

## Creux de Tension et Coupures Brèves

### **I- Origine et conséquences**

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 (voir figure 1.a). Les courts-circuits peuvent affecter une, deux ou trois des phases et peuvent engendrer des déphasages supplémentaires entre elles.

Les moteurs de forte puissance (asynchrones essentiellement) peuvent également être à l'origine des creux de tension. En général, le courant des moteurs atteint au moment de leur démarrage 5 à 6 fois le courant nominal et diminue progressivement lorsque la machine se rapproche de sa vitesse nominale. Cette surintensité produit une chute de tension qui décroît avec la diminution du courant (voir figure 1.b). Les creux de tensions engendrés par le démarrage des moteurs de forte puissance durent entre quelques secondes et quelques dizaines de seconde et se caractérisent par des chutes de tension sur les trois phases.

Enfin, les creux de tension peuvent également être engendrés par la saturation des transformateurs ou des modifications dans la structure du réseau. Cependant, ces perturbations provoquent rarement des chutes de tension importantes.

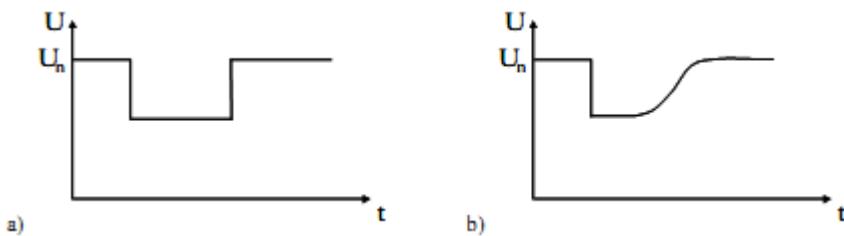


Figure 1. Amplitude d'un creux de tension provoqué par a) un court-circuit b) le démarrage d'un moteur de forte puissance.

Les creux de tension sont les perturbations électriques les plus pénalisantes du fait de leur fréquence et de la sensibilité de nombre d'appareillages présents dans les réseaux industriels. Il faut néanmoins souligner que les coupures brèves peuvent avoir des conséquences plus graves (à la reprise), mais sont bien moins fréquentes.

### **II-Représentation dans le plan complexe.**

Les creux de tension triphasés sont souvent analysés dans le plan complexe, où les trois grandeurs sont représentées sous forme des vecteurs caractérisés par leur amplitude et leur phase, appelés également phaseurs. La relation entre les phaseurs dans le plan complexe est appelée signature ou

type du creux de tension. Par exemple, le creux de tension de figure 2.a se caractérise par la signature présentée en figure 2.b.

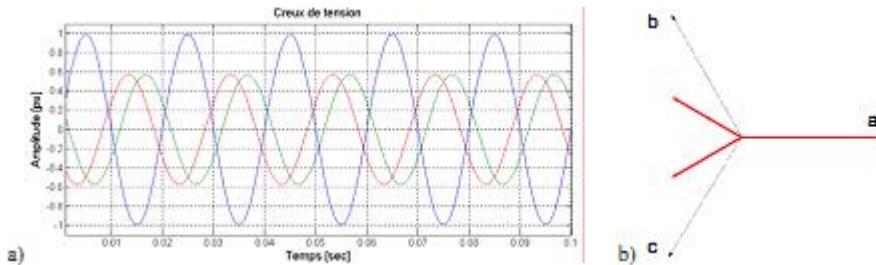


Figure 2. Creux de tension (a) et sa signature dans le plan complexe (b).

### III- Propagation

#### III-1 Propagation en amont et en aval du réseau

Les creux de tension se propagent en amont et en aval du réseau, et leur sévérité dépend de l'endroit de mesure du creux de tension par rapport à l'événement qui l'a engendré. La propagation des creux de tension en amont dépend de deux paramètres: la puissance de court-circuit et la distance entre l'endroit de défaut et l'endroit de mesure. Plus la puissance de court-circuit ( $S_{cc} = 3V_n I_{cc}$ ) est élevée et le défaut éloigné, plus le creux de tension est atténué. Pour mieux illustrer la propagation des creux de tension, l'exemple d'un diviseur de tension monophasé affecté par un court-circuit franc au point D est présenté en figure 3.

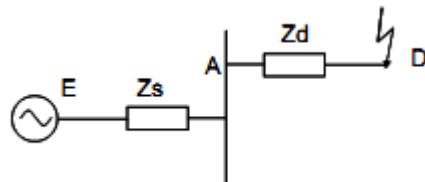


Figure 3. Diviseur de tension pour l'étude de la propagation des creux de tension.

La tension à l'endroit du défaut D est nulle, puisque le court circuit est franc. La tension à l'endroit de mesure A est donnée par :

$$V_A = \frac{Z_d}{Z_s + Z_d} E$$

$E$  : tension source.

$Z_d$  : impédance de la ligne

$Z_s$  : impédance de la source

Si la distance électrique entre l'endroit de défaut et le point de mesure A est importante, l'impédance de ligne  $Z_d$  se caractérise par une valeur importante. En conséquence, l'amplitude de la tension  $V_A$  est proche à celle de la source E, c'est à dire que le creux de tension mesuré au point A est atténué par rapport au creux de tension mesuré au point D.

Si la puissance de court-circuit au niveau de la source est importante, l'impédance de la source  $Z_s$  est faible. En conséquence, la tension  $V_A$  est poche de la tension de la source et le creux de tension à l'endroit de la mesure se caractérise par une profondeur moins importante que le creux de tension à l'endroit de défaut.

Le diviseur de tension de figure 3 montre que les creux de tension sont atténus lorsqu'ils se propagent en amont dans le réseau. En revanche, les creux de tension se propagent en aval sans s'atténuer. En effet, si on reprend l'exemple de figure 3 en supposant que le court-circuit franc est produit avant le point de mesure A, la tension à l'endroit de mesure est nulle et par conséquent, le potentiel du point aval D est également nul.

### III-2 Propagation via les transformateurs

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 4 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**.

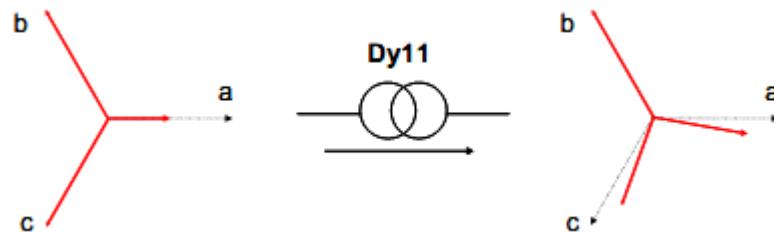


Figure 4 Modification du type de creux de tension via un transformateur Dy11.

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 :

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

Les tensions du côté secondaire en pu sont égales aux tensions du côté primaire en pu. Dans cette catégorie on ne distingue qu'un seul transformateur de type  $Y_ny_n$ .

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 :

$$v_{abc} = kT v_{ABC}$$

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, YNy, Yyn. Leur matrice de transformation est définie par :

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

- 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 Dy, Yz, Yd. La matrice de transformation correspondante est la suivante :

$$T_2 = \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

**Remarque :** 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.

#### IV- Paramètres déterminant les types de creux de tension

##### IV-1 Types de courts-circuits

Les courts-circuits sont la cause principale des creux de tension. Si on excepte les différentes variantes de courts-circuits entre phases et neutre, on distingue alors quatre types de courts-circuits (figure 5): monophasés, biphasés entre phase et terre, biphasés entre deux phases et triphasés.

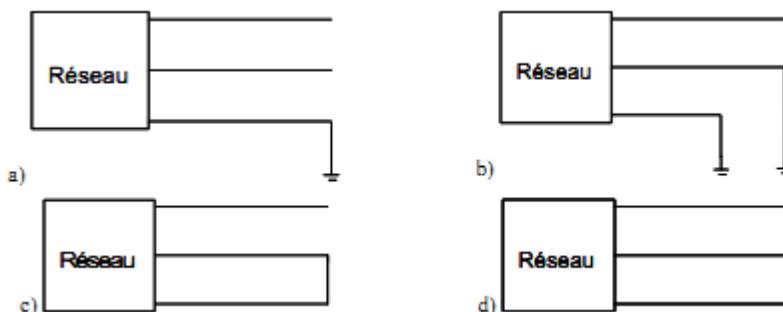


Figure 5. Types de courts-circuits : monophasé (a), biphasé entre phase et terre (b), biphasé entre deux phases (c) et triphasé (d)

Les courts-circuits monophasés représentent 70% des courts-circuits et sont donc les plus fréquents. Ils se caractérisent par une chute de tension sur une des trois phases à l'endroit du court-circuit. En fonction du régime de neutre, les deux autres phases restent les mêmes ou se caractérisent par des surtensions avec déphasages.

Les creux de tension biphasés entre deux phases viennent en seconde position puisqu'ils représentent 15% des courts-circuits. Ils se caractérisent par des chutes de tensions et déphasages

pour deux des phases à l'endroit du défaut. La phase non affectée par le défaut reste la même qu'avant le défaut.

Les creux de tension biphasés entre phase et terre représentent 10% des courts-circuits. Ils sont à l'origine des chutes de tension sur deux phases à l'endroit du court-circuit avec ou sans déphasage supplémentaire. En fonction du régime de neutre, la phase saine peut rester la même ou se caractériser par une surtension.

Enfin, les creux de tension triphasés sont les creux de tension les plus sévères, mais ils ne sont pas très fréquents et ne représentent que 5% des courts-circuits. Ils se caractérisent par des chutes de tension de même amplitude sur les trois phases sans déphasages supplémentaires.

#### IV-2 Régime de neutre

L'allure des creux de tension engendrés par les courts-circuits précédents dépend également du régime de neutre du réseau électrique. On distingue en effet deux régimes de neutre principaux : neutre isolé (ou fortement impédant) et neutre relié directement à la terre (ou par une faible impédance). Afin d'illustrer ce point, considérons l'exemple simple d'un court-circuit monophasé.

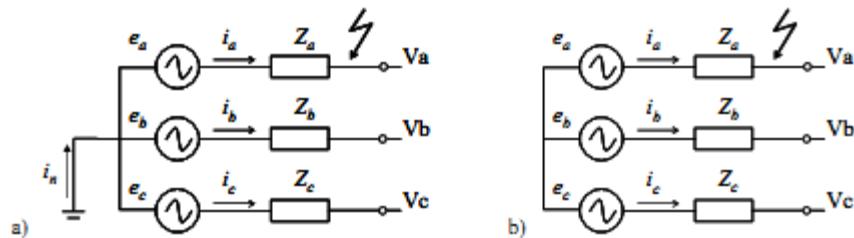


Figure 6. Régime de neutre : direct (a) et isolé (b).

Le schéma simplifié d'un système avec neutre relié directement à la terre est présenté en figure 6.a. La relation entre les courants des trois phases et le courant du conducteur de neutre est la suivante :  $i_a + i_b + i_c = i_n$ , supposons que la phase **a** soit affectée par un court-circuit. Le courant  $i_a$  dans la ligne où le défaut se produit augmente et entraîne une chute de la tension  $V_a$ ,  $V_a = e_a - Z_a i_a$ . Les changements dans le courant de phase  $i_a$  impliquent des modifications dans le courant du conducteur de neutre  $i_n$ , mais n'entraînent pas de changements dans les autres courants de ligne  $i_b$  et  $i_c$ . En conséquence, les tensions des deux autres phases restent les mêmes, seule la tension de la phase **a** est modifiée par le court-circuit (figure 7.a).

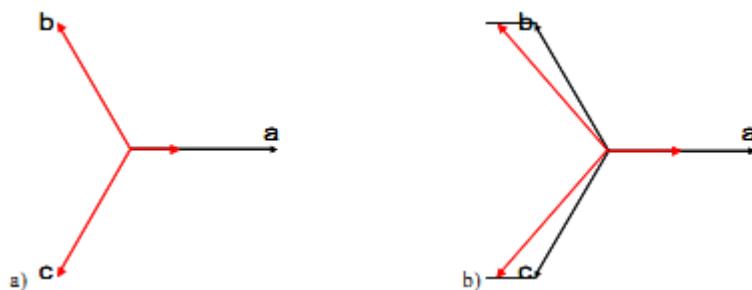


Figure 7. Signatures des creux de tension dus à un défaut monophasé en régime de neutre relié directement à la terre (a) et à distribution isolée (b).

Le schéma d'un système avec neutre isolé est présenté en figure 6.b. La relation entre les courants de phase et le conducteur de neutre est donnée par :

$$i_a + i_b + i_c = 0$$

Si la phase **a** est affectée par un court-circuit, le courant de ligne augmente et provoque une chute de tension dans la phase où le défaut se produit. L'augmentation du courant  $i_a$  entraîne une diminution des deux autres courants  $i_b$  et  $i_c$ , qui à leur tour provoquent des surtensions ( $V_b = e_b - Z_b i_b$  et  $V_c = e_c - Z_c i_c$ ) dans les phases **b** et **c** (figure 7.b).

#### IV-3 L'endroit du défaut

Le type et les caractéristiques d'un creux de tension dépendent également de l'endroit du défaut qui l'engendre, et de l'endroit où il est mesuré au sein du réseau électrique. En effet, on a vu au paragraphe III.2 que les creux de tension se propagent en aval du réseau en modifiant leurs signatures via les transformateurs.

#### V- Classification

D'après la classification des creux de tension universellement reconnue, on distingue 7 principaux types de creux de tension dénotés par les lettres de A à G présentées en figure 8, où  $d$  est l'amplitude de la chute de tension la plus importante, appelée aussi profondeur du creux de tension.

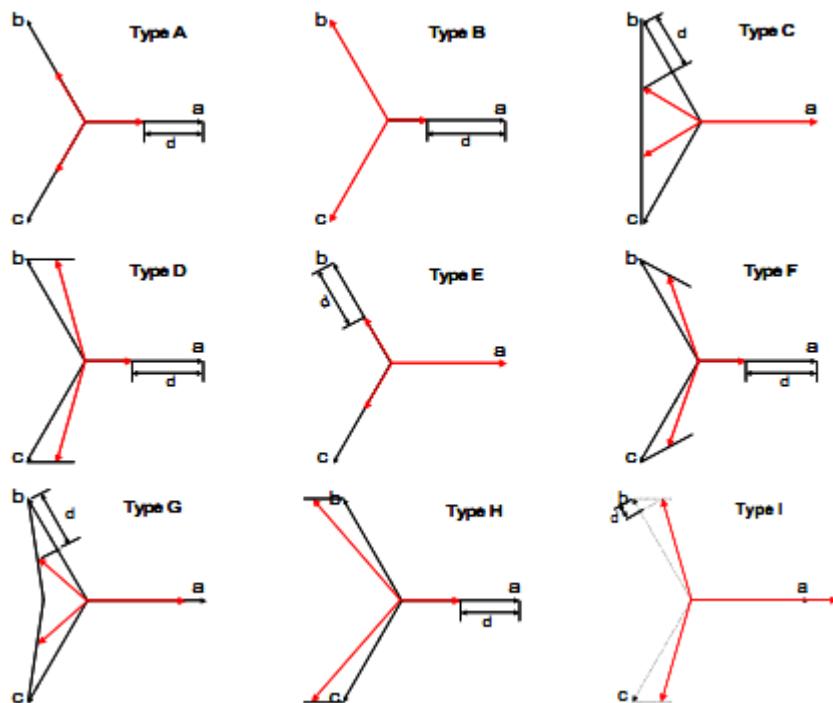


Figure 8. Les différents types de creux de tension.

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.

Les creux de tension de type B doivent leur origine à des défauts monophasés. Ils se caractérisent par une chute de tension sur une des phases, les phases non affectées par le défaut n'étant pas modifiées. Ce type de creux de tension se propage en aval du réseau en modifiant sa signature. Par exemple, en passant par un transformateur de type Dy il se transforme en creux de tension biphasé de type C.

Les creux de tension de type C sont produits soit par des défauts biphasés entre deux phases, soit par la propagation des creux de tension de type B ou D via les transformateurs. Ils se caractérisent par des chutes de tensions avec déphasages supplémentaires pour deux des phases, la troisième n'étant pas modifiée. En se propageant en aval du réseau, ces creux de tension se transforment en type D.

Les creux de tension de type D doivent leur origine à la propagation des creux de tension de type C via les transformateurs. 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. En se propageant en aval du réseau, ces creux de tension se transforment en type C.

Les creux de tension de type E proviennent de défauts entre deux phases et la terre, et présentent des chutes de tension sans déphasage sur deux des phases. Ils se propagent en aval du réseau en générant des creux de tension de type F.

Les creux de tension de type F proviennent de la propagation des creux de type E via les transformateurs. 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. Leur propagation via un transformateur donne naissance à des creux de type G. Les creux de tension de type G présentent des chutes de tension avec déphasages supplémentaires pour deux des phases et une faible baisse de tension pour la troisième phase. Ce type de creux de tension est assez rare, car il provient de la double transformation d'un creux de tension de type E.

Les creux de tension de type H présentent chute de tension sur une des phases et des surtensions sur les deux autres phases. Les creux de tension de type I se caractérisent par des chutes de tension sur deux des phases et une surtension sur la troisième phase.

**Source Bibliographique:** V. Ignatova, "Méthodes d'analyse de la qualité de l'énergie électrique. Application aux creux de tension et à la pollution harmonique".