chute de tension maximale rencontrée n'excède pas 0.6% dans les deux cas.

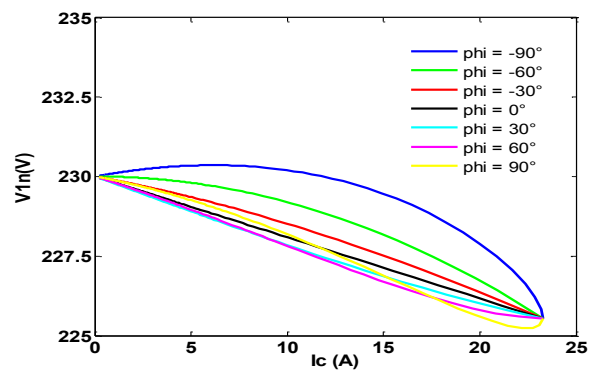
Charge parasite :

On constate que la variation de la tension V_{1n2} avec la charge parasite I_c est d'autant plus lente que la résistance de mise à la terre est faible et inversement. Ceci s'explique aisément avec la loi de diviseur de tension appliquée entre Z_C et R_T qui sont en série. Il s'ensuit alors que la charge parasite admissible fonction de I_{cr} est d'autant plus grande que les impédances de mise à la terre sont faibles. Celle-ci peut atteindre alors 1.1 kVA pour une résistance totale $R_T = 2\Omega$.

En ce qui concerne l'influence des impédances de mise à la terre R_{T1} et R_{T2} , il découle que le choix du conducteur de raccordement devra être fait de manière à minimiser son impédance Z_{br} . Puisque la résistance est la composante prépondérante des canalisations basse tension, les conducteurs à forte section seront donc préférés.

IV.5. Influence du facteur de puissance de la charge parasite

IV.5.1. Résultats des calculs

Figure XVII | Tension V_{1n} en fonction de I_c avec $\cos\phi_c$ variable

IV.4.2. Discussion des résultats des calculs

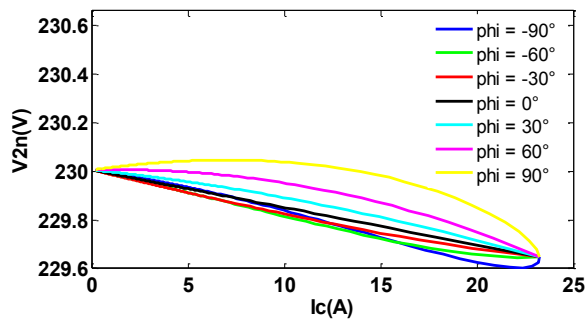


Figure XVIII | Tension V_{2n} en fonction de I_c avec $\cos\phi_c$ variable

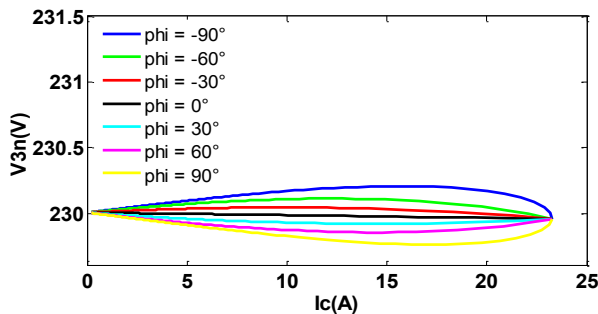


Figure XIX | Tension V_{3n} en fonction de I_c avec $\cos\phi_c$ variable

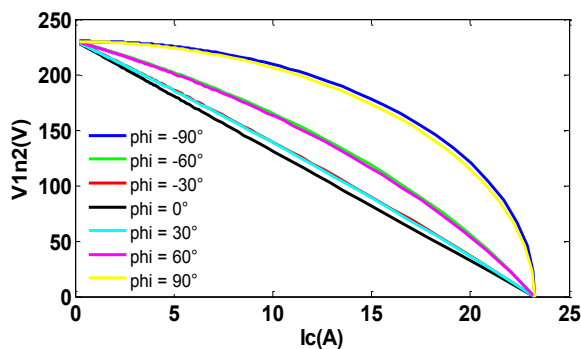


Figure XX | Tension V_{1n2} en fonction de I_c avec $\cos\phi_c$ variable

IV.5.2. Discussion des résultats des calculs

Concernant l'impact lié à la nature de la charge parasite, l'analyse suivante peut être faite :

Charges normales :

- Sur la tension V_{1n} (figure XVII) : on remarque que la dégradation de l'amplitude de cette tension est d'autant plus lente que l'impédance de la charge est capacitive ($\sin\phi_c < 0$). Cependant, la différence n'est que très faible lorsqu'il s'agit de charges inductives de facteurs de puissance différents. Dans tous les cas, le minimum atteint par la tension V_{1n} demeure bien au-delà de la valeur critique de 218.5V pour un réseau 230/400V (5% de chute de tension).
- Sur les tensions V_{2n} et V_{3n} (figures XVIII et XIX) : bien que la connexion de charges capacitatives ou fortement inductives peut entraîner une légère élévation de l'une ou l'autre de ces deux tensions, toutes les variations

qu'elles connaissent demeurent cependant négligeables.

Charge parasite :

- Sur la tension V_{1n2} (figure XX) : il apparaît ici que plus la charge à une composante réactive prépondérante (X/R élevée), plus grand est le courant critique I_{cr} et plus lente est la décroissance de la tension V_{1n2} . Il en découle donc que plus les récepteurs seront réactifs, inductifs ou capacitifs, plus grande sera la puissance apparente disponible jusqu'à atteindre sa valeur critique associée à I_{cr} .

V. CONCLUSION GENERALE

La pratique consistant à alimenter des récepteurs monophasés au moyen d'une phase et d'un neutre issus de transformateurs différents est d'usage assez courant dans la ville de Kinshasa. L'analyse de son impact a été effectuée aussi bien pour les charges, dites normales, connectées au réseau alimenté 1, que pour celles dites parasites, connectées entre une phase du réseau 1 alimenté et le neutre du réseau 2 délesté.

Concernant l'impact sur les charges normales, il a été établi que l'alimentation de la charge parasite au départ de l'une des phases de son réseau propre n'a, en temps normal, qu'un effet très négligeable sur leur bon fonctionnement. En effet, la dégradation de la tension qui en découle n'excède pas les 2% de la valeur nominale. Cependant, cette présence pourrait devenir gênante pour les charges sur la phase piratée en cas de déséquilibre préalable de l'installation saine, d'impédance totale des mises à la terre des transformateurs faible, ou de court-circuit aux bornes de la charge parasite. En effet, si les deux premières situations peuvent entraîner une chute de tension phase-neutre supérieure ou égale à 5% sur le réseau 1, les deux dernières peuvent quant à elles amener à des déclenchements thermiques, voir magnétiques, de la protection située juste en amont de la connexion pirate. D'où, un risque d'interruption de service pour certains clients normaux. L'installation de DDR en amont des connexions pirates est un moyen très efficace de prévenir ces désagréments.

Pour ce qui est de la charge parasite, son bon fonctionnement n'est possible qu'en deçà d'une valeur critique de son courant, déterminée en fonction de la chute de tension admissible. La valeur de ce courant critique est pratiquement dépendante de certains paramètres de l'installation.

Sa valeur est d'autant plus grande, et donc la puissance apparente parasite admissible, que :

- Le réseau est globalement faiblement chargé ;
- La connexion pirate est faite sur la phase la moins chargée ;
- Les impédances de mise à la terre des deux transformateurs sont faibles ;

- La charge parasite totale a une composante réactive importante.

RESUME

Cet article analyse les conséquences, sur la qualité de l'énergie électrique, du branchement des récepteurs basse tension (dites parasites) entre une phase d'un réseau 1 (avec des charges dites normales) et le neutre d'un réseau 2. Cette analyse se fait par le calcul de la tension aux bornes des charges en fonction de ces dernières (à vide, charges résistive, inductive et capacitive) et des caractéristiques des réseaux électriques 1 et 2.

Concernant les charges normales, il ressort que l'alimentation de la charge parasite au départ de l'une des phases du réseau 1 n'a qu'un effet très négligeable sur leur bon fonctionnement. En effet, la dégradation de la tension qui en découle n'excède pas 2% de la valeur nominale. Cette présence pourrait devenir gênante pour les charges sur la phase piratée en cas de déséquilibre préalable du réseau 1, d'impédance totale des mises à la terre des transformateurs faible, ou de court-circuit aux bornes de la charge parasite.

Pour la charge parasite, son bon fonctionnement n'est possible qu'en deçà d'une valeur critique de son courant, déterminée en fonction de la chute de tension admissible et de certains paramètres de l'installation. Sa valeur est d'autant plus grande, que le réseau est faiblement chargé, la connexion pirate est faite sur la phase la moins chargée, les impédances de mise à la terre des deux transformateurs sont faibles et la charge parasite totale a une composante réactive importante.

Mots-clés : *Qualité de l'énergie électrique, réseau basse tension, impédance de mise à la terre, tension électrique, délestage, modélisation, chute de tension, charge normale, charge parasite.*

VI. REFERENCES

- Christophe Prévé**(2006). "Protection of Electrical Networks", Edition ISTE, London, 2006.
- France Transfo** (1996). "Transformateur de distribution HTA/BT", édition France Transfo – SA, 1996.
- Jacques Schonek**.(2006). "Les dispositifs différentiels résiduels en basse tension", Cahier Technique Schneider Electric n°114, édition 2006.
- Lacroix B.**et Calvas R. (1998). "Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions", CT173, B Schneider Electric, 1998.
- Lacroix B.**et Calvas R. (2004) "Les schémas de liaisons à la terre en BT (régimes de neutre)", CT172, B Schneider Electric, 2004.
- Nzuru Nsekere J.P.**(2013). "Installations Electriques", cours, Université de Kinshasa, Faculté Polytechnique, 2013.
- Venanzi L.**(2000) "Règlement Général sur les installations électriques", Edition de la Chambre de Commerce et de l'Industrie SA, Liège, 2000.
- Société Nationale d'Electricité** (2014). "Réponses du Directeur Général de la Société Nationale d'Electricité aux préoccupations soulevées par les honorables députés nationaux suite à la question orale avec débat posée par l'honorable Clément Kanku Bukasa", Kinshasa, octobre 2014, http://www.snel.cd/dl/Reponses_DG_Parlement.pdf