

## Introduction

Dans la pratique, l'énergie électrique distribuée se présente sous la forme d'un ensemble **de tensions constituant un système alternatif triphasé**, qui possède quatre caractéristiques principales : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie.

L'amplitude de la tension doit être maintenue dans un intervalle **de  $\pm 10\%$  autour de la valeur nominale**.

Dans le cas idéal, les trois tensions ont la même amplitude, qui est une constante. Cependant, plusieurs phénomènes perturbateurs peuvent affecter l'amplitude des tensions. En fonction de la variation de l'amplitude on distingue deux grandes familles de perturbations :

- **Les creux de tension, coupures et surtensions**. Ces perturbations se caractérisent par des variations importantes de l'amplitude. Elles ont pour principale **origine des courts-circuits**, et peuvent avoir des conséquences importantes pour les équipements électriques.

- **Les variations de tension**. Ces perturbations se caractérisent par des variations de l'amplitude de la tension inférieure à 10% de sa valeur nominale. Elles sont généralement dues à des charges fluctuantes ou des modifications de la configuration du réseau.

## Classification des perturbations électriques

En se basant sur les paramètres caractérisant la tension et énumérés au paragraphe précédent, on distingue quatre familles de perturbations électriques :

- les variations de l'amplitude (creux de tensions, coupures brèves et surtensions, flicker),
- les fluctuations de la fréquence autour de la fréquence fondamentale,
- les modifications de la forme d'onde (harmoniques, interharmoniques, bruits),
- la dissymétrie du système triphasé : déséquilibre.

Un autre type de classification des perturbations électriques peut également être élaboré en se basant sur leur durée :

- les perturbations transitoires,
- les perturbations de courte durée,
- les perturbations permanentes.

Les perturbations électriques transitoires ont une durée de moins d'une demi période fondamentale. Elles ont pour principale origine les manœuvres d'ouverture et de fermeture sur le réseau de transport et de distribution, mais également des phénomènes naturels tels que la foudre.

Les perturbations de courte durée sont les creux de tension, les coupures brèves et les surtensions, qui sont généralement provoquées par la présence de courts-circuits. Elles se caractérisent par des variations importantes de l'amplitude de la tension, et peuvent avoir des conséquences néfastes et coûteuses sur les équipements électriques.

Dans la catégorie « perturbations permanentes » on retrouve les harmoniques, le bruit, le déséquilibre et les variations de tension et de fréquence. Elles sont généralement provoquées par la présence de charges non linéaires et fluctuantes au sein du réseau électrique. Elles se caractérisent par de faibles variations de l'amplitude, et sont à l'origine d'échauffement, de pertes supplémentaires, de vieillissement prématuré des équipements électriques et de dysfonctionnements sur certains appareillages de contrôle-commande.

On peut également remarquer que les origines des perturbations électriques peuvent être classées en deux grandes catégories :

- les défauts au sein des réseaux électriques,
- la présence de charges non-linéaires ou fluctuantes.

Enfin, les effets des perturbations électriques peuvent eux aussi être divisés en deux grandes familles :

- les effets à court terme (déclenchement des appareils, dégâts matériels, ...),
- les effets à long terme (pertes supplémentaires, échauffements, vieillissements).

Le tableau I.1 récapitule les remarques précédentes en présentant les principales perturbations, leurs origines ainsi que leurs conséquences. L'amplitude de la tension est également indiquée en pu (per units) pour les perturbations importantes au niveau de l'amplitude et en % pour les variations faibles d'amplitude.

TABLEAU I.1 VUE D'ENSEMBLE DES PRINCIPALES PERTURBATIONS ELECTRIQUES.

<b>Durée</b>	<b>Type de Perturbations</b>	<b>Amplitude</b>	<b>Origine</b>	<b>Conséquences</b>
<10ms	Transitoires (impulsions et oscillations)	-	Déclenchement des appareils, enclenchement des condensateurs, commutations	Dysfonctionnements gênants
10ms – 1min	Creux de tension	0.1 – 0.9 pu	Courts-circuits, démarrage de gros moteurs, saturation des transformateurs	Arrêts d'équipements, pertes de production
	Coupures brèves	<0.1 pu	Courts-circuits	Arrêts d'équipements, pertes de production

	Surtensions	1.1 – 1.8 pu	Courts-circuits, débranchement des charges importantes	Déclenchements, dangers pour les personnes et pour les matériels
Régime établi	Déséquilibre	-	Charges asymétriques ou monophasées	Echauffements des machines tournantes, vibrations
	Variations rapides de tension (Flicker)	0.1 – 7 %	Charges fluctuantes (fours à arc, moteur à démarrage fréquent, soudeuses, éoliennes)	Papillotements de l'éclairage
	Harmoniques	0 – 20%	Charges non linéaires (structures d'électronique de puissance, arcs électriques)	Echauffements, vieillissements, pertes supplémentaires, troubles fonctionnels
	Interharmoniques	0 – 2%	Charges non linéaires et fluctuantes (fours à arc, soudeuses, éoliennes)	Papillotements de l'éclairage
	Bruit	0 – 1%	Fours à arc, charges non linéaires	Echauffements, pertes, vieillissements
	Variations de la fréquence	-	Déséquilibre entre la production et la consommation	Dysfonctionnements des équipements électriques

## Creux de tension et coupures brèves

### Définition, origine et conséquences

Par définition, un creux de tension est une chute de tension de 10% à 90% de la valeur nominale pour une durée de 10ms jusqu'à 1min. Une coupure brève représente une chute de tension supérieure à 90% de la valeur nominale et d'une durée de 10ms à 1min.

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 I.1a). 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 I.1b). 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.

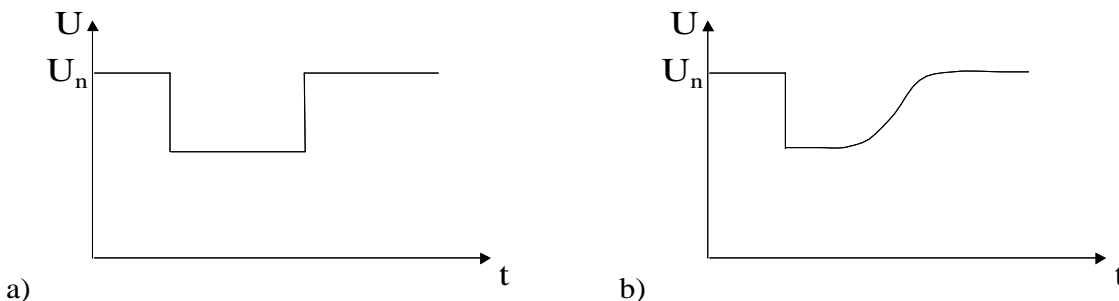


Figure I.1 Amplitude d'un creux de tension provoqué par a) un court-circuit b) le démarrage d'un moteur de forte puissance

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.

### Représentation dans le plan complexe.

Les creux de tension monophasés se caractérisent principalement par leur amplitude et leur phase. L'amplitude des creux de tension est liée à leur proximité par rapport au défaut, la nature du défaut et la puissance de court-circuit du réseau. La durée du creux de tension est liée au temps d'élimination du court-circuit par les protections du réseau ou des installations raccordées.

En plus de la durée et de l'amplitude, les creux de tension triphasés se caractérisent par le déphasage entre les tensions de phase qui dépend de la nature et de l'endroit du défaut.

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 I.2a se caractérise par la signature présentée en figure I.2b

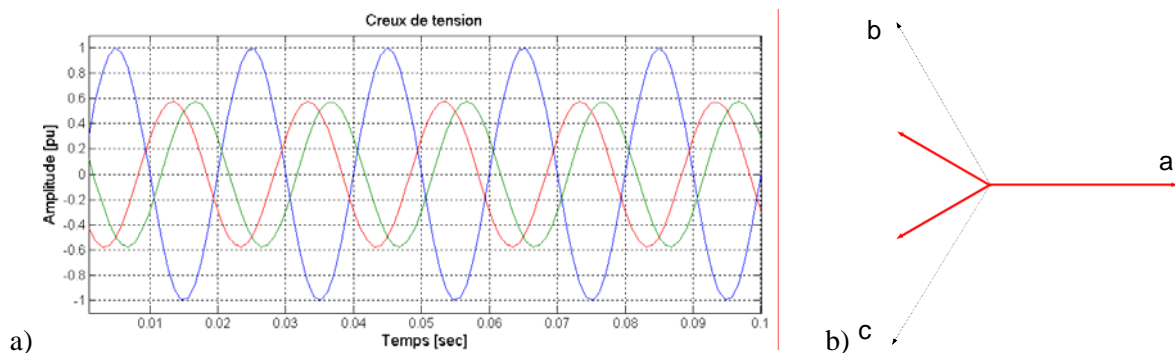


Figure I.2 Creux de tension (a) et sa signature dans le plan complexe (b)

## Propagation

### 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 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 I.3.

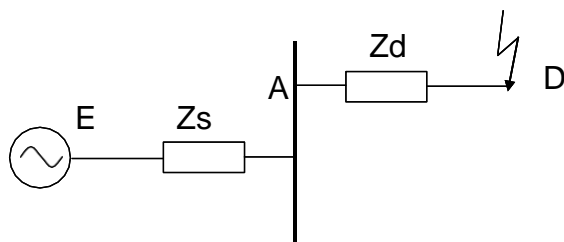


Figure I.3 Diviseur de tension pour l'étude de la propagation des creux de tension

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

$$V_A = \frac{Z_d}{Z_d + Z_s} E \quad (I.1)$$

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 proche 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 I.3 montre que les creux de tension sont atténués 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 I.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.

### 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 I.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.

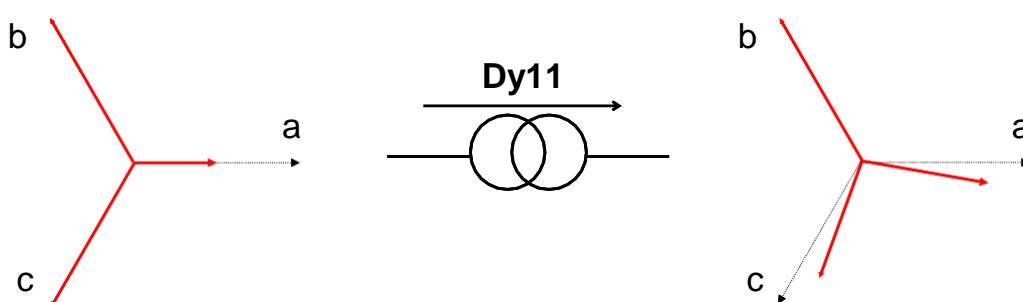


Figure I.4 Modification du type de creux de tension via un transformateur Dy11

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 [Zha-99] :

- 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  $Y_n y_n$ .

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 :

$$v_{abc} = kTv_{ABC}, \quad (I.2)$$

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 :

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (I.3)$$

- 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<sub>n</sub>y, Y<sub>n</sub>n. Leur matrice de transformation est définie par :

$$T_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (I.4)$$

- 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 :

$$T_3 = \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (I.5)$$

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.

### Paramètres déterminant les types de creux de tension

#### 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 : monophasés, biphasés entre phase et terre, biphasés entre deux phases et triphasés (voir figure I.5)

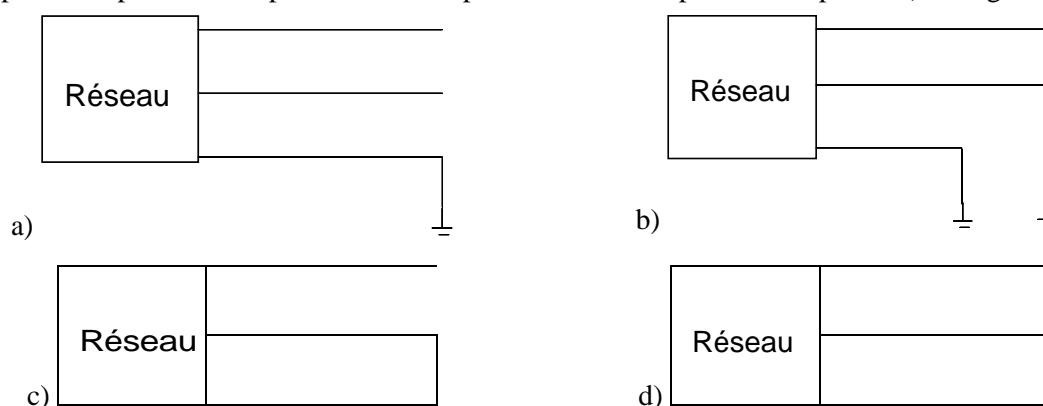


Figure I.5 Types de courts-circuits : monophasé (a), biphasé entre phase et terre (b), biphasé entre deux phases (c) et triphasé (d)

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.

### 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.

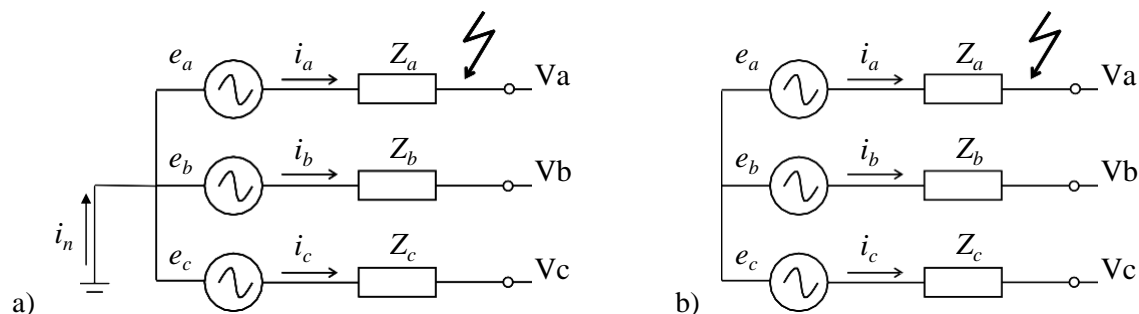


Figure 1.6 Régime de neutre : direct (a) et isolé (b)

Le schéma simplifié d'un système avec neutre relié directement à la terre est présenté en figure 1.6a.

La relation entre les courants des trois phases et le courant du conducteur de neutre est la suivante :

$$i_a + i_b + i_c = i_n \tag{I.6}$$

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\$, car \$V\_a = e\_a - i\_a Z\_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\$ (voir Eq. I.6). 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 1.7a).

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

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (I.7)$$

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 dans les phases  $b$  et  $c$  (figure I.7b). Ce phénomène est d'autant plus accentué que les neutres côté charge et côté source ont des potentiels éloignés.

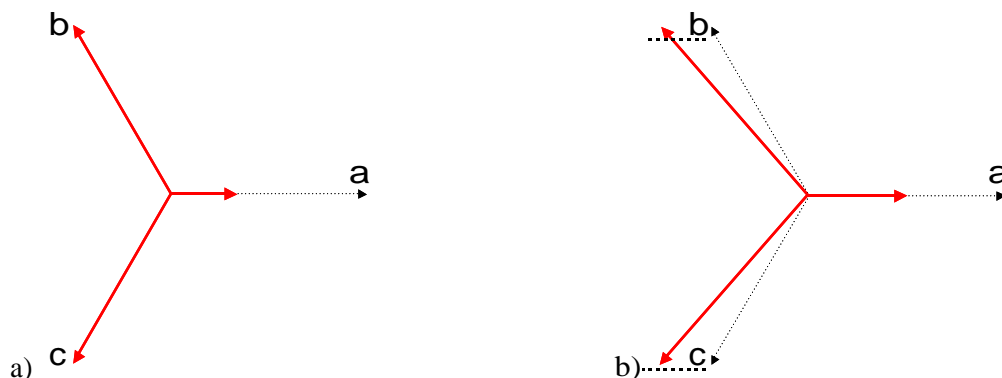


Figure I.7 Signatures des creux de tension dus à un défaut monophasé en régime de neutre relié directement à la terre (a) et à distribution isolée (b)

### 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 I.3.3 que les creux de tension se propagent en aval du réseau en modifiant leurs signatures via les transformateurs.

### Type de mesures

On distingue deux principaux types de connexions des appareils de mesure : entre phase et neutre ou phase et terre (connexion en étoile), et entre phases (connexion en triangle) [Leb-04, Did-05]. La connexion entre phases est en général utilisée dans des systèmes avec des charges connectées en triangle afin de mesurer les perturbations électriques telles qu'elles sont subies par ces charges. Cependant, dans des systèmes avec des charges connectées en étoile et en triangle, les mesures de type phase - terre ou phase - neutre sont mieux adaptées. En effet, la connexion en étoile donne accès à plus d'informations que la connexion en triangle, comme par exemple le nombre des défauts et leur localisation. De plus, les tensions composées peuvent être déduites des tensions simples, alors que l'inverse n'est pas toujours possible.

### 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 I.8, où  $d$  est l'amplitude de la chute de tension la plus importante, appelée aussi profondeur du creux de tension. Pour les creux de tension de type C, G et I, la grandeur  $d$  ne correspond pas exactement à la profondeur du creux de tension du fait des déphasages supplémentaires des tensions. Cependant, pour des chutes de tension peu importantes,  $d$  peut être considéré identique à la profondeur du creux de tension.

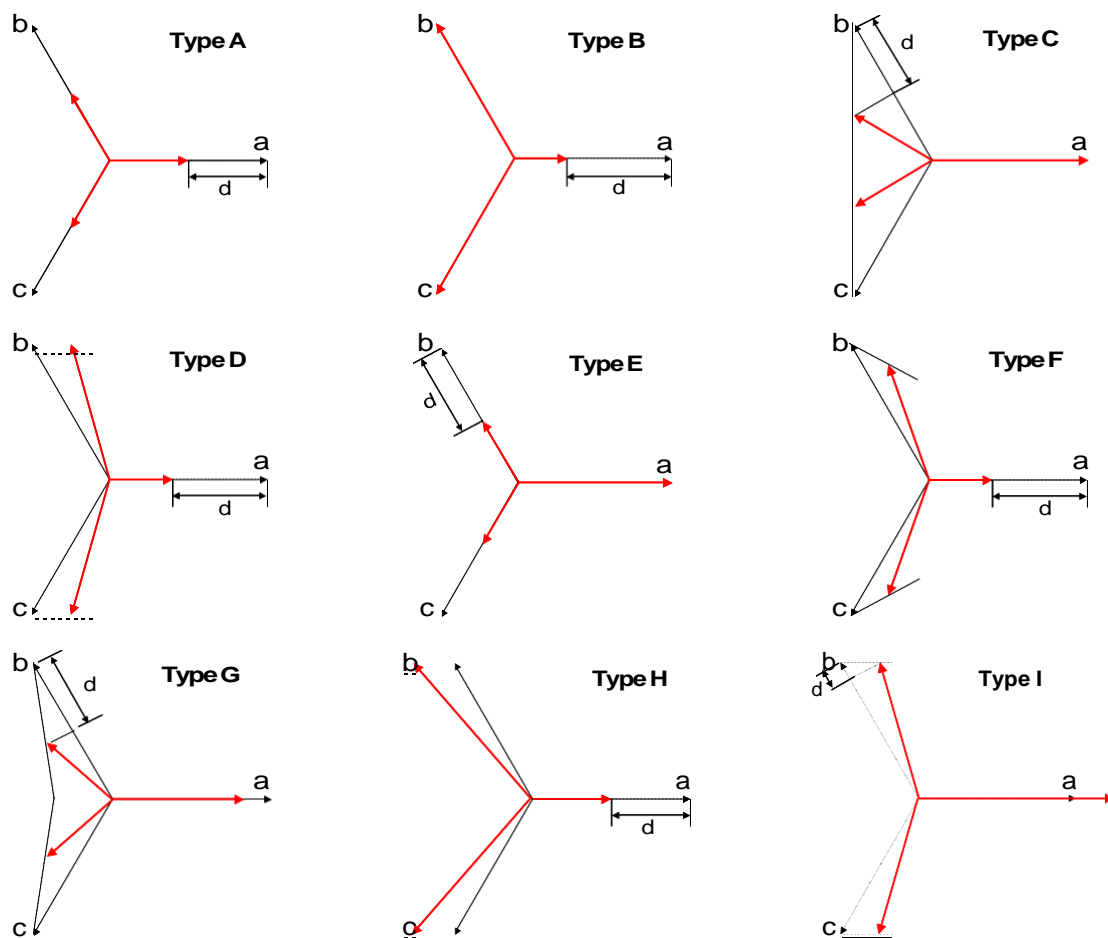


Figure I.8 Les différents types de creux de tension

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 I.9 et le tableau I.2 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.

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.

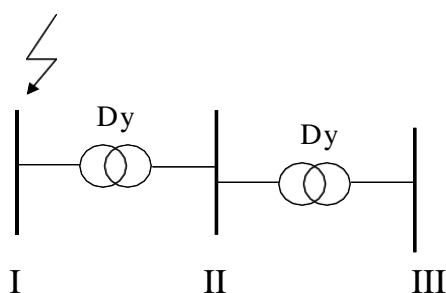


Figure I.9 Transformation des types de creux de tension

TABLEAU I.2 PROPAGATION DES CREUX DE TENSION

Niveau de tension	I	II	III
Types de creux de tension	A	A	A
	B	C	D
	C	D	C
	E	F	G
	-	H / I	-

Les creux de tension avec surtension dus aux défauts dans les systèmes à neutre isolé ne sont pas représentés dans la classification de [Bol-99] car d'une part ils ne se propagent pas, et d'autre part ils ne sont pas subis par les charges généralement connectées en triangle dans les systèmes à neutre isolé. Cependant ces creux de tension sont envisagés dans notre étude car ils permettent d'identifier et de localiser certains défauts, et sont très souvent présents au niveau MT en cas de connexion en étoile des appareils de mesure. Les creux de tension avec surtensions sont dénotés par les lettres H et I, et leurs signatures sont également présentées en figure I.8 où leur profondeur est indiquée par  $d$ .

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. En fonction de leur profondeur, les creux de tension de type I présentent deux signatures différentes. Pour une profondeur  $0 \leq d \leq 0,25 pu$ , les trois tensions sont modifiées le long du même axe. Ce type de creux de tension est également dénoté par I\*. Pour une profondeur du creux de tension  $d \geq 0,25 pu$ , les tensions en chute sont modifiées le long de l'axe perpendiculaire à la phase en surtension. La valeur de celle-ci est alors fixe et de  $1,5 pu$ .

Les creux de tension de type B, D et F sont souvent appelés monophasés, car ils se caractérisent par une chute de tension sur une des phases. Les creux de tension de type C, E et G se caractérisent par des chutes de tension sur deux des phases et sont dénommés biphasés. Le creux de tension de type A est appelé triphasé. Les creux de tension de type H et I se caractérisent à la fois par des chutes de tension et des surtensions et sont également appelés creux de tension avec surtensions.

## Surtensions et surintensités

Les surtensions correspondent à des augmentations de l'amplitude de la tension de  $1,1 pu$  à  $1,8 pu$ . Les surtensions sont moins fréquentes que les creux de tension et sont généralement dues à des courts-circuits dans les systèmes à neutre isolé qui engendrent à la fois des creux de tension et des surtensions. En cas de court-circuit monophasé dans un tel système, les deux phases non concernées par le défaut peuvent prendre une valeur pouvant aller jusqu'à  $1,73 pu$ , c'est à dire la tension composée. En cas de court-circuit biphasé, la phase non affectée par le défaut se caractérise par une surtension qui peut aller jusqu'à  $1,5 pu$ .

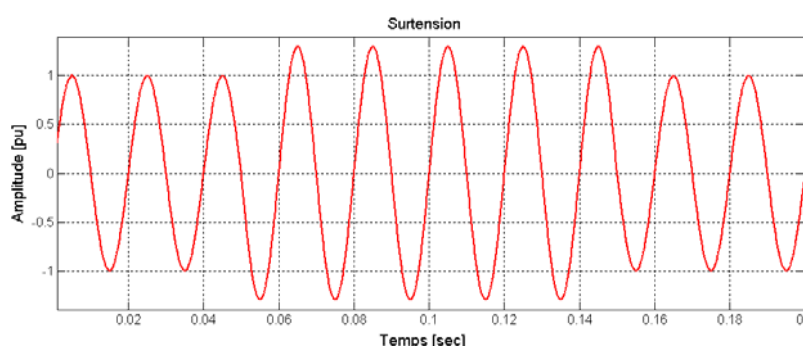


Figure I.10 Exemple de surtension

Des surtensions peuvent également être provoquées par des phénomènes d'origine atmosphérique (foudre), par des déclenchements de charges importantes, par des mauvais fonctionnement de régulateurs de tensions, par ferrorésonance ou par des manœuvres sur le réseau. Ce type de surtensions se caractérise généralement par une durée très brève et s'assimile le plus souvent à des transitoires.

## Variations de tension

La mise en service ou hors service des appareils électriques et le fonctionnement de certaines charges à puissance variable entraînent des variations de tension qui se manifestent sous deux formes principales :

- Des variations lentes de tension se produisant à des intervalles de temps supérieurs à quelques secondes. Ces variations sont dues principalement au branchement et débranchement des charges et en général ne dépassent pas les  $\pm 10\%$  de la tension nominale. Ils ne causent pas de préjudice pour la plupart des équipements électriques.

- Des variations rapides de tension conduisant à une composition spectrale de fréquence dans la bande 0,5 et 25Hz. Ces variations sont dues aux charges dont la puissance absorbée fluctue de manière rapide, tels que les fours à arc, les machines à souder, les moteurs à couples pulsatoires ou à démarrages fréquents. Ces fluctuations rapides sont particulièrement ressenties sur le flux lumineux des lampes car elles provoquent un papillotement de la lumière, connu aussi comme flicker et qui est fort désagréable pour les consommateurs.

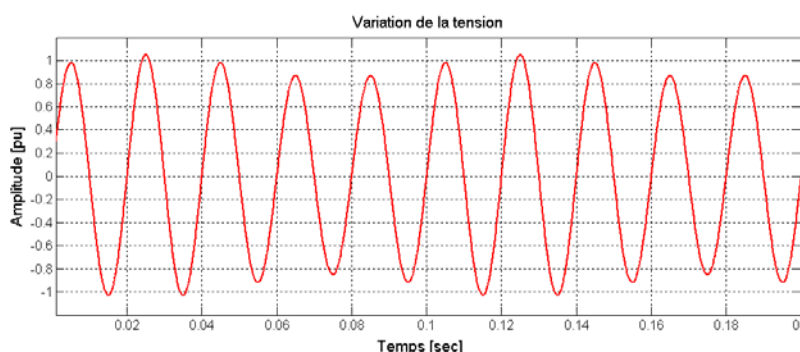


Figure I.11 Exemple de variation de tension