

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE  
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUE MAMMARI DE TIZI-OUZOU**



**FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE**

**Mémoire de Mastère II**

**En Electrotechnique**

**Option : Machines Electriques**

Présenté par :

**BOUSNANE KAHINA**

**NOUANI DALILA**

**THEME:**

**ETUDES DES SURTENSIONS  
D'AMORCAGE D'ARC**

Soutenu le :    Devant le jury d'examen :

MUFIDZADA NAHID

professeur à l'UMMTO

Rapporteur

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M.MUFIDZADA, professeur à l'.U.M.M.T.O pour avoir proposé et dirigé ce travail. d'être rapporteur de cette thèse et d'en juger. Qu'il trouve ici toute notre reconnaissance.

Nous adressons nos vifs remerciements aux différentes personnes qui ont accepté d'être dans le jury :

Monsieur T. OTHMANE CHERIF, Professeur à l'.U.M.M.T.O me fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. Qu'il me soit permis de lui adresser mes vifs remerciements.

Nous voudrions adresser également tous nos remerciements à Monsieur ..... pour avoir accepté de faire partie de la commission d'examen.

Nous voudrions témoigner également toute notre gratitude à Monsieur L. BELHITECHE, pour l'aide qu'il nous a apportée dans la partie expérimentale de ce travail.

Nous tirons à remercier Monsieur H. HOUASSINE, pour son aide.

En fin, nous tirons également à remercier toutes les personnes qui, par un geste ou une parole, me souhaitaient sincèrement voir ce travail aboutir.

## **Dédicaces**

**Je dédie ce modeste travail à :**

A mes chers parents

A mon marié et sa famille

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

**DALILA**

# Sommaire

# TABLES DES MATIERES

	Page
<b>Introduction générale</b> .....	<b>01</b>
 <b>CHAPITRE I : Particularité de fonctionnement des réseaux MT</b>	
Introduction .....	03
I-1: Généralités sur les réseaux électriques.....	03
I-2: Modes de distribution de l'énergie électrique.....	03
I-2-1 : La distribution de l'énergie électrique.....	04
I-2-2 : Exécution de l'installation.....	05
I-2-3 : Les modes de distributions.....	05
I-2-3-1 : Distribution en radiale.....	05
I-2-3-2 : Distribution en peigne.....	06
I-2-3-3 : Distribution en boucle.....	07
I-2-4 : Choix de distribution.....	08
I-3 : Structure d'un réseau moyenne tension (5à 30kV).....	08
I-3-1 : Alimentation en simple dérivation.....	08
I-3-2 : Alimentation en coupure d'artère.....	09
I-3-3 : Alimentation en double dérivation.....	10
I-4 : Les surtensions.....	11
I-4-1 : Définition.....	11
I-4-2 : Causes des surtensions.....	11
I-4-3 : Description d'une onde de surtension de foudre.....	11
I-4-4 : Origines des surtensions.....	12
I-4-4-1 : Les surtensions d'origine atmosphérique.....	12
I-4-4-1-1 : Formation des orages.....	13

I-4-4-1-2 : Principe du coup de foudre.....	14
I-4-4-1-3 : Le coup de foudre direct.....	14
I-4-4-1-4 : Le coup de foudre indirect.....	15
I-4-4-1-5 : surtension conduites.....	15
I-4-4-1-6 : Elévation du potentiel de terre.....	15
I-4-4-1-7: Coup de foudre sur le câble de garde.....	17
I-4-4-1-8 : Le rayonnement.....	18
I-4-4-2 : Surtension par décharges électrostatique.....	18
I-4-4-3 : Surtension de manœuvre.....	18
I-4-4-3-1 : La commutation de courants inductifs.....	19
I-4-4-3-2 : La commutation de courants capacitifs.....	19
I-4-5 : La protection contre les surtensions.....	19
I-4-5-1 : Principe de la protection.....	19
I-4-5-2 : Paratonnerre.....	20
I-4-5-2-1 : Principe de fonctionnement.....	20
I-4-5-2-2 : Zones de protection contre la foudre.....	20
I-4-5-2-3 : Distance critique d'amorçage $d_c$ .....	20
I-4-5-3 : Eclateur.....	21
I-4-5-4 : Parafoudre (Varistance).....	22
I-4-5-4-1 : Les parafoudres à oxyde de zinc (ZnO) .....	22
I-4-5-4-2 : Les parafoudres à résistances variables et éclateurs.....	22
I-4-5-4-3 : Principe de fonctionnement.....	23
I-4-5-4-4 : Courbe caractéristique « courant-tension » d'une varistance.....	24
I-4-5-4-5 : Double protection.....	24
Conclusion .....	25

## **CHAPITRE II : Les régimes de neutre**

Introduction.....	26
II-1 : Définition .....	26
II-2 : Choix du régime de neutre.....	28
II-3 : Les différents régimes de neutre.....	28
II-3-1 : Neutre mis directement à la terre .....	28
II-3-2 : Neutre isolé de la terre.....	29
II-3-3: Neutre fortement impédant .....	30
II-3-4 : Neutre mis à la terre à travers une impédance .....	31
II-3-4-1 : L'impédance employée est une résistance pure.....	31
II-3-4-2 :L'impédance employée est une réactance.....	32
II-3-5 : Le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance accordée (bobine de Petersen) .....	33
Conclusion.....	34

## **CHAPITRE III : Théorie de la création des surtensions d'amorçage d'arc**

III-1 : Surtensions, lors de court circuit monophasé dans le réseau avec le neutre isolé

## **CHAPITRE IV : Etude d'influence de la phase du commencement de c.c sur les surtensions d'amorçage d'arc**

Introduction.....	44
IV-1 : Schéma équivalent de réseau étudié... ..	44
IV-2 : Calcul des paramètres du réseau.....	45
IV-2-1 : Calcul des paramètres des lignes $l_1$ et $l_2$ .....	45
IV-2-2 : Calcul des paramètres des charges $\widetilde{S}_{ch_1}$ , $\widetilde{S}_{ch_2}$ , .....	50
IV-3 : Simulation et discussions des résultats.....	51

IV-4: Résultats de la simulation pour différents valeurs de déphasage de la tension de phase A.....	52
IV-4-1 : Discussions des résultats .....	53
IV-4-1-1 : Lors de $\varphi_A = 0^\circ$ .....	53
IV-4-1-2 : Lors de $\varphi_A = 45^\circ$ .....	55
IV-4-1-3 : Lors de $\varphi_A = 90^\circ$ .....	56
IV-5: Résultats de la simulation pour différents valeurs de déphasage de la tension $U_B$ . Le c.c est sur la phase A.....	57
IV-5-1 : Discussions des résultats.....	58
IV-5-1-1 : Lors de $\varphi_B = 0^\circ$ .....	58
IV-5-1-2 : Lors de $\varphi_B = 45^\circ$ .....	59
IV-5-1-3 : Lors de $\varphi_B = 90^\circ$ .....	60
IV-6: La comparaison des résultats.....	61
II-7 : L'influence de l'extinction de l'arc lors de passage du courant transitoire où de courant forcé de sa valeur 0 .....	62
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>63</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>64</b>

**INTRODUCTION**  
**GENERAL**

## Introduction générale :

A l'origine, le réseau électrique a été construit et dimensionné pour transporter l'énergie électrique produite par les centres de production jusqu'aux centres de consommation les plus éloignés. Ainsi, les transits de puissances circulent de l'amont depuis les productions d'énergie électrique de type grosses centrales thermiques, hydraulique ou nucléaire, vers l'aval représenté par les consommateurs. Le « système » réseau électrique met donc en œuvre des milliers de kilomètres de ligne, des milliers de poste de transformation, ainsi que de nombreux organes de coupure et d'automates de réglage, dimensionnés pour assurer le bon fonctionnement de la fourniture d'énergie électrique. Ainsi, des contrôles hiérarchisés assurent la tenue en tension et en fréquence ; ceux-ci couplés aux divers automates, ont la charge de garantir la continuité de service du système.

Cependant le réseau peut être soumis à des perturbations de toute nature, telle que les surintensités, les surcharges, et les surtensions, qui peuvent engendrer les défauts d'isolation sur les points les moins rigides, ce qui provoque des dangers sur les équipements. Les plus dangereuses sont les surtensions de chocs de foudre directs où indirects. Elle présente des dégradations et des catastrophes humaines, la qualité de leur élimination est directement fonction des performances des systèmes et des équipements de protection (parafoudre, éclateur, paratonnerre).

Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important. Lors d'un défaut d'isolement, ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode raccordement du neutre à la terre.

Ce présent travail est consacré à l'étude des surtensions d'amorçage d'arc en tenant compte de l'influence de la phase du commencement de c.c. Le problème considéré est étudié par 4 interrupteurs.

A fin de bien mener cette étude, nous avons subdivisé notre travail en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous aborderons des généralités sur les réseaux électriques, les surtensions, et les protections.

Le deuxième chapitre à été réservé pour le choix et les différents régimes du neutre.

Une étude théories de la création des surtensions et de l'arc électrique, fera l'Object du troisième chapitre.

En fin, le quatrième chapitre portera une étude sur l'étude d'influence de la phase de commencement de c.c sur les surtensions avec neutre isolé de la terre, ce chapitre est consacré

à l'élaboration d'un schéma équivalent de réseau électrique, permettant ainsi d'obtenir les paramètres des lignes.

Cette étude est réalisée en utilisant le logiciel PS-pice 16.3.

## **CHAPITRE I:**

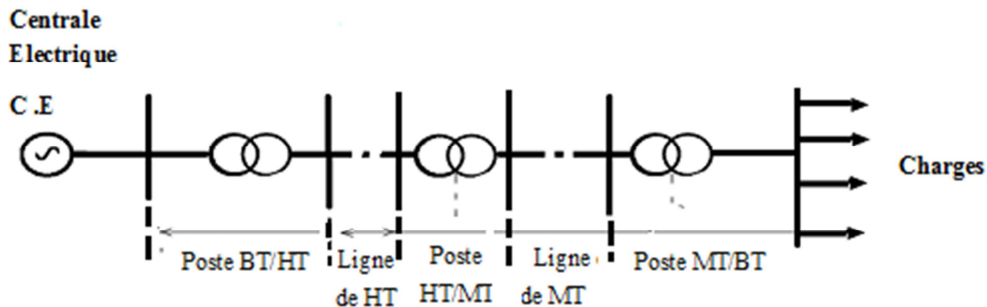
# **Particularité de fonctionnement des réseaux MT**

## Introduction :

Bien que dans ce travail on pense plus particulièrement aux surtensions d'origine atmosphérique, ce chapitre décrit généralité sur les réseaux électrique, qui peuvent se distribuer l'énergie électrique en différent modes. Pour des besoins de calculs des surtensions par simulation, différents types de surtension peuvent apparaître dans les réseaux industriels, sont également décrits dans cette partie. Pour se protéger correctement des diverses surtensions, il faut donc installer des dispositifs permettant de diminuer leur amplitude et choisir le niveau d'isolement des équipements afin de réduire les risques de défaut à un niveau acceptable, c'est l'objet de ce chapitre.

### I-1 : Généralités sur les réseaux électriques : [12]

Pour transporter l'énergie électrique on utilise les réseaux de haute tension (H.T), l'énergie électrique se rapproche aux points de consommation à l'aide des réseaux de moyenne tension (M.T), une fois que l'énergie électrique vient aux points de consommation, il faut assurer la jonction entre ses réseaux (M.T) et les différents abonnés, pour cela, on utilise les réseaux à basse tension (B.T).



FigI-1

### I-2 : Modes de distribution de l'énergie électrique : [1]

Il ne suffit pas de produire le courant électrique dans les centrales, il faut aussi l'amener jusqu'à l'utilisateur final. Ainsi pour atteindre l'adéquation entre la production et la consommation, qui se traduit par la performance économique, la structure électrique d'un pays est généralement décomposée en plusieurs niveaux correspondant à différents réseaux électriques.

- **le réseau de transport et d'interconnexion :**

La finalité de ce réseau est triple :

- ✓ une fonction de "transport" dont le but est d'acheminer l'électricité des centrales de production aux grandes zones de consommation ;

- ✓ une fonction “d’interconnexion nationale” qui gère la répartition de l’offre en orientant la production en fonction de la répartition géographique et temporelle de la demande ;
- ✓ une fonction “d’interconnexion internationale” pour gérer des flux d’énergie entre les pays en fonction d’échanges programmés ou à titre de secours.

- **le réseau de répartition :**

La finalité de ce réseau est avant tout d’acheminer l’électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation.

- **Le réseau de distribution MT :**

La finalité de ce réseau est d’acheminer l’électricité du réseau de répartition aux points de moyenne consommation

### I-2-1 : La distribution de l’énergie électrique : [9]

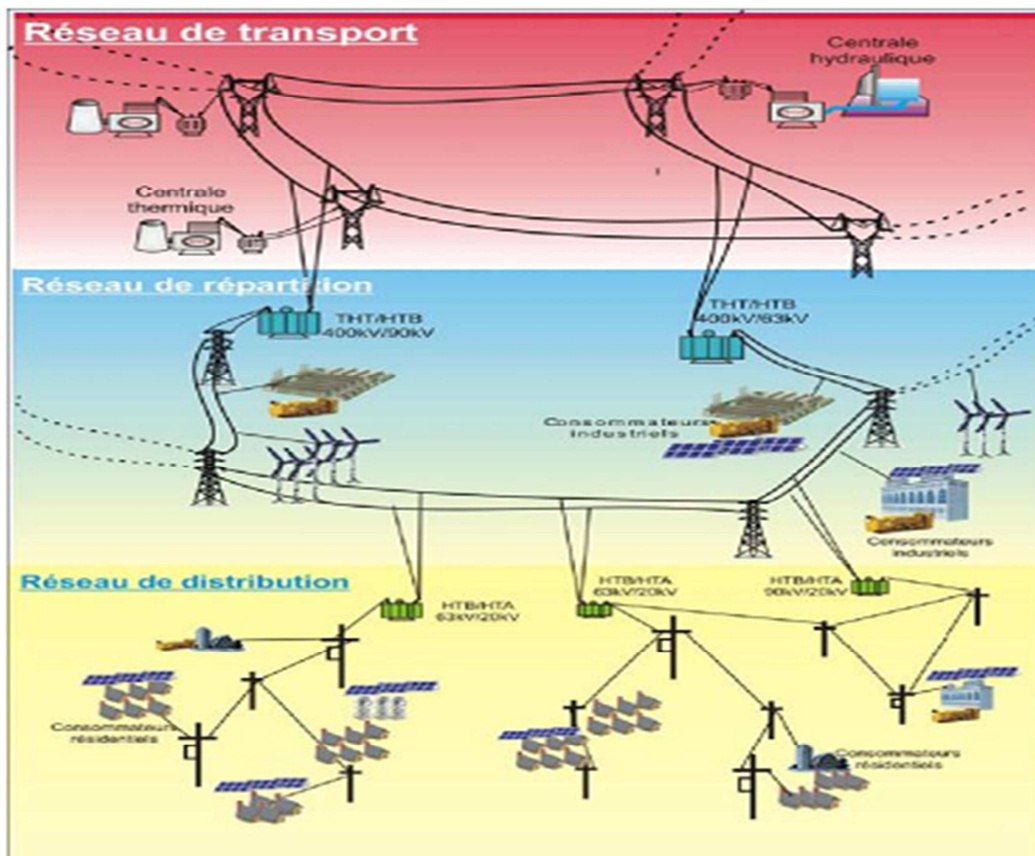


Figure I.1- Architecture d'un réseau électrique moderne

L'étude de distribution de l'énergie électrique consiste à choisir un schéma qui convient à l'installation, permettant d'assurer une bonne continuité de service, une exploitation facile du matériel et sans négliger le facteur économique.

### **I-2-2 : Exécution de l'installation :**

En générale on utilise dans les usines une alimentation moyenne au grande consommation en énergie électrique.

La distribution de cette énergie se fait à partir :

- D'un transformateur
- Des armoires de répartition (TGBT)
- Des coffres fixes ou mobiles alimentant un ou plusieurs récepteurs
- Un dispositif de commande sur chaque récepteur.

Les différents tableaux doivent être placés dans les endroits accessibles et fréquemment, ainsi les longueurs des câbles soient alimentant.

Les récepteurs soient réduits au maximum.

### **I-2-3 : Les modes de distributions : [8]**

Tout installation doit être convenablement divisé en plusieurs circuit, afin de limiter les conséquences résultant d'un défaut survient sur circuit, cette division dépende du mode de distribution BT utilisé :

- Le mode en radial
- Le mode en peigne
- Le mode en boucle

#### **I-2-3-1 : Distribution en radiale :**

C'est le mode le plus utilisée, elle est conseillée attiquement tout installation industrielle.

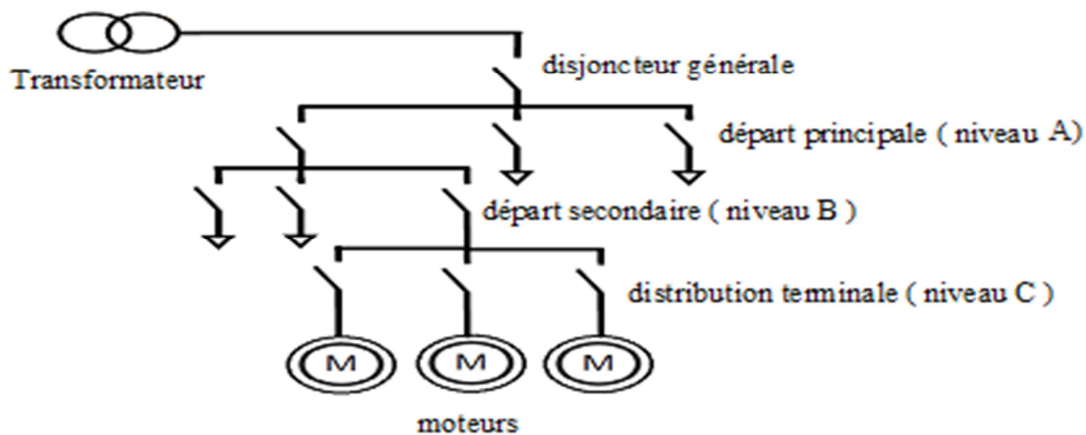


fig-I-2- Distribution en radiale

### Les avantages :

- Seul le circuit en défaut est mis hors service, sa localisation est facile
- Localisation facile du défaut
- Il est possible d'effectuer les opérations d'entretien sans coupure générale

### Les inconvénients :

Un défaut au niveau (A) d'un départ principale affecté tout les départs aux niveaux (B) secondaires et de la distribution. Terminale niveau (C) issus du départ principal.

### I-2-3-2 : Distribution en peigne :

Elle est surtout utilisée dans les installations étendues de faible puissance.

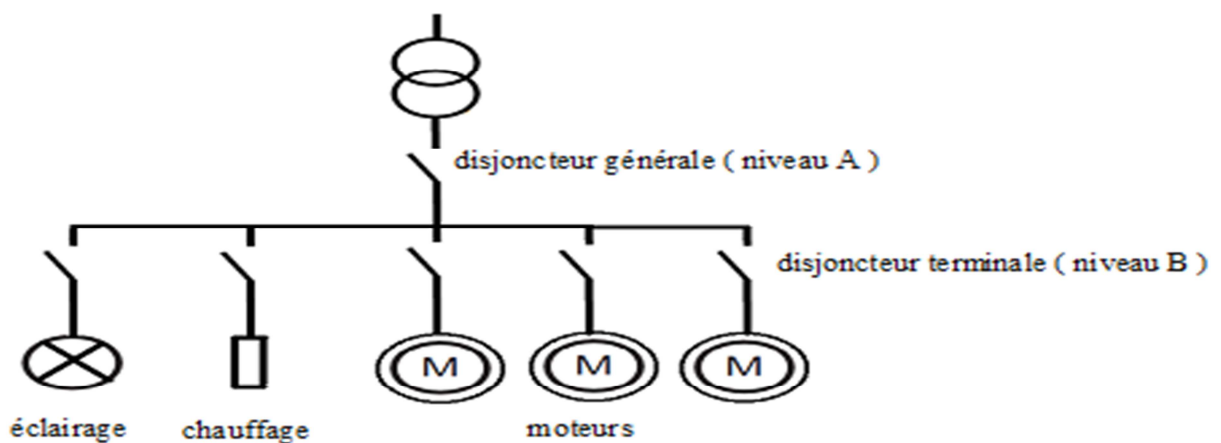


fig-I-3- Distribution en peigne

**Les avantages :**

- Dans le cas d'un défaut autre que celui du disjoncteur général, seul le circuit en défaut est coupé

**Les inconvénients :**

- On se trouve devant un grand nombre de circuit séparés, donc de grandes longueurs de lignes.

Les caractéristiques de l'appareillage de protection (niveau B) doivent être élevées.

**I-2-3-3 : Distribution en boucle :**

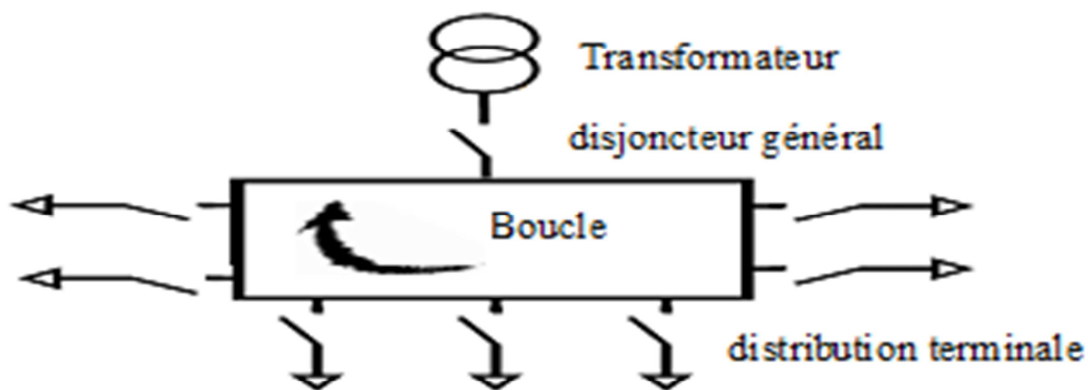
La distribution en boucle est moins utilisée, mais elle est très fréquente en ANGLETERRE par exemple, pour les installations domestique (dessertes de pris de courant).

**Les avantages :**

- Réduction des pertes par résistance
- Un seul dispositif de protection par boucle

**Les inconvénients :**

- Connexions spéciales aux dérivation (ne pas couper la boucle)
- Réparation difficile des intensités
- Chaque dérivation peut au maximum alimenter deux circuits d'utilisation.



**Fig-I-4- Distribution en boucle**

### **I-2-4 : Choix de distribution :**

Le choix de mode de distribution de la puissance se fait après une étude économique.

C'est-à-dire le prix de revient du réseau. Tenant compte aussi la qualité du service qui pourra être assuré, et la possibilité d'extension du réseau.

### **I-3 : Structure d'un réseau moyenne tension (5 à 30kV) :**

Il est important de connaître les particularités de chaque type de réseau moyenne tension, car cela a une influence sur la conception et l'exploitation des postes de transformation MT /BT, surtout en ce qui concerne :

- Les dispositifs de protection ;
- Les prises de terre ;
- Le choix de l'appareillage.

Il ya deux types de réseaux moyenne tension :

- Réseaux moyenne tension aérien (Zone rurale).
- Réseaux moyenne tension souterrain (Zone urbaine).

Ces réseaux peuvent alimenter différents types de postes de transformation.

Dès que la puissance installée dépasse 66kVA, soit environ une centaine d'ampères, il est nécessaire de prévoir une alimentation en moyenne tension, soit 20kV avec un poste de transformation 20kV/400V.

#### **I-3-1 : Alimentation en simple dérivation :**

Chaque poste de transformation est alimenté en « simple dérivation » sur une artère principale ou secondaire. Ce type d'alimentation est surtout utilisé en distribution rurale, et en aérien.

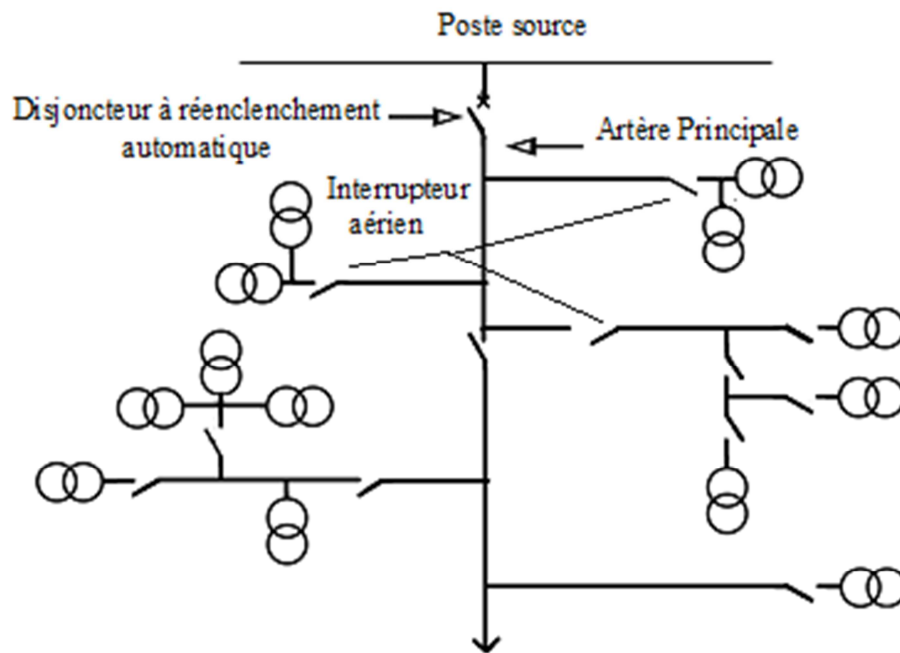


Fig-I-5-

La seule protection agissant sur le disjoncteur de départ du poste source, tout défaut sur le réseau provoque la coupure de tous les abonnés concernés par le départ du poste source.

### I-3-2 : Alimentation en coupure d'artère :

Tous les postes MT/BT sont branchés en dérivation sur une boucle ouverte en un point (dit point de coupure) proche de son milieu. Tout les appareils de coupure de l'artère, sauf un, sont donc fermés.

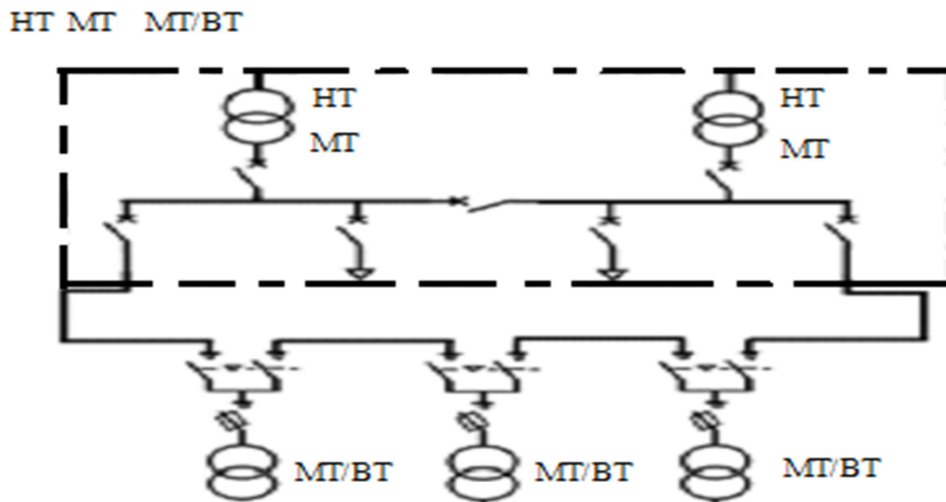


Fig-I-6-

Ce type de réseau est surtout en souterrain et, en général, en milieu urbain. En cas de défaut sur une partie de la boucle, on peut toujours alimenter tous les postes.

### I-3-3 : Alimentation en double dérivation :

Chaque poste est alimenté par deux câbles avec permutation automatique en cas de manque de tension sur l'une des deux arrivées.

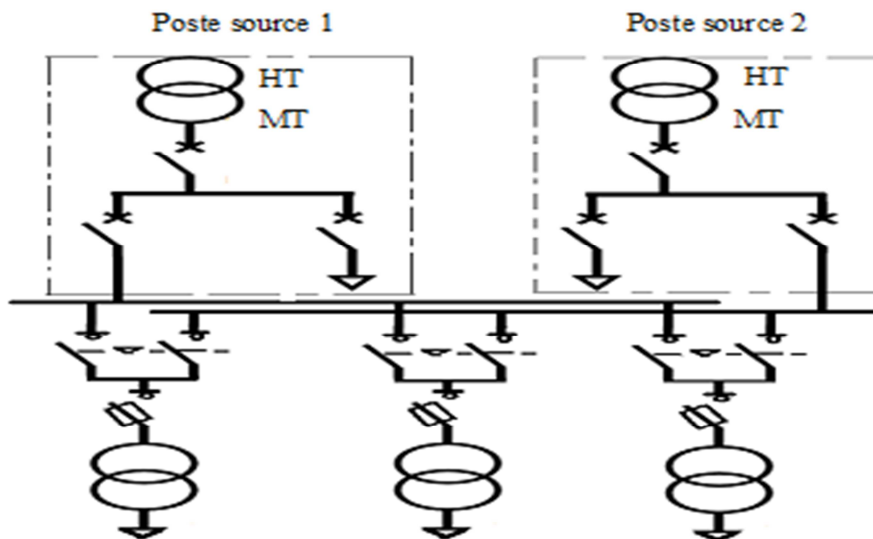


fig-7-

Cette disposition est utilisée en région parisienne et dans quelques grandes villes.

Les dispositions en coupure d'artère et en double dérivation sont employées pour les réseaux souterrains qui ont une continuité bien meilleure que les réseaux aériens. [5]

#### **I-4 : Les surtensions : [13]**

Ce sont des perturbations qui se superposent à la tension nominale d'un circuit. Elles peuvent apparaître :

- entre phases ou entre circuits différents, et sont dites de mode différentiel,
- entre les conducteurs actifs et la masse ou la terre et sont dites de mode commun,
- des interruptions courtes (réenclenchement automatiques sur les réseaux de distribution publique MT par lignes aériennes),
- des interruptions longues (intervention pour changement d'isolants détruits, voire remplacement de matériel).

##### **I-4-1 : Définition :**

Toute tension appliquée à un équipement dont la valeur de crête sort des limites d'un gabarit défini par une norme ou une spécification est une surtension. [2]

##### **I-4-2 : Causes des surtensions :**

Une surtension dans un réseau est provoquée soit par une cause interne, soit par une cause externe au réseau.

###### **Les causes internes :**

- Coupure ou déclenchement de courant inductif ou capacitif ;
- Arrachage d'un arc ;
- Commutation de l'électronique de puissance ;
- Apparition d'un défaut ;
- Disparition d'un défaut ;
- Perte d'une charge.

###### **Les causes externes :**

- Foudre frappant directement (impact) ou indirectement (induction) la ligne.

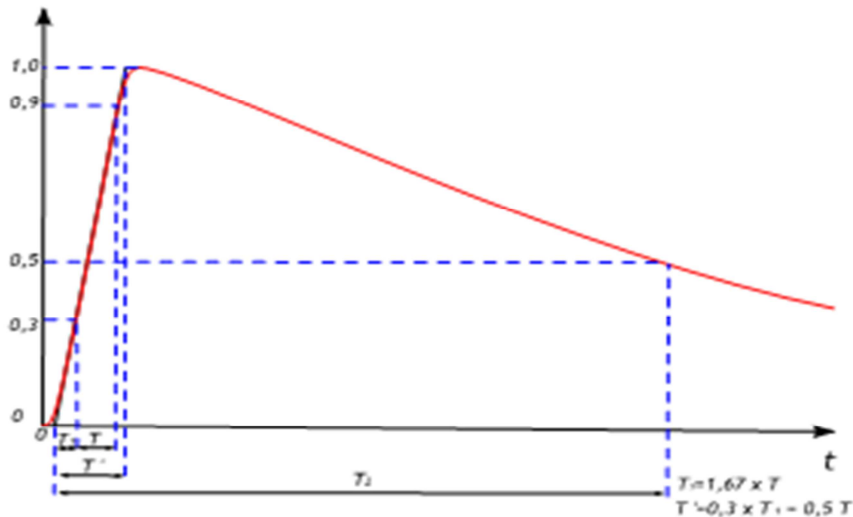
Quand la cause est interne, la surtension est dite de manœuvre et quand elle est externe, elle est dite de foudre.

##### **I-4-3 : Description d'une onde de surtension de foudre : [14]**

Elle se présente sous la forme d'une impulsion apériodique à front raide (figI-8).

Elle est définie par la valeur crête, la raideur et la longueur. On peut distinguer 3 phases successives dans une surtension :

- Montée rapide de la tension ;
- Passage par une tension maximale ;
- Diminution de la tension.



**Fig. (I-8) :** Onde de tension de choc de foudre

#### **I-4-4 : Origines des surtensions : [14]**

Quatre types de surtensions existent :

- D'origine atmosphérique ;
- Par décharge électrostatique ;
- De manœuvre ;
- A fréquence industrielle.

##### **I-4-4-1 : Les surtensions d'origine atmosphérique : [13]**

La foudre est un phénomène naturel apparaît en cas d'orage.

L'orage est un phénomène naturel connu de tous, spectaculaire et dangereux.

1 000 orages éclatent en moyenne chaque jour dans le monde.

### I-4-4-1-1 : Formation des orages :

Le nuage orageux est généralement du type Cumulo-nimbus (forme d'enclume, couleur sombre à la base), un tel nuage est en générale constitue en partie haute de cristaux de glace chargés positivement et en partie basse de goutellettes d'eau chargées négativement . Cette séparation de charge, due aux mouvements d'air, crée des contraintes électriques à l'intérieur du nuage lui-même et entre le nuage et le sol. Lorsque le gradient limite de claquage de l'intensité du champ électrique (E) dans l'air est atteint, on obtient une décharge pouvant se produire soit à l'intérieur du nuage ou entre deux nuages voisins ; soit entre le nuage et le sol. Nous ne nous intéresserons par la suite qu'aux décharges entre nuage et sol et en particulier aux coups de foudre descendants. La décharge est initiée par un « leader » ou pré décharge qui part du nuage et se dirige vers la terre en progressant par bords successifs séparés par des intervalles de temps variant entre 40 et 200 $\mu$ s : cette pré décharge est appelée ; selon la terminologie anglo-saxonne, « stepped leader ». La vitesse moyenne de développement du stepped leader est de l'ordre de 0.15 à 0.20m / microseconde, il lui faut donc de 10 à 20ms pour parcourir le trajet nuage-sol. Le stepped leader est un canal ionisé (conducteur), qui présente une concentration de charges électriques : celle-ci joue un rôle important dans le mécanisme d'impact au sol, c'est-à-dire dans le choix du point exact qui va être touché par la foudre. Nous y reviendrons plus loin. Disons des ici que, à l'instant du contact avec le point d'impact, ce canal ionisé forme un pont conducteur entre le sol et le nuage, pont qui va permettre le passage du courant de foudre proprement dit, de forte intensité. [3]

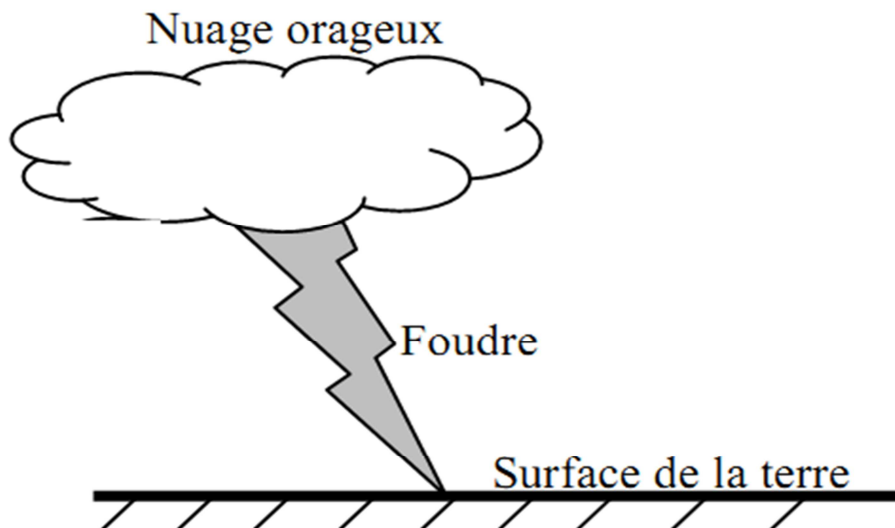


Fig. (I-9)

### I-4-4-1-2 : Principe du coup de foudre :

Un coup de foudre est toujours un pré décharge peu lumineuse, ou traceur, qui progresse à travers l'air neutre avec une vitesse relativement faible. Ce pré décharge à son origine, soit dans le nuage et elle progresse alors en direction du sol, soit au niveau du sol, et progresse vers le nuage. Dans les deux cas tout se passe comme si le canal ainsi formé, quoique faiblement ionisé, formait entre le sol et le nuage un pont suffisamment conducteur pour préparer la voie à un courant intense, qui sera le courant de foudre proprement dit.

On classe donc tout d'abord les coups de foudre selon le sens de développement du traceur (où leader, selon la terminologie anglaise) :

- Les coups de foudre descendants (développement du traceur à partir du nuage) ;
- Les coups de foudre ascendants (développement du traceur à partir du sol) ;

En pays plat, le coup de foudre normal, de loin le plus fréquent, est descendant pour qu'un coup ascendant puisse se développer, la présence d'une proéminence importante, telle qu'une tour élevée est nécessaire ; c'est aussi la raison pour la quelle le coup ascendant se produit plus fréquemment en montagne. On classe les coups de foudre selon le sens d'écoulement du courant principale on définira :

- Les coups de foudre positifs, lorsque la partie positive (généralement ilot positif à la base du nuage) se décharge. [4].
- Les coups de foudre négatifs, lorsque la partie négative d'un nuage se décharge.

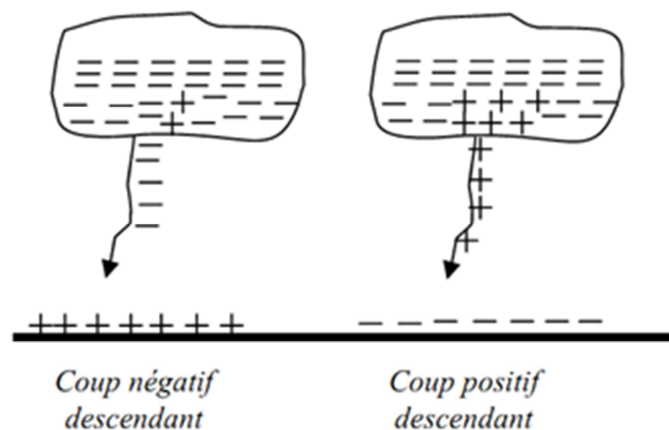


Fig I-10

### I-4-4-1-3 : Le coup de foudre direct :

L'impact direct sur une ligne électrique ou téléphonique, génère une onde de tension (courant) qui se propage. Cette onde, qui est amortie par l'effet couronne et la résistance de la ligne, est coupée soit par l'isolateur à cornes soit par les moyens de protection au poste.

Comme le courant de la foudre est rarement inférieur à 10kA, et que l'impédance caractéristique d'une ligne aérienne est environ  $300/\Omega_0$ , l'onde de tension atteindra au maximum 1000kV.

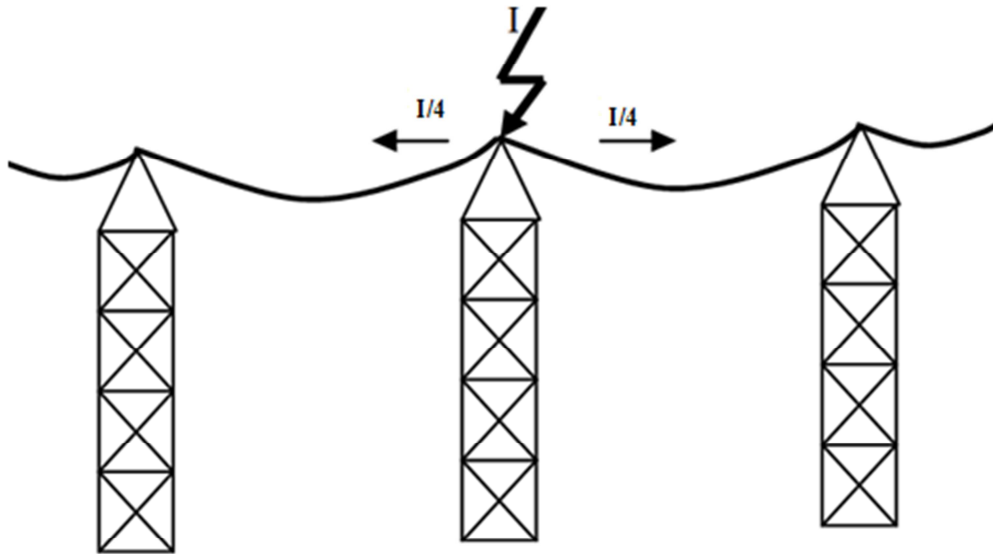


Fig. (I-11)

#### I-4-4-1-4 : Le coup de foudre indirect :

C'est la manifestation à distance d'un coup de foudre direct. Ses effets sont ici abordés selon trois aspects : Les surtensions conduites ; et le rayonnement. [5]

#### I-4-4-1-5 : Surtensions conduites :

Des surtensions conduites font suite à un impact sur des lignes aériennes. Elles peuvent atteindre plusieurs centaines de kilovolts. Si l'impact a lieu sur un réseau HT, la transmission par le transformateur à la MT se réalise par couplage capacitif. En général moins de 4% de l'amplitude de la surtension coté HT se retrouve du coté MT. [6]

#### I-4-4-1-6 : Elévation du potentiel de terre

Une élévation du potentiel de terre a lieu lorsque le courant de foudre est écoulé par le sol. Cette variation du potentiel de terre touche les installations lorsque l'impact de la foudre au sol est à proximité de leurs prises de terre. Ainsi à une distance donnée  $D$  du point d'impact de la foudre, le potentiel  $U$  s'exprime par l'équation :

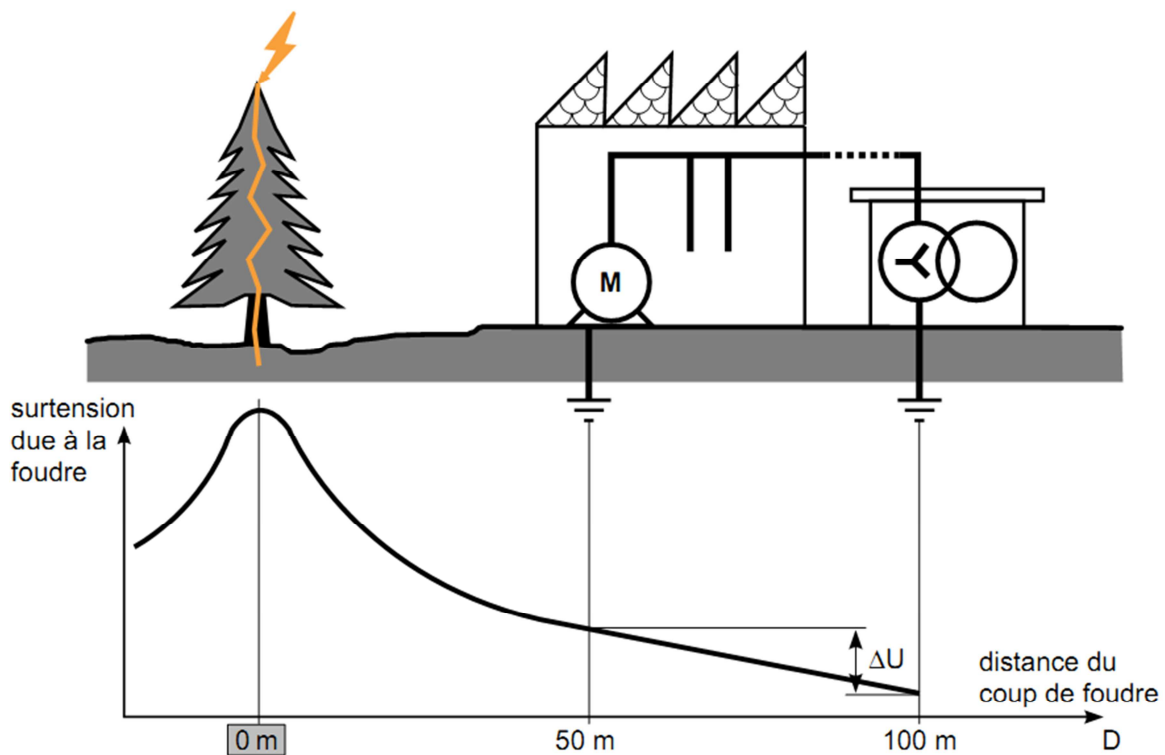
$$U = 0,2 \cdot I \cdot \rho_S / D$$

Avec :

$I$  : Courant de foudre,

$\rho_S$  : Résistivité du sol.

En appliquant cette formule au cas de la fig (coup de foudre), avec  $I=20\text{kA}$ ,  $\rho_S=1000$  Ohm,  $D_{\text{neutre}}=100\text{m}$ ,  $D_{\text{installation}}=50\text{m}$ , le potentiel de la prise de terre du neutre atteint  $40\text{kV}$  alors que celui de la prise de terre de l'installation est de  $80\text{kV}$  soit une différence de potentiel (ddp) entre les mises à la terre du neutre et de l'installation  $40\text{kV}$ . Cet exemple demeure un cas d'école, puisque dans la réalité les valeurs atteintes au niveau de l'installation excèdent rarement  $10\text{kV}$ . [6]



**Fig. (I-12) :** Diagramme expliquant les montées et différences de potentiel des terres d'une installation électrique

C'est ce phénomène qui explique souvent le foudroiement indirect des animaux : même à 100m du point d'impact, un cheval dans un pré peut subir entre ses pattes arrière et ses pattes avant une différence de potentiel de 50V.

#### I-4-4-1-7 : Coup de foudre sur le câble de garde :

L'amorçage de la ligne lors d'un coup de foudre direct sur les conducteurs des phases pouvant être considéré comme certain, on tente de se protéger en plaçant au-dessus de ces conducteurs des phases des câbles de garde. Relier électriquement à la terre ou chaque et qui ont pour fonction de diriger les coups de foudre vers eux. Lorsque la foudre tombe directement sur un support métallique, l'écoulement du courant vers la terre entraîne une élévation de potentiel des structures métalliques. La tension apparaissant aux bornes de la chaîne d'isolateurs dépend alors de la résistance  $R$  (en onde raide) de la prise de terre, de l'inductance  $L$  du pylône, et la manière dont le courant de foudre se répartit par l'intermédiaire des câbles de garde, sur les supports les plus proches si  $k i(t)$  est fonction de courant s'écoulant par un pylône, la tension aux bornes des chaînes d'isolateurs prendra sensiblement pour valeur :

$$U(t) = k \left[ R \cdot i(t) + \frac{d i(t)}{dt} \right]$$

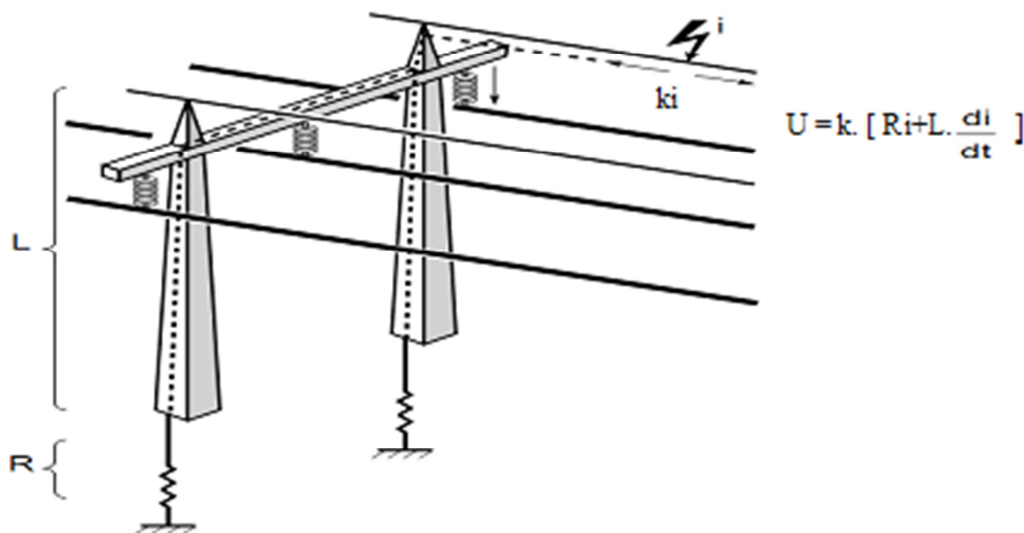


Fig.(I-13) : Coup de foudre tombant sur un câble de garde

$i$  : le courant de foudre

R : Résistance

L : inductance

Lorsque cette tension atteint la tension d'enroulement de l'isolement de la ligne, il se produit un amorçage en retour. [6]

#### I-4-4-1 -8 : Le rayonnement :

Le rayonnement est un autre effet car un coup de foudre indirect peut produire une variation extrêmement rapide du champ électromagnétique. Celle-ci est à l'origine des tensions induites dans les boucles. Ainsi il est courant de trouver, à proximité des orages, des tensions induites d'une centaine de volts. Les champs électriques associés, rayonnés par l'éclair, peuvent atteindre 50kv/m. Ils peuvent induire des tensions importantes dans les circuits ouverts qui se comportent comme des antennes. Un front très raide et un amortissement rapide caractérisent ces phénomènes.

#### I-4-4-2 : Surtension par décharges électrostatique :

Une ligne située à proximité d'un nuage électrisé se charge en électricité de signe contraire. Si le nuage se décharge brusquement à la terre, la charge de la ligne est libérée, il en résulte une surtension qui peut atteindre 500kV en 1us. ce n'est dangereux que pour les réseaux MT et BT. [7]

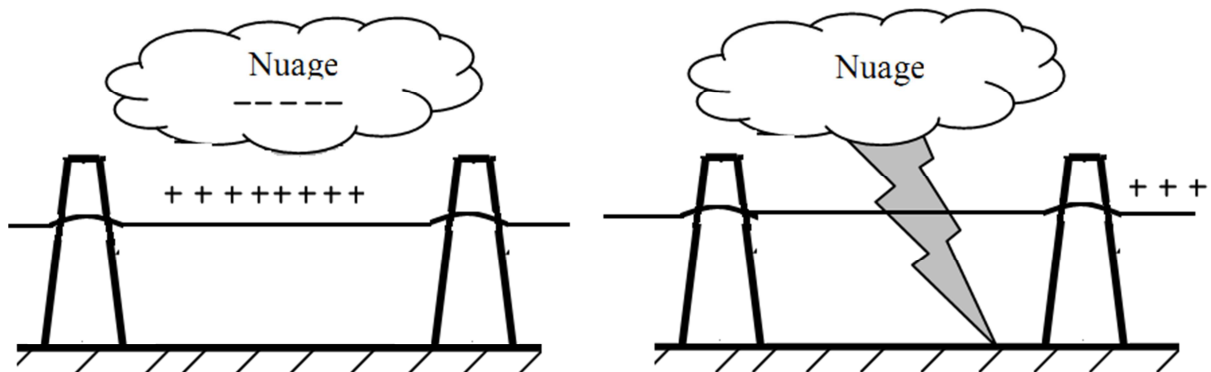


Fig. (I-14) surtension par décharge électrostatique

#### I-4-4-3 : surtension de manœuvre :

On considère comme manœuvre dans un réseau tout ce qui contribue à changement du schéma de ce réseau :

Ouverture ou fermeture d'une source, charge, ligne, etc.

La surtension de manœuvre est le transitoire, rapidement amorti, consécutif à la manœuvre, par opposition à la surtension temporaires. [4]

#### **I-4-4-3-1 : La commutation de courants inductifs:**

Transformateur à vide ou chargés par des inductances de compensation. [10]

#### **I-4-4-3-2 : La commutation de courant capacitif :**

Lignes et câble à vide ou terminés sur transformateurs à vide, batteries de condensateur. [10]

#### **I-4-5 : La protection contre les surtensions :**

##### **I-4-5-1 : principe de la protection :**

La protection des installations et des personnes contre les surtensions est d'autant meilleure qu'un écoulement des perturbations vers la terre est assuré, et ceci la plus près possible des sources de perturbation cela impose la mise en œuvre de prises de terre de faible impédance.

Ainsi, on distingue 3 niveaux de protection contre les surtensions :

➤ **1er niveau de protection :**

L'objectif est d'éviter l'impact direct sur les ouvrages en captant la foudre et en l'orientant vers des lieux d'écoulement privilégiés, au moyen de :  
Paratonnerres, dont le principe est basé sur la distance d'amorçage ; une tige placée en haut de la structure à protéger capte la foudre et l'écoule à travers le réseau de terre ;  
Cages maillées ou de Faraday ;  
Câbles de garde.

➤ **2e niveau de protection :**

Son but est d'assurer que le niveau d'isolement au choc des éléments du poste n'est pas dépassé. Publication, traduction et reproduction totales ou partielles de ce document sont rigoureusement interdites sauf autorisation écrite de nos services.  
Il est réalisé en HT au moyen d'éléments assurant l'écoulement de l'onde de foudre à la terre tels que :

Eclateurs ;

Parafoudres HT.

➤ **3e niveau de protection :**

Utilisé en BT comme protection complémentaire des équipements sensibles (informatique, appareils de télécommunication, ...).

Il est réalisé au moyen de :

Filtres série ;

Limiteurs de surtensions ;

Parafoudres BT.

### **I-4-5-2 : paratonnerre :**

Le paratonnerre est un conducteur relié à la terre qui présente au sommet une forme pointue. Il est placé sur ou près de l'installation à protéger.

#### **I-4-5-2-1 : principe de fonctionnement :**

Grâce au pouvoir de pointe, une décharge créée au sommet du paratonnerre progresse à la rencontre et la capture du traceur de la foudre pour dévier le courant vers la terre.

**Remarque :** lorsque le traceur s'approche du sol, le champ électrique à la verticale de la pointe du traceur s'accroît et atteint en certains endroits des valeurs pouvant atteindre 300 à 400kv /m.

#### **I-4-5-2-2 : Zones de protection contre la foudre :**

La zone de capture est définie comme un volume bien déterminé pour lequel l'entrée en contact d'un canal ionisé, provoquera à coup sûr l'amorçage du coup de foudre sur le sommet de la tige.

#### **I-4-5-2-3 : Distance critique d'amorçage $d_c$ :**

Elle représente la distance de capture (saut final) entre le traceur et le sommet de la tige. Elle est donnée par la formule empirique :  $d_c = 6,7 \cdot I^{0,8}$ .

I : courant de crête de la foudre.

On constate que la zone de capture est d'autant plus grande que la foudre est intense. Par contre, si la foudre est faible la protection est moins sûre.

Il est donc clair que pour des courants de foudre :

- élevés et moyens, la protection est très bonne ;

- Protection est très bonne ;
- Faibles, la protection est moins bonne car le dernier trajet du traceur principal très court.

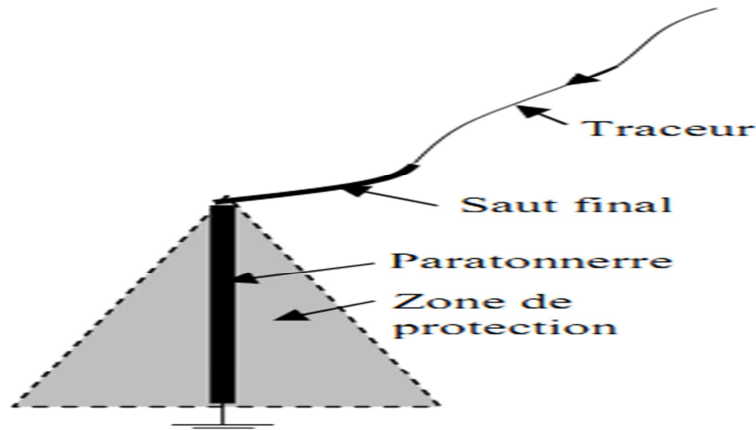


Fig-I-15-

### I-4-5-3 : Les éclateurs :

Utilisés en MT et HT, ils sont placés sur les points des réseaux particulièrement exposés et à l'entrée des postes MT/BT. Leur rôle est de constituer un point faible maîtrisé dans l'isolement du réseau, afin qu'un amorçage éventuel se produise systématiquement là. Le premier et le plus ancien des appareils de protection est l'éclateur à pointes. Il était constitué de deux pointes en vis-à-vis, appelées électrodes, dont l'une était reliée au conducteur à protéger et l'autre à la terre. Les modèles actuels les plus courants sont basés sur ce même principe mais comportent deux « cornes » permettant d'allonger l'arc, de faciliter le rétablissement de qualités diélectriques par désionisation de l'intervalle d'amorçage et d'aboutir, dans certains cas, à l'extinction. Certains ont en plus, entre ces deux électrodes, une tige destinée à éviter le « court-circuitage » intempestif par les oiseaux (fig. (II-4)) et leur électrocution. La distance entre les deux électrodes permet d'ajuster le niveau de protection.

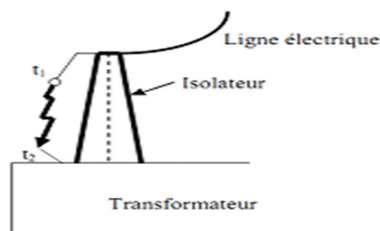


Fig. (I-16) : exemple de protection

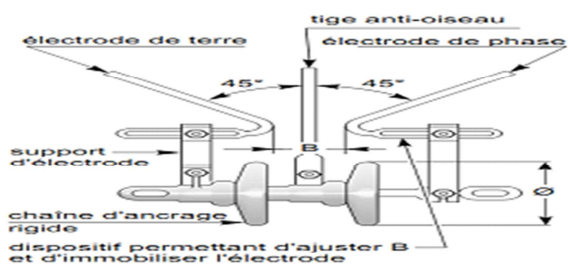


Fig. (I-17) : Un éclateur MT avec tige anti-oiseaux

### I-4-5-4 : Les Parafoudres (varistance) :

Leur avantage est de ne pas présente de courant de suite et d'éviter que le réseau soit mis en court-circuit, puis hors tension après amorçage. Différents modèles ont été conçus : parafoudre à filet d'eau, parafoudre à gaz.

#### I-4-5-4-1 : Les parafoudres à oxyde de zinc (ZnO) :

Ils sont constitués uniquement de varistances et remplacent de plus en plus les parafoudres à résistances variables et éclateurs. ( fig. ). L'absence d'éclateur fait que le parafoudre à ZnO est continuellement conducteur mais, sous la tension nominale du réseau protégé, avec un courant de fuite à la terre très faible (inférieur à 10 mA). Leur principe de fonctionnement est très simple et repose sur la caractéristique fortement non linéaire des varistances à ZnO. Cette non-linéarité est telle que la résistance passe de 1,5 M $\Omega$  à 15  $\Omega$

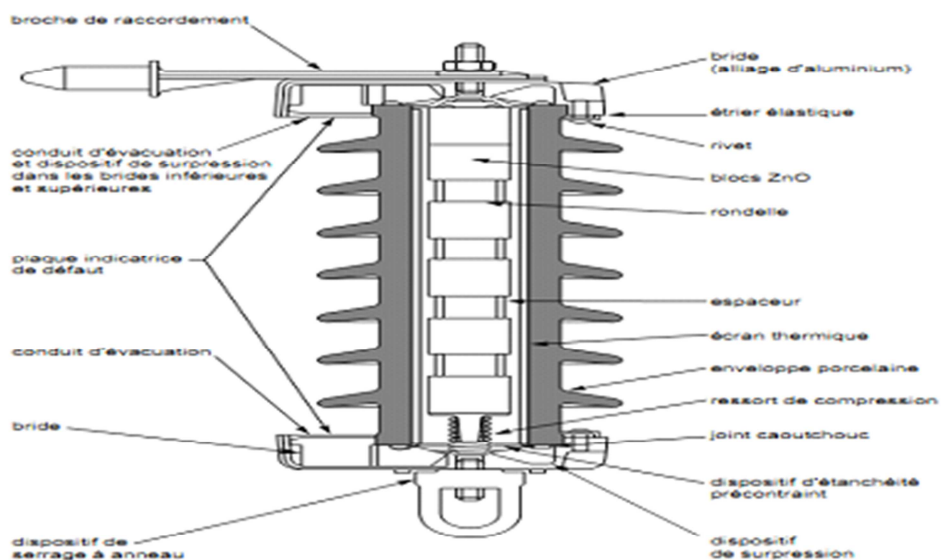


Fig.(I-18) : Exemple de structure d'un parafoudre ZnO en enveloppe porcelaine pour le réseau 20 kV EDF .

#### I-4-5-4-2 : Les parafoudres à résistances variables et éclateurs :

Ce type de parafoudre associe en série des éclateurs et des résistances non linéaires (varistances) capables de limiter le courant après le passage de l'onde de choc.

Après l'écoulement de l'onde de courant de décharge, le parafoudre n'est plus soumis qu'à la tension du réseau. Celle-ci maintient un arc sur l'éclateur, mais le courant correspondant, dit «courant de suite», traverse la résistance dont la valeur est maintenant élevée. Il est donc assez faible, pour ne pas endommager l'éclateur, et être interrompu lors du premier passage à zéro

du courant (extinction naturelle de l'arc). Le non linéarité des résistances permet de conserver une tension résiduelle, qui apparaît aux bornes de l'ensemble, proche du niveau d'amorçage car, plus le courant n'augmente, plus la résistance décroît. Diverses techniques ont été utilisées pour la réalisation des parafoudres à varistances et éclateurs. La plus classique utilise une résistance au carbure de silicium (SiC). Certains parafoudres comportent également des systèmes répartiteurs de tension (diviseurs résistifs ou capacitifs) et des systèmes de soufflage de l'arc (aimants ou bobines pour un soufflage magnétique). Ce type de parafoudre est caractérisé par :

- sa tension d'extinction, ou tension assignée, qui est la tension à fréquence industrielle la plus élevée sous laquelle le parafoudre peut se désamorcer spontanément. Elle doit être supérieure à la plus forte surtension temporaire à fréquence industrielle susceptible d'apparaître sur le réseau.
- Ses tensions d'amorçage suivant les formes d'onde (fréquence industrielle, choc de manœuvre, choc de foudre...) elles sont définies statistiquement.
- son pouvoir d'écoulement de courant de choc, c'est-à-dire la capacité de dissipation d'énergie. On traduit généralement la capacité d'absorption par la tenue à des ondes rectangulaire de courant.

#### I-4-5-4-3 : Principe de fonctionnement :

La varistance est une résistance non linéaire qui chute considérablement lorsque la tension dépasse une valeur limite. En fonctionnement normal en l'absence de surtension, la résistance de la varistance est très élevée et empêche le passage du courant de la ligne vers la terre. Par contre, en régime de surtension la résistance chute subitement pour dévier le courant, et donc la surtension, vers la terre.

Quand l'onde de tension arrive par la ligne électrique, le courant de la foudre choisit le chemin le moins résistance, celui de la varistance, et dévie ainsi vers la terre.

C'est pratiquement de protection qui chute : pour l'éclateur grâce au claquage, pour la varistance grâce à la résistance non linéaire.

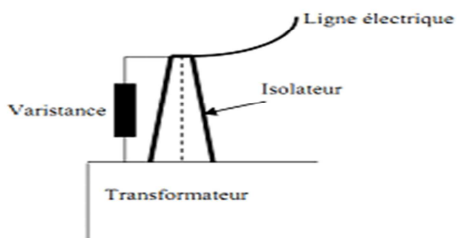


Fig. (I-19) : Exemple de protection d'un transformateur par varistance.

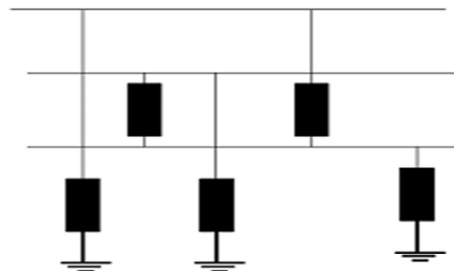


Fig. (I-20) : Protection d'un réseau par des varistances.

#### I-4-5-4-4 : Courbe caractéristique « courant –tension » d'une varistance :

Généralement c'est une varistance en céramique, composée pour la plus grande partie d'oxyde de zinc (ZnO). La figure ci-dessous illustre schématiquement la courbe caractéristique courant –tension du parafoudre.

On a choisi pour les abscisses une échelle logarithmique par exemple, quand le courant est multiplié par  $10^7$ , la tension aux bornes de la varistance n'est multipliée par 2 environ.

La résistance est non linéaire et chute de tension très faible, ce sont les deux propriétés principales de la varistance.

A l'apparition d'une surtension, le parafoudre doit s'amorcer rapidement (0,1us)

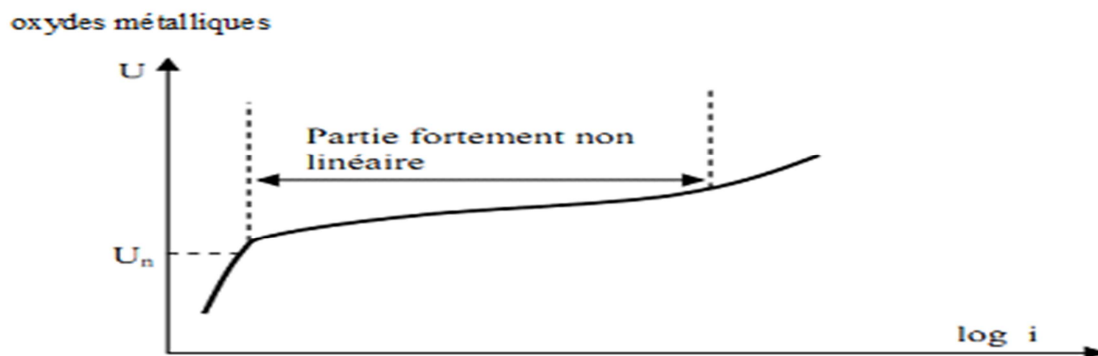


Fig. (I-21) : Courbe caractéristique courant-tension d'une varistance à varistance grâce à la résistance non linéaire.

#### I-4-5-4-5 : Double protection :

Protection en série utilisée pour protéger les équipements importants (chers) et sensibles.



Fig. (I-22) : Double protection

**Conclusion :**

Les surtensions on plusieurs origines. Pour éviter les incidents, des études doivent être effectuées pour toute installation nouvelle.

Vient alors la limitation des surtensions par des organes de protection (paratonnerres, parafoudres, éclateurs.....).



## **CHAPITRE II :**

### **Les régimes du neutre**

## Introduction :

Une installation électrique de qualité doit répondre aux attentes des utilisateurs en termes de sécurité et d'exploitation. Une attention particulière doit être apportée au choix des schémas de liaison à la terre (ou appelés « régime de neutre »), car leur influence est fondamentale sur la qualité de l'installation. Si tous les régimes de neutre se valent pour la sécurité des personnes, il en va autrement lorsque l'on considère des critères comme la continuité de service, les risques d'incendie, les défauts d'isolement.

### II-1 : Définition : [7]

Dans tout système triphasé haut ou basse tension existent trois tensions simples, mesurées entre chacune des phases et un point commun appelé « point neutre ». Physiquement, le neutre est le point commun de trois enroulements montés en étoile (voir figure II-1). Lorsque le conducteur de neutre est présent, on dit que le neutre est distribué.

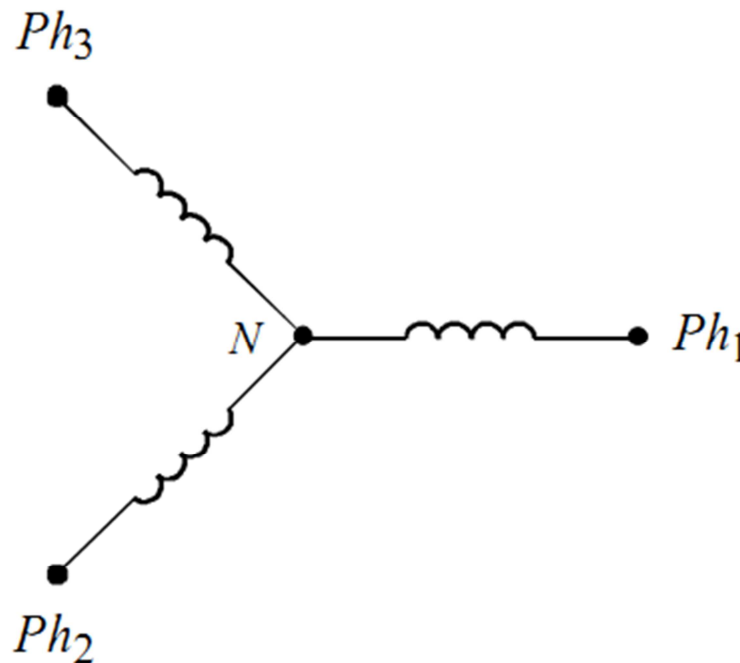


Fig-II-1 : point neutre d'un système triphasé en étoile

Dans une installation haut ou basse tension, le neutre peut ou non être relié à la terre. On parle alors de régime du neutre.

La connexion du neutre à la terre peut être réalisée directement, ou par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance. Dans le premier cas, on dit que le neutre est mis à la terre par une impédance.

Lorsqu'il n'existe aucune liaison intentionnelle entre le point neutre et la terre, on dit que le neutre est isolé. Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important. Lors d'un défaut d'isolement, ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prise par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre à la terre.

Un neutre mis directement à la terre limite fortement les surtensions ; par contre, il engendre des courants de défaut très important .Au contraire, un neutre isolé limite les courants de défaut à des valeurs très faibles, mais favorise l'apparition de surtensions élevées.

La continuité de service en présence d'un défaut à la terre est également liée au régime du neutre. Un neutre isolé permet la continuité de service lors d'un défaut à la terre, sous réserve de respecter le décret sur la protection des travailleurs. Un neutre mis directement à la terre ou par une faible impédance impose au contraire un déclenchement dès l'apparition du premier défaut à la terre.

L'importance des dommages que subissent certains équipements, tels que les moteurs et les alternateurs présentant un défaut d'isolement interne, dépend également du régime du neutre.

Dans un réseau à neutre isolé ou fortement impédant, les dommages sont au contraire réduits, mais il faut que les équipements aient un niveau d'isolement compatible avec le niveau des surtensions pouvant se développer dans ce type de réseau.

Le régime du neutre à également une influence important sur le niveau des perturbations électromagnétiques engendrées lors d'un défaut. Les schémas favorisant des courants de défaut élevés et leur circulation dans les structures métalliques des bâtiments sont très perturbateurs ; au contraire, les schémas qui réduisent ces courants et qui garantissent une bonne équipotentialité des masses le sont peu.

Le choix du régime du neutre, tant en basse tension qu'en haute tension, dépend à la fois de la nature de l'installation et de celle du réseau .Il est également influencé par la nature

des récepteurs, la recherche de la continuité de service et la limitation du niveau de perturbation subi par les équipements sensibles.

## II-2 : Choix du régime de neutre :

Le choix du régime de neutre s'analyse en fonction des critères suivants :

- Niveau de tension, car le matériel doit avoir un niveau d'isolement compatible avec les surtensions engendrées lors des défauts monophasés,
- Coordination des isolements, les courants de défaut à la terre devant induire, compte tenu de la politique des mises à la terre des ouvrages des montées en tension locales compatibles avec les isolements du matériel à basse et moyenne tension ,
- Réglementation et législation concernant les élévations de tensions, des masses, la sensibilité de détection,
- Continuité de fourniture en cas de défaut à la terre,
- Limitation du courant de défaut à la terre pour diminuer les contraintes, électrodynamiques sur les matériels et réduire les phénomènes d'induction sur les lignes de télécommunication et les surtensions sur le matériel BT,
- Recherche de l'auto extinction des défauts monophasés,

## II-3 : Les différents régimes de neutre :

Les différents modes de raccordement du point neutre à la terre sont les suivant :

- Le neutre directement mis à la terre,
- Le neutre isolé, où fortement impédant,
- Le neutre mis à la terre à travers une impédance de limitation,
- Le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance accordée (bobine de Petersen)

### II-3-1 : Neutre mis directement à la terre :

Une liaison électrique est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre. Ce type de mis à la terre limite au mieux les surtensions et la sélectivité des protections ne présente pas de difficultés et c'est la solution la plus simple et la moins coûteuse. Par contre,

en cas de défaut à la terre, le courant n'est pas limité, les dégâts et les perturbations sont maximaux et le danger pour le personnel est important pendant la durée du défaut, cette solution n'est pas utilisée pour la distribution en haut tension.

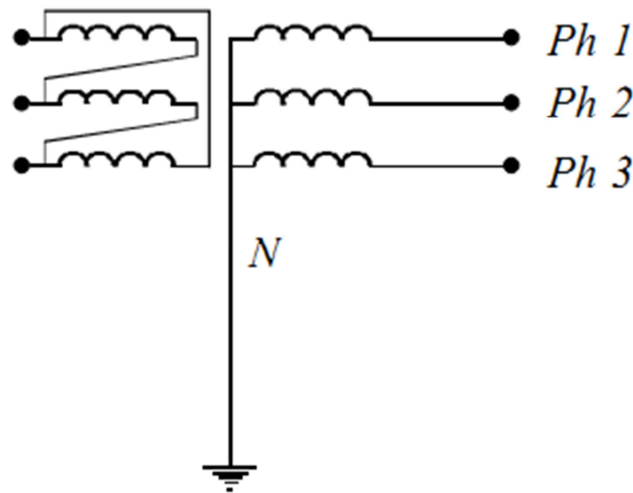


Fig-II-2 : Neutre mis directement à la terre

### II-3-2 : Neutre isolé de la terre :

Il n'existe aucune liaison électrique entre le point neutre. A l'exception des appareils de mesure ou de protection. Le potentiel des divers conducteurs de ligne n'est plus limité à la valeur des tensions simples correspondantes, mais dépend des capacités des trois conducteurs en supposant que l'isolement du système est parfait.

Le neutre étant isolé, ce mode n'entraîne pas de courant de court circuit comme dans le cas du neutre mise à la terre, et l'installation peut continuer à fonctionner, avec les isolements qui sont généralement prévu pour toutes les tensions composées et non pour les tensions simples. Le réseau à neutre isolé est donc sujet à beaucoup mais d'interruption que le réseau à neutre mis à la terre mais le potentiel n'étant fixé que par les impédances de fuite, en particulier par des capacités phase-terre, les risques de surtension sont maximaux. Pour cette raison, on limite l'emploi de ce régime de neutre aux réseaux dont la tension nominale n'excède pas 15 kV.

Ce régime présente de nombreux inconvénients :

Il exige la présence permanents d'un personnel qualifié d'entretien pour maintenir un très bon niveau d'isolement et intervenir rapidement en cas d'accident.

Le courant de défaut est égal au courant de fuite à la terre des phases saines portées à la tension composée.

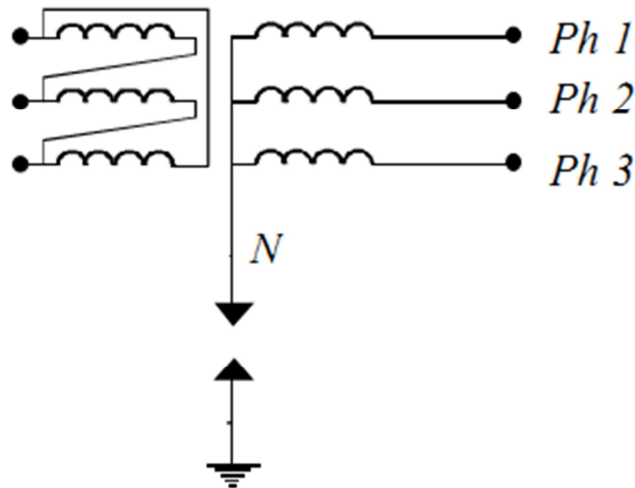


Fig-II-3 : Neutre isolé de la terre

### II-3-3 : Neutre fortement impédant :

Une impédance de valeur élevée est intercalée entre le point neutre et la terre (ce cas est similaire au cas du neutre isolé de la terre).

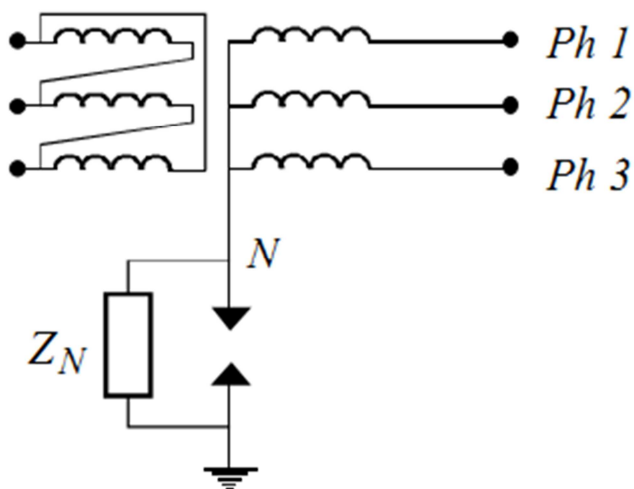


Fig-II-4 : Neutre fortement impédant

### II-3-4 : Neutre mis à la terre à travers une impédance de limitation :

Dans certains cas, il est nécessaire de limiter l'intensité maximale des courants de défauts à la terre par une impédance de limitation placée entre le neutre et la terre. Compte tenu de l'importance du courant à transiter, on utilise une réactance qui n'aura à dissiper qu'une puissance thermique réduite. Suivant des critères technoéconomiques, on choisira :

- Une résistance pour des tensions inférieures à 30kV,
- Une réactance pour des tensions supérieures à 30kV,

Le neutre des réseaux moyenne tension est mis à la terre par une impédance qui limite le courant de défaut monophasé à 300A en zone rurale et 100A en réseau souterrain.

Des bobines triphasées du point neutre sont toutefois employées lorsque l'on est conduit, pour des raisons d'exploitation. A utiliser des transformateurs dont l'enroulement MT est couplé en triangle.

Les surtensions sont fortement amorties à condition de respecter la règle :

$$(I_R \geq 2I_C) \text{ avec } I_R = \frac{V}{R}$$

$I_R$  : Courant maximal dans la résistance pendant le défaut

$I_C = 3C_W$  : Est la somme vectorielle des courants dans les capacités entre phase et terre, pendant le défaut.

Donc :

#### II-3-4-1:L'impédance employée est une résistance pure :

Cette solution n'est valable que pour les tensions inférieures ou égales à 30KV.

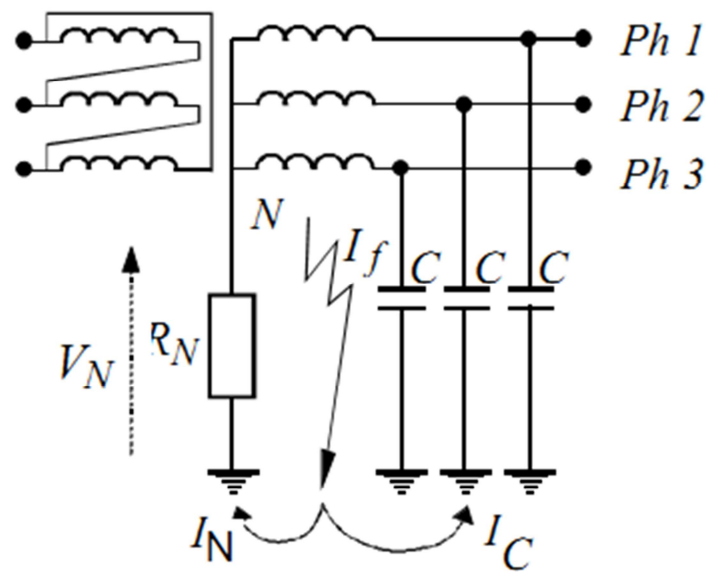


Fig II-5 : Mise à la terre de neutre par résistance de limitation

**II-3-4-2 : L'impédance employée est une réactance :**

Cette solution est adoptée dès que la tension dépasse 30KV, elle limite bien les surtensions des phases saines.

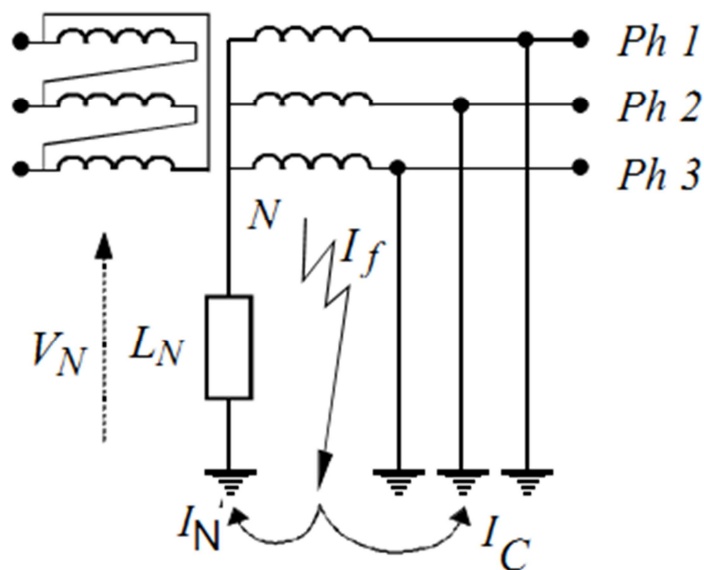


Fig-II-6 : Mise à la terre par du neutre par réactance de limitation

### II-3-5 : Le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance accordée (bobine de Petersen) :

Une réactance accordée sur les capacités du réseau est volontairement intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est nul.

Quand la valeur de la self est telle que sa réactance est la même que celle de la capacité des phases par rapport à la terre, le courant de défaut ne peut pas s'établir, on dit que la conductance d'extinction est réalisée.

Le courant de défaut à la terre est la somme vectorielle du courant capacitif de fuite et du courant dans la réactance qui est presque en opposition de phases par rapport à la terre, on aura :

$3C\omega V = \frac{V}{L\omega}$ . Où  $3LC\omega^2 = 1$ , le courant de défaut est réduit à une valeur très faible.

Toutefois, l'exploitation est alourdie par la nécessité d'accorder la bobine après chaque modification importante de la capacité du réseau, par suite de manœuvres d'extinction.

Ce système est particulièrement intéressant dans les réseaux où les nombreux défauts monophasés fugitifs deviennent auto-extincteurs et dans les réseaux de câble très étendus où le courant capacitif est important.

Cette solution qu'il est bon de connaître, se rencontre très rarement.

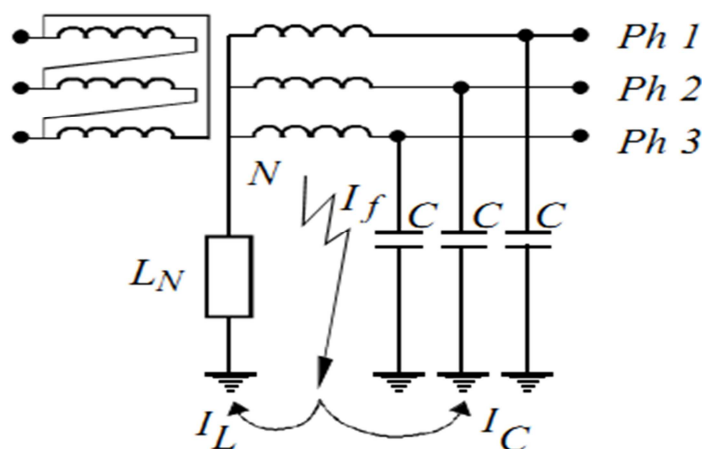


Fig-II-7 : Mise à la terre du neutre par réactance limitation

### Conclusion :

On a pu s'assurer, en passant en revue les différents régimes du neutre, qu'il n'en existe pas un qui répond seul à tous les critères et contraintes.

Néanmoins, on a vu que, selon la nature du réseau à exploiter, on peut toujours trouver une méthode de mise à la terre qui offre le meilleur compromis entre les différentes contraintes.

Lors de la conception d'un réseau électrique H.T. Industriel, il faut choisir un schéma de liaison du neutre mis à la terre : le neutre peut être soit isolé, soit relié intentionnellement à la terre.

Le schéma à neutre isolé en H.T. peut autoriser une continuité de service intéressante en ne déclenchant pas la coupure au premier défaut, mais il implique que la capacité du réseau machines. En contrepartie, le neutre isolé entraîne :

- Des risques de surtensions élevées qui favorisent l'apparition de défauts multiples,
- L'emploi de matériels sur-isolés,
- Une surveillance de l'isolement obligatoire,
- Une protection contre les surtensions sur le point de devenir obligatoire,
- La réalisation d'une protection sélective complexe contre les défauts à la terre ne pouvant généralement pas être effectuée par de simples relais ampérométriques.

Le schéma à neutre mis à la terre entraîne très généralement un déclenchement obligatoire au premier défaut mais, par contre :

- Il amortit les surtensions,
- Il conduit à des protections simples, sélectives, fiables,
- Il autorise l'emploi de matériel et en particulier de câbles ayant un niveau d'isolement plus réduit que le neutre isolé.

En fin, il est très utile de rappeler que la continuité d'un service ne peut pas reposer uniquement sur le régime du neutre.

La conception du réseau (source de remplacement, choix du schéma, sélectivité, recherche de défaut), la réalisation soignée en particulier de l'isolement, la connaissance approfondie de l'installation par le service permettent d'assurer la bonne continuité du service.

## **CHAPITRE III :**

### **Théorie de la création des surtensions d'amorçage d'arc**

### Surtensions, lors de court circuit monophasé dans le réseau avec le neutre isolé :

Il est commode de considérer le processus de la création des surtensions conformément au schéma équivalent monophasé du réseau électrique. On verra que le passage au schéma triphasés ne présente pas des difficultés la considération est bien simplifiée. Si l'on néglige les inductances des lignes et on considère les lignes par leurs capacités localisées. Cette simplification ne tient pas compte des processus transitoires dans la ligne, dont les durées des oscillations sont insignifiantes par rapport à celles des processus qui nous intéressent.

Lors d'une telle simplification le schéma considéré peut être le suivant. fig -III-1

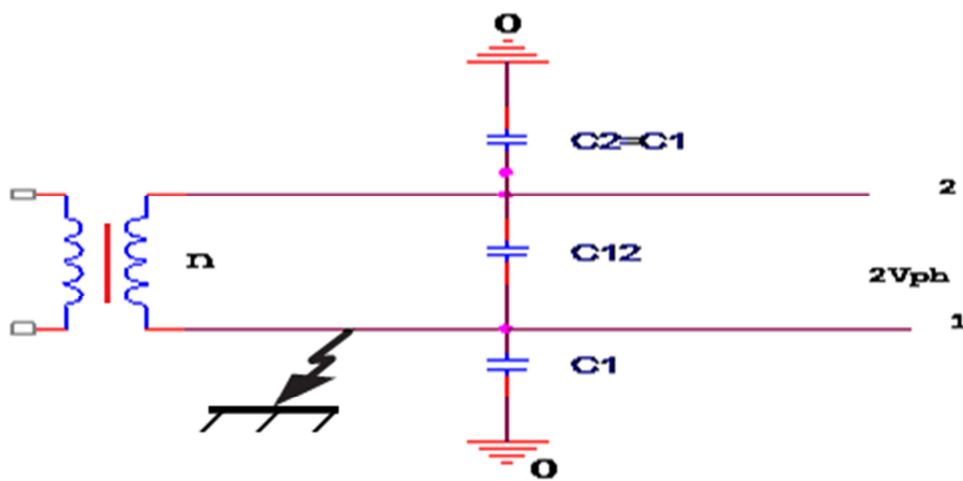


Fig -III-1 :

Où :

$c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_{12}$  : sont les capacités équivalentes entre deux conducteurs, et les conducteurs et la terre ;

$L$  : est l'inductance de dispersion (du côté de haut tension) de tout les transformateurs d'alimentations .on suppose que ces transformateurs reçoivent l'énergie électrique d'une source de la puissance infiniment grande .La différence de tension est  $+(V_{ph}) - (-V_{ph}) = 2V_{Ph}$

$n$ : est le point du neutre du système.

La phase 1 est connectée avec la terre à travers d'un arc.

Soit, le moment de connexion de la phase 1 à la terre correspond à la valeur maximale négative de la tension de la phase 1 ( $-V_{ph}$ )

La capacité C2 ayant la tension (+V<sub>ph</sub>) devient connecté en parallèle avec capacité C<sub>12</sub> chargé jusqu'au (+2V<sub>ph</sub>).

À l'instant initial (t = 0) les charges de ces capacités de ces deux condensateurs à l'instant (t = 0) est :

$$U_{t=0} = \frac{V_{ph}C_2 + 2.V_{ph}.C_{12}}{C_2 + C_{12}} = V_{ph} \cdot \frac{C_2 + 2C_{12}}{C_2 + C_{12}}$$

Le rapport  $\frac{C_{12}}{C_2}$  est égal à  $\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$ . Les grandes valeurs correspondent aux tensions nominales relativement petites. (les petites distances entre les conducteurs). Dans le circuit considère la tension de la source qui est appliquée sur deux condensateurs (+2V<sub>ph</sub>) dépasse la tension U<sub>t=0</sub>, un processus de haute fréquences de chargement des condensateur à travers L se crée. La fréquence de ce processus  $\omega_k$  dépasse à peu près 10 fois la fréquence normale  $\omega$  ( $\omega_k \gg \omega$ ). C'est pour cette raison que le courant d'oscillation  $i_k$  est beaucoup plus grand que le courant capacitif de la mise à la terre ( $i_c = 2\omega.C_2.V_{ph}$ )

On sait, que le courant d'oscillation atteint son amplitude lorsque les tensions de la source et sur les capacités s'égalisent. ce courant diminue jusqu'au zéro en chargeant les capacités jusqu'à la valeur maximale qui est égale à la somme des tensions existante et l'amplitude d'oscillation.

L'amplitude d'oscillation est déterminée à son tour par la différence des valeurs du régime forcé et initial.

En tenant compte d'amortissement des oscillations comme on a montré ci-dessus  $i_k \gg i_c$  et  $\omega_k \gg \omega$ . Pendant une demi période d'oscillation  $\frac{T_k}{2} = \frac{\pi}{\omega_k}$  la tension de la source (+V<sub>ph</sub>) pratiquement ne change pas. et la tension maximale sur C<sub>2</sub> et C<sub>12</sub> devient

$$U_{\max} = 2.V_{ph} + \left( 2V_{ph} - V_{ph} \cdot \frac{C_2 + 2C_{12}}{C_2 + C_{12}} \right) \cdot e^{-\frac{\alpha\pi}{\omega_k}}$$

Où

$\alpha$  : caractérisé l'amortissement du processus.

On voit que :

$\frac{\alpha\pi}{\omega_k}$  : Est très petit.

$$e^{-\frac{\alpha\pi}{W_k}} \approx 1 - \frac{\alpha\pi}{W_k} = 1 - \alpha$$

D'après les résultats des essais qui ont été fait sur les modèles on évalue la valeur (1- d) comme (0.9) et des essais faits dans les réseaux électriques (- 0.8)

Alors, l'amplitude de la tension d'oscillation on peut être évaluée comme suit :

$$U_{Kmax} = V_{ph} \cdot \frac{C_2}{C_2 + C_{12}} \cdot (1 - \alpha) \approx 0.64 \cdot V_{ph}$$

Si,  $C_2 = 3C_{12}$  et  $1 - \alpha = 0.85$ , alors  $U_{Kmax} = 2 \cdot V_{ph} + 0.64 \cdot V_{ph} = 2.64 \cdot V_{ph}$  ; Pour cette tension  $U_{kmax}$  correspond la charge sur  $C_2$ .

$Q_2 = U_{max} \cdot C_2$ , qui ne peut pas passer à la terre après avoir couper le courant à la terre dans le réseau avec le neutre isolé de la terre. Mais ces charges peuvent passer à la capacité  $C_1$ .

Le rapport de ces charges à la somme des capacités  $C_1 + C_2 = 2C_2$  détermine la tension maximale du neutre, qui est égale à  $\frac{U_{max}}{2}$ .

Vu que  $i_k \gg i_c$  on peut prendre accorder que à la valeur nul de  $i_k$  correspondent la valeur nul du courant total à travers la mise à la terre .La rupture du courant in traduit du circuit considéré la capacité  $C_1$ .

La tension de la source  $2V_{ph}$  ne peut pas équilibrer la tension  $U_{max} = 2.64 \cdot V_{ph}$  , Et les charges passent de la capacité  $C_2$  à la capacité  $C_1$  avec une fréquence  $\omega'_k = \sqrt{\frac{2}{L \cdot C_1}}$  .

Lors de la détermination de la tension maximale sur  $C_1$  juste après la coupure du courant, on ne tient pas compte des charges dans  $C_{12}$  parce que ce condensateur est connecté à la source et les charges opposées.

La différence de tension  $2.64 \cdot V_{ph} - 2 \cdot V_{ph} = 0.64 V_{ph}$  se divise également entre  $C_1$  et  $C_2$  avec l'oscillation amortissent.

La valeur initiale de la tension sur  $C_1$  est égale à 0, la valeur forcée  $0.32 \cdot C_1$ .

L'amplitude de l'oscillation sera égale à  $0.32 V_{ph}$  .

Après une demi-période sur la capacité  $C_1$  se crée une tension  $0.64 V_{ph}$  qu'on appelle pic d'extinction.

Si l'on appelle  $U_{max}$  comme  $U_{surt}$  ; alors sur le neutre on a une tension  $U_{surt}/2$ .

Après avoir l'extinction d'oscillation et le changement assez lent de la tension de source de  $+2V_{ph}$  à  $-2V_{ph}$  contribue aux passages des charges de  $C_2$  à  $C_1$  . La tension sur  $C_1$  augmente, par conséquence dans l'intervalle d'air aussi .Le processus peut continuer

comme ça, si cette tension n'est pas suffisante pour allumer à nouveau l'arc. Ce processus est illustré par la fig -III-1. A l'instant  $t=0$  ( première allumage de l'arc ) les tensions sur  $C_2$  et  $C_1$  étaient respectivement  $+V_{ph}$  et  $-V_{ph}$  l'allumage de l'arc diminue la tension  $-V_{ph}$  jusqu'à zéro. La f.e.m égale a  $+2.V_{ph}$  agit au sens du conducteur 2. La tension sur  $C_2$  et  $C_{12}$  prend une valeur (momentanément, à part L)

$$V_{ph} \cdot \frac{C_2 + 2C_{12}}{C_2 + C_{12}} = 1.25.V_{ph}$$

C'est la valeur initiale de la tension d'oscillation et sa valeur forcée  $+2.V_{ph}$ . Avec l'oscillation la tension atteint la valeur  $2.64.V_{ph}$  et le courant d'oscillation diminue jusqu'à zéro (première extinction sur la fig -III-1)

Comme nous avons vu ci-dessus nous négligeons le courant de capacité de la fréquence de source.

Lorsque, le processus de haute fréquence de chargement de  $C_1$  cesse et la tension de la source  $+2.V_{ph}$  sera équilibrée avec les tensions sur  $C_1$  et  $C_2$  (sur  $C_1.2V_{ph} + 0.32V_{ph}$  sur  $C_2 + 0.32.V_{ph}$ ), la tension de neutre sera  $1.32V_{ph}$  qui se maintient (se retient) jusqu'à l'allumage de l'arc à nouveau.

Les tensions sur  $C_1$  et  $C_2$  sont créées par la superposition de la tension du neutre ( $1.32V_{ph}$ ) et la moitié de la tension de source  $1.32V_{ph} + V_{ph} = 2.32V_{ph}$  si, à l'instant du maximum de tension sur  $C_1$  l'arc allume alors le processus écrit ci-dessus se répétera. La tension forcée car  $C_2$  sera  $-2V_{ph}$ .

Les capacités  $C_2$  et  $C_{12}$  serrant connectés en parallèle et la tension sur les quelles devient :

$$\frac{0.32V_{ph} \cdot C_2 - 2V_{ph} \cdot C_{12}}{C_2 + C_{12}} = -0.26.V_{ph}$$

C'est la valeur initiale de l'oscillation avec l'amplitude

$(-2.V_{ph} - (-0.26.V_{ph})) \cdot (1-\alpha) = -1.74.V_{ph} \cdot 0.85 = -1.5V_{ph}$  superposition de cette tension sur  $-2V_{ph}$  donne la tension maximale  $-2V_{ph} + (-1.5V_{ph}) = -3.5V_{ph}$  (voir f.1.)

- La moitié de cette valeur correspond au nouveau déplacement du neutre ( $-1,75V_{ph}$ ), si la rupture de l'air avait lieu lors du premier passage du courant d'oscillation ; sa valeur sera nulle, mais lors du pic d'extinction  $-3,5V_{ph} - (-2V_{ph}) = -1.5V_{ph}$  ne arriverait pas l'allumage de l'arc (2<sup>ème</sup> extinction sur la fig .III.1). Après une demi période sur  $C_1$  en aura la tension  $-1,75V_{ph} + (-V_{ph}) = -2,7V_{ph}$

Si nous continuons la même discussion à l'étape suivante en gardant la même succession d'extinction et d'allumage de l'arc (ce passage de sa valeur nulle de première oscillation du courant et le maximum de tension sur la phase en défaut), alors nous nous

apercevions que l'accroissement de surtension diminue en passant d'une période à l'autre et finalement, la  $n^{\text{ème}}$  surtension est distingué de la précédent seulement avec le signe

$U_{\text{surt}(n)} = U_{\text{surt}(n-1)}$ . Cette limite de surtension est traitée par l'écoulement des charges à la terre lors de la connexion de phase à la terre c.à.d. ces charges sortent du schéma considéré.

La valeur limite de surtension peut être calculée facilement comme suit :

$$U_{\text{surt}(n)} = 2V_{\text{ph}} + (2V_{\text{ph}} - \frac{(\frac{U_{\text{surt}(n-1)} + V_{\text{ph}})}{2} \cdot C_2 + 2V_{\text{ph}}C_{12}}{C_2 + C_{12}}) \cdot (1 - \alpha)$$

Cette expression exprime le processus qui est connu sur l'état forcé ( $2V_{\text{surt}}$ ) est superposé les oscillations.

L'amplitude d'oscillation est déterminée par la différence des tensions initiale et finale. La tension initiale est obtenue par la superposition de la tension du neutre  $\frac{U_{\text{surt}(n-1)}}{2} = -\frac{U_{\text{surt}(n)}}{2}$  et de la tension de phase à l'instant de l'allumage de l'arc ( $+V_{\text{ph}}$ ) et cette somme multiplié à  $C_2$ , puis en additionnant les charges des capacités  $C_2$  et  $C_{12}$  on la divise par la capacité  $C_2 + C_{12}$ .

En soustrayant de la tension finale ( $+2V_{\text{ph}}$ ) la tension initiale et en multipliant cette différence au facteur d'amortissement  $(1-\alpha)$  on trouve l'amplitude d'oscillation, Il est préférable de changer la forme de cette dernière expression en gardant dans laquelle le membre  $\frac{C_1 \cdot (1-\alpha)}{C_1 + C_2}$  et la condition  $C_1 = C_{12}$

$$U_{\text{surt}(n)} \cdot (C_1 + C_{12}) - \frac{U_{\text{surt}(n)}}{2} \cdot C_1 (1 - \alpha) = U_{\text{surt}(n)} \cdot \frac{C_1 + C_{12}}{2} \cdot \left(2 - \frac{(1-\alpha)}{C_1 + C_{12}}\right) = 2V_{\text{ph}} \cdot \frac{C_1 + C_{12}}{2}$$

$\left(2 + \frac{C_1 \cdot (1-\alpha)}{C_1 + C_{12}}\right)$  Et

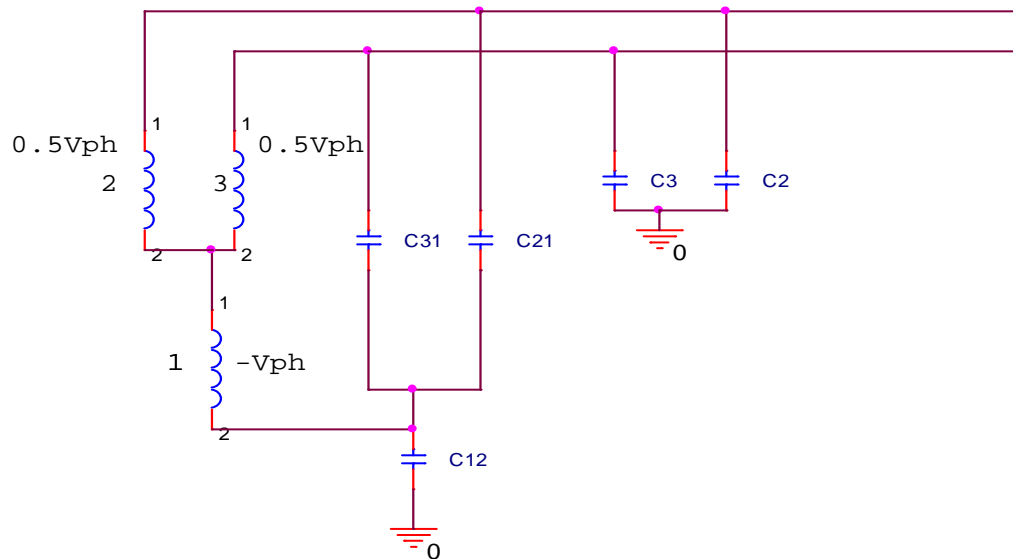
$$U_{\text{surt}(n)} = 2 \cdot \frac{2 + \frac{C_1 \cdot (1-\alpha)}{C_1 + C_{12}}}{2 - \frac{C_1 \cdot (1-\alpha)}{C_1 + C_{12}}}$$

On remarque la liaison de la surtension avec le déplacement de neutre. La moitié de la charge maximale sur  $C_2$  en passant sur  $C_1$  détermine la tension de déplacement du neutre  $U_n$ , par conséquent  $U_{\text{surt}} = 2 \cdot U_n$

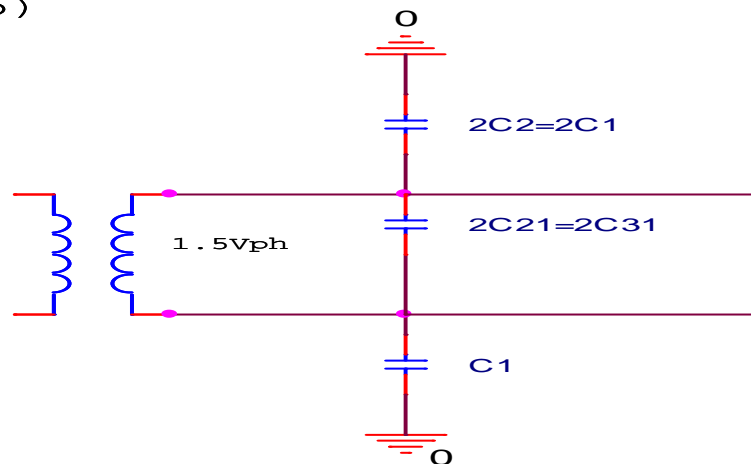
Lors de  $\alpha=0$  et  $C_{12}=0$ ;  $U_{\text{surt}(n)}=6V_{\text{ph}}$ ; mais si  $C_1=3C_{12}$  et  $1-\alpha=0,8$  alors  $U_{\text{surt}(n)} \approx 3.7V_{\text{ph}}$

Le passage au système triphasé ne porte aucune nouvelle seulement les proportions changent. Considérons le schéma de fig -III-2.

a )



b )



Si l'allumage de l'arc sur la phase en défaut est accompli lors de maximum de sa tension, alors les autres phases ont la même tension à ce moment et il n'ya aucun liaison de tenir compte du processus entre eux pour déterminer les surtensions.

Dans ce cas au point de vu des surtensions la valeur maximale de tension appliquée est  $1,5V_{ph}$  au lieu de  $2V_{ph}$  la valeur initiale des tensions sur les phases saines sont  $0,5V_{ph}$ .

La première maximum de tension sans tenir compte d'extinction et les capacités entre les phases est égale à  $V_{ph} \cdot (1,5 + (1,5 - 0,5)) = 2,5V_{ph}$ . Le pic d'extinction  $2,5V_{ph} - 1,5V_{ph} = 1V_{ph}$ .

En tenant compte d'extinction et les capacités entre les masses on obtient le premier pic d'extinction égale à celui dans le schéma monophasé.

Ce qui est important c'est le chargement des capacités des phases saines lors de surtension et leur décharge sur trois capacités. Dans ce cas la tension de déplacement du neutre est de  $\frac{2}{3} V_{ph}$  (dans le circuit monophasé c'était  $\frac{V_{ph}}{2}$ ).

Ceci augmente la tension maximale éventuel .La tension forcée est de  $1.5V_{ph}$ . Les surtensions sur 2 phases saines se créent au même temps (simultanément). Chaque phase saine a la capacité par rapport à la terre et les capacités entre phases. Alors avec le doublement de la capacité par apporte à la terre, la capacité entre phases double aussi .Alors, le 2 du numérateur et de dé numérateur se divisent (sont réduit) .La tension du déplacement du neutre est conditionnée par la répartition des charges de 2 phases sainte  $U_{surt} \cdot 2C_2$  sur 3 phases.

Après avoir fait des transformations simples et en tenant compte de

$$U_{surt(n)} = - U_{surt(n-1)} \text{ on obtient}$$

$$U_{surt(n)} = 1.5V_{ph} \cdot \frac{1.5 + \frac{C_1 \cdot (1-\alpha)}{C_1 + C_{12}}}{1.5 - \frac{C_1 \cdot (1-\alpha)}{C_1 + C_{12}}}$$

Lors de  $\alpha = 0$ ,  $C_{12} = 0$ ,  $U_{surt} = 7.5V_{ph}$

Si,  $C_1 = 3C_{12}$  ;  $1 - \alpha = 0.8$  alors  $U_{surt} = 3.5V_{ph}$

Pour les tensions 35kV et plus  $\frac{C_{12}}{C_1}$  diminué et égale à  $\frac{1}{4}$ . De plus l'extinction peut être petite ( $\alpha = 0.15$ ). Dans ces conditions la tension maximale est :

$$U_{surt(n)} \cdot \frac{1.5V_{ph} \cdot 2.18}{0.82} \approx 4.0V_{ph}$$

On obtient la tension maximale sur la phase qui porte le défaut en ajoutant sur la tension de déplacement la tension de phase pour le schéma monophasé cette valeur est

$$\frac{U_{surt(n)}}{2} + V_{ph} , \text{ pour le schéma triphasé cette valeur est } \frac{2}{3} U_{surt(n)} + V_{ph} .$$

Les dépendances entre les surtensions des phases saines, malade et du neutre rapporter à la tension de phase et les valeurs  $\frac{C_1(1-\alpha)}{C_1 + C_2}$  sont représentés sur la fig -III-3- Ce sont des courbes de vilguein.

Cette théorie de développement du processus de surtension lors de court circuit d'amorçage d'arc est proposé par PETERSEN .V. est appelé la théorie de PETERSEN.

(1916) .Cette théorie ne tient pas compte du schéma de réseau, surtout le schéma de la figure, par conséquent le processus transitoire dans la ligne est négligé.

Les caractéristiques de l'arc ne sont pas prises en considération. L'extinction de l'arc n'a pas lieu lorsque le courant d'oscillation première fois passe sa valeur nulle.

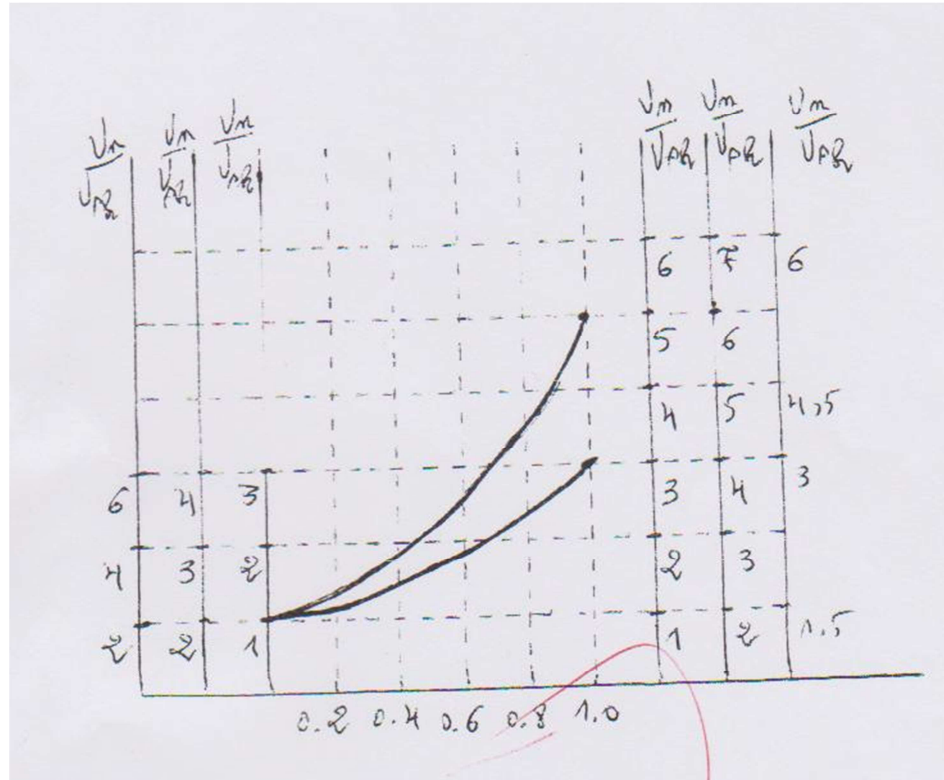


Fig-III-3- Courbes de vilgwein.

## **CHAPITRE IV :**

**Etude des influences de la phase de commencement de c.c sur les surtensions d'amorçage d'arc**

### Introduction :

Cette forme de surtension d'amorçage d'arc crée lors de court circuit monophasé est étudié dans un réseau de tension nominale de 110kV, qui fonctionne avec le neutre isolé de la terre. Le schéma du réseau est représenté sur la figure (IV-1). C'est le schéma d'une partie de réseau électrique. Ce schéma consiste 3 postes électriques, qui sont liés en radial. Dans le première poste ou un transformateur monté en  $\Delta / \lambda$ . Le neutre de l'enroulement secondaire monté en étoile a un point de neutre accessible. Nous considérons les différents régimes de ce neutre. Dans les postes 2 et 3 on a deux charges  $S_{ch1}$  et  $S_{ch2}$ .

D'après ce schéma on construit le schéma de calcul, qui constitue le schéma équivalent des lignes. Pour n'est pas compliquer le schéma de calcul, les charge  $S_{ch1}$  et  $S_{ch2}$  sont ramenées au niveau de haut tension.

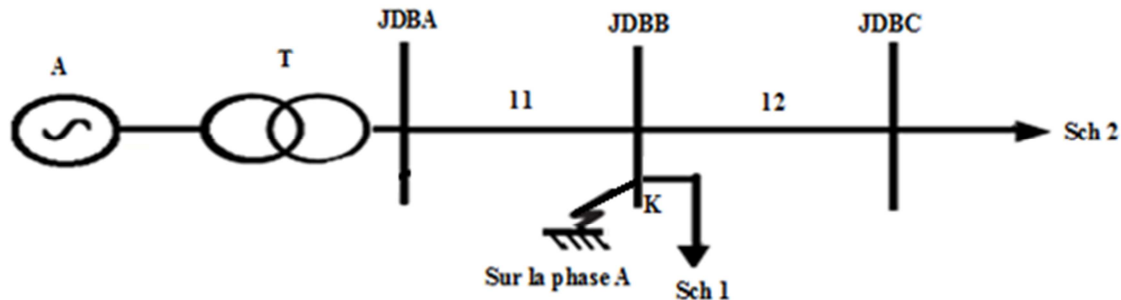


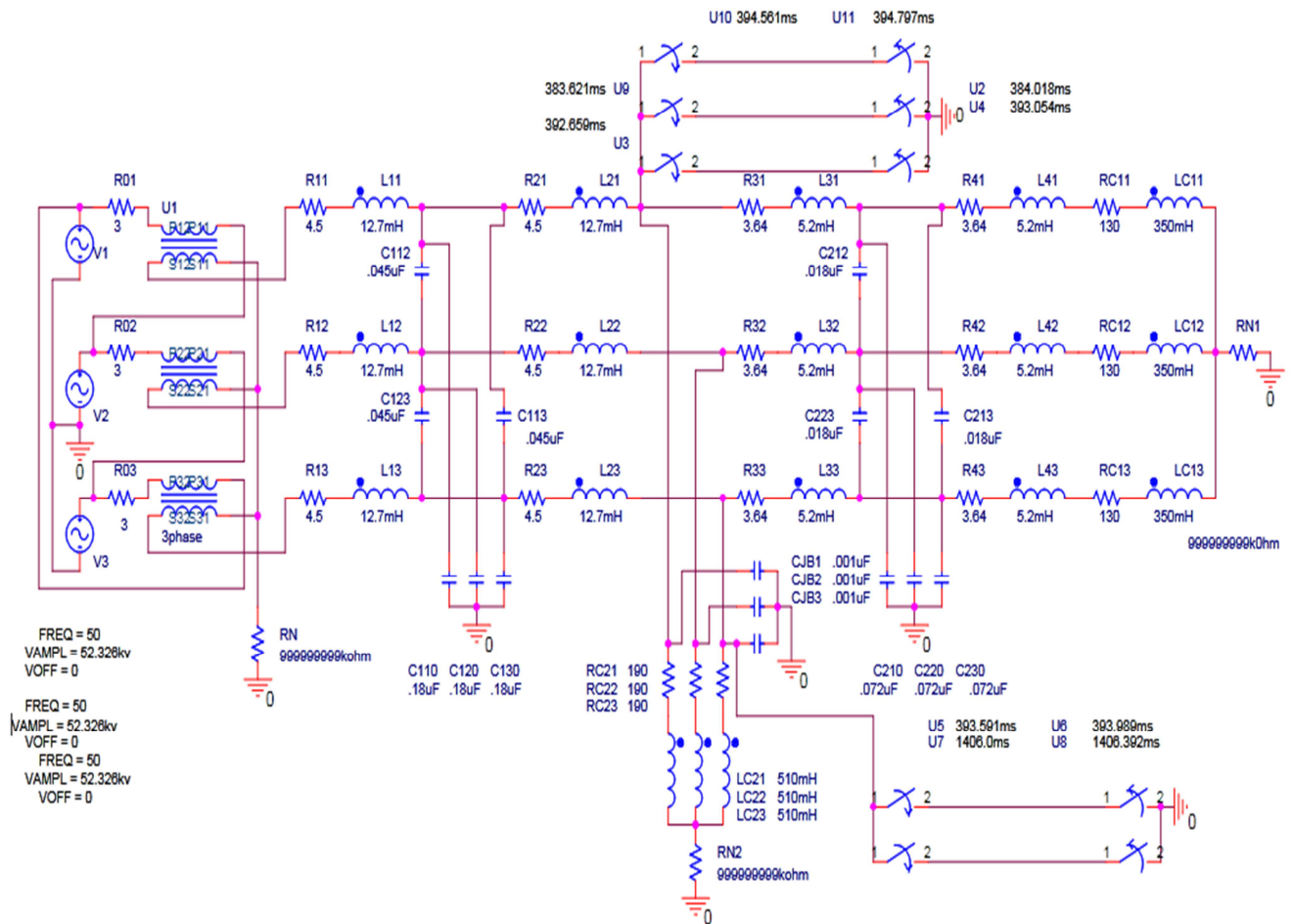
Fig-IV-1 : Schéma de principe du réseau

On considère un court circuit monophasé sur la phase A au niveau de jeu de barre du poste 2.

Le court circuit monophasé est modélisé par quatre interrupteurs réalisant deux allumages et deux extinctions de l'arc de C.C.

### IV-1 : Schéma équivalent de réseau étudié :

Le schéma équivalent est représenté sur la figure (IV-2)



Fig(IV-2) : Le schéma équivalent de réseau

### IV-2 : Calcul des paramètres du réseau : [11]

On calcule les paramètres de schéma équivalent représenté sur la figure (III-2).

#### IV-2-1 : Calcul des paramètres des lignes $l_1$ et $l_2$ :

D'habitude, les lignes sont caractérisées par quatre paramètres  $r$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $g$ , sont respectivement : Résistance, inductance, capacité et la conductibilité.

Mais, le paramètre  $g$  des lignes jusqu'à la tension nominale 330kV est très petite et on la néglige dans les calculs. Donc, pour les lignes des schémas considérés nous avons trois paramètres  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

- **Calcul de la résistance R :**

$$\begin{cases} R_l = r_0 \cdot l & (1) \\ r_0 = \rho \cdot \frac{1}{S} & (2) \end{cases}$$

Tel que :

$R_l$  : La résistance de la ligne ( $\Omega$ )

Où :

$r_0$  : La résistance kilométrique de la ligne ( $\Omega/Km$ )

$l$  : La longueur de la ligne ( $km$ )

$\rho$  : La résistivité électrique du matériau ( $\Omega \cdot mm^2/Km$ )

$S$  : Section du conducteur ( $mm^2$ )

Les valeurs de R pour tous les conducteurs standards sont données dans le catalogue des conducteurs standards. D'après les charges nous choisissons les conducteurs de la ligne 1 et 2 respectivement AA-185 et AA-120, La résistance kilométrique de ces conducteurs sont 0,17 ( $\Omega/km$ ) et 0,27 ( $\Omega/km$ ). [11]

- **Calcul de l'inductance L :**

$$X_l = X_0 * l \quad (3)$$

$$X_0 = 0.144 \log \frac{D_m}{r_c} + 0.016 \quad (4)$$

Où :

$X_0$  : Réactance kilométrique de la ligne ( $\Omega/Km$ )

$X_l$  : Réactance de la ligne ( $\Omega$ )

$r_c$  : Rayon d'un seul conducteur ( $m$ )

$$D_m = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3} \quad (5)$$

$D_m$ : Distance moyenne des conducteurs des trois phases ( $m$ )

$D_1, D_2$  et  $D_3$  : Sont les distances entre conducteurs ( $m$ )

Dans le cas où les conducteurs sont placés aux sommets d'un triangle alors :

$$D_1 = D_2 = D_3$$

Donc :

$$D_m = \sqrt[3]{D^3} = D$$

Et si, sont placés horizontalement alors :

$$D_m = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = \sqrt[3]{2D^3} = \sqrt{2} \cdot D = 1.26 \cdot D$$

Sachant X on trouve L

$$L_l = L_0 * l \quad (6)$$

$$L_0 = \frac{x_0}{\omega} \quad (7)$$

Tel que :

$L_l$  : L'inductance de la ligne (H)

$L_0$  : L'inductance kilométrique de la ligne (H/Km)

Pour les conducteurs considéré  $X_{01} = 0.409$  ( $\Omega$  /km) et  $X_{02} = 0.402$  ( $\Omega$  /km).[11]

- **Calculs des capacités :**

La conductibilité réactive de la ligne est :

$$B = B_0 * l \quad (8)$$

La conductibilité réactive kilométrique est :

$$B_0 = 7.5 * \frac{10^{-6}}{\log \frac{D_m}{r_c}} \quad (9)$$

Sachant  $B_0$  en calcul  $C_0$

$$C_l = C_0 * l \quad (10)$$

$$C_0 = \frac{B_0}{W} \quad (11)$$

Avec :

$B_0$  : Susceptance kilométrique (1/Km)

$C_0$  : Capacité kilométrique de la ligne (F/Km)

$C_l$  : Capacité de la ligne (F)

D'après le tableau  $B_0 =$

- **Calculs des paramètres des charges  $S_{ch1}$  et  $S_{ch2}$  :**

$$\widetilde{S}_{ch} = S_{ch1} * \cos \varphi + j S_{ch1} * \sin \varphi$$

$$I_{Sch1} = \frac{S_{ch1}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$Z_{Sch1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n}$$

$$\widetilde{Z}_{ch1} = Z_{ch1} * \cos \varphi + j Z_{ch1} * \sin \varphi \quad (\Omega)$$

**AN :**

**Ligne 1 :**

D'après les charges 1 et 2 nous choisissons le conducteur AA-185 [11]

La longueur de la ligne 1 est  $l_1 = 120$  km.

### 1) Résistance :

Pour le conducteur AA-185 on a :

$$r_{01} = 0,17 \text{ } (\Omega/km)$$

Alors :

$$R_{l_1} = r_{01} * l_1 = 0,17 * 120 = 20,4 \text{ } (\Omega).$$

### 2) Inductance :

Pour une ligne AA-185  $d_{c1} = 19.1$  mm.

Alors :

$$r_{c1} = 9.55 \text{ mm.}$$

Et :

$$D_m = 5 \text{ m.}$$

Donc :

$$x_{01} = 0.409 \text{ } (\Omega /km).$$

Et :

$$L_{01} = \frac{x_{01}}{2\pi \cdot 50} = 1.3025 \text{ (mH/km)}$$

Donc :

$$L_{l_1} = L_{01} * l_1 = 1.3025 * 120 = 156.3 \text{ (mH)}$$

### 3) Capacités :

On a pour  $d_{c1} = 19.1$  mm,  $D_m = 5$  m.

$$C_{01} = 0.00853 \left( \mu \frac{F}{km} \right)$$

Et :

$$C_{l_1} = 0.00853 * 120 = 1.0236 \left( \mu F \right)$$

$$C_{12} = C_{23} = C_{31} = (0.25 \div 0.4) \cdot C_{10} = 0.33 \left( \mu F \right)$$

### Ligne 2 :

Les conducteur de la ligne 1 est de type AA-120 et de longueur  $l_2 = 80$  km.

#### 1) Résistance :

Pour le conducteur AA-120 on a :

$$r_{02} = 0,27 \left( \Omega / km \right)$$

Alors :

$$R_{l_2} = r_{02} * l_2 = 0,27 * 80 = 21,6 \left( \Omega \right).$$

#### 2) Inductance :

Pour une ligne AA-185  $d_{c2} = 19.1$  mm.  $r_{c1} = 9.55$  mm.

Et :

$$D_m = 4.6 \text{ m.}$$

Donc :

$$x_{02} = 0.402 \left( \Omega / km \right).$$

Et :

$$L_{02} = \frac{x_{02}}{2\pi \cdot 50} = 1.28 \left( \text{mH} / km \right)$$

Donc :

$$L_{l_2} = L_{02} * l_2 = 1.28 * 80 = 102.4 \left( \text{mH} \right)$$

#### 3) Capacités :

On a pour  $d_{c2} = 19.1$  mm,  $D_m = 4.6$  m.

$$C_{02} = 0.0087263 \left( \mu \frac{F}{km} \right)$$

Et :

$$C_{l_2} = 0.0087263 * 80 = 0.698104 \left( \mu F \right)$$

$$C_{12} = C_{23} = C_{31} = (0.25 \div 0.4) \cdot C_{20} = 0.21 \left( \mu F \right)$$

Dans les lignes de 110kV, la conductibilité  $g$  est négligeable car l'effet couronne n'apparaît qu'à partir de 220kV.

**Le jeu de barre :**

$$C_{Jb} = 0.003 \text{ (}\mu\text{F)}$$

Avec :

$C_{Jb}$ : Capacité de jeu de barre

**IV-2-2 : Calcul des paramètres des charges  $\widetilde{S}_{ch1}$  ,  $\widetilde{S}_{ch2}$  :****1) La charge 1 ( $\widetilde{S}_{ch}$ ) :**

On a :

$$\begin{aligned} S_{ch1} &= 34 \text{ MVA} & \text{et} & \cos \varphi = 0.8 \\ \widetilde{S}_{ch1} &= 34 * 0.8 + j 34 * 0.6 = 27.2 + j 20.4 \quad (\text{MVA}) \end{aligned}$$

$$U_n = 110 \text{ kV}$$

Le courant de cette charge est de :

$$I_{Sch1} = \frac{34000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 178.9 \text{ (A)}$$

$$I_{Sch1n} = 180 \text{ (kA)}$$

$$\cos \varphi = 0.8$$

Avec :

$U_n$  et  $I_{Sch1n}$ , la tension et courant nominale de la charge.

$$\text{Or : } Z_{Sch1} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 180} = 353 \quad (\Omega)$$

Et

$$\widetilde{Z}_{ch1} = 353 * 0.8 + j 353 * 0.6 = 282 + j 210 \quad (\Omega)$$

$$\text{D'où : } R_{ch1} = 282 \quad (\Omega)$$

$$L_{ch1} = \frac{210}{\omega} = \frac{210}{314} = 0.672 \quad (\text{H})$$

**2) La charge 2 ( $\widetilde{S}_{ch2}$ ) :**

On a :

$$\begin{aligned} S_{ch2} &= 22 \text{ MVA} & \text{et} & \cos \varphi = 0.8 \\ \widetilde{S}_{ch2} &= 22 * 0.8 + j 22 * 0.6 = 17.6 + j 13.2 \quad (\text{MVA}) \end{aligned}$$

$$U_n = 110 \text{ kV}$$

Le courant de cette charge est de :  $I_{Sch_2} = \frac{22000}{\sqrt{3.110}} = 115.47 \text{ (A)}$

$$I_{Sch_{2n}} = 116 \text{ (A)}$$

Avec :  $I_{Sch_{2n}}$  le courant nominale de la charge.

$$\text{Or : } Z_{Sch_2} = \frac{110000}{\sqrt{3.160}} = 548 \text{ (\Omega)}$$

$$\text{Et } \widetilde{Z}_{ch_2} = 548 * 0.8 + j548 * 0.6 = 438.4 + j328.8 \text{ (\Omega)}$$

$$\text{D'où : } R_{ch_2} = 438.4 \text{ (\Omega)}$$

$$L_{ch_2} = \frac{328.8}{\omega} = \frac{328.8}{314} = 1.0471 \text{ (H)}$$

**NB :** puisque le schéma équivalent de la ligne est un forme "T" alors sur le schéma de calcul nous avons les résistances et les inductances divisées par deux et les capacités restent les même

**Alors :**

$$R_{l_1} = \frac{20.4}{2} = 10.2 \text{ (\Omega)}$$

$$L_{l_1} = \frac{156.3}{2} = 78.15 \text{ (mH)}$$

$$C_{l_1} = 1.06236 \text{ (\mu F)}$$

Et :

$$R_{l_2} = \frac{21.6}{2} = 10.8 \text{ (\Omega)}$$

$$L_{l_2} = \frac{102.4}{2} = 51.2 \text{ (mH)}$$

$$C_{l_2} = 0.698104 \text{ (\mu F)}$$

### IV-3 : Simulation et discussions des résultats :

La simulation est faite par la méthode mathématique en utilisant le logiciel Orcad 16.3 (PSPice).

Les résultats de la simulation permettent de visualiser les surtensions des phases lors de court circuit. Le court circuit est modélisé par les commutateurs  $U_9$ ,  $U_{11}$

Sur le schéma de calcul,  $U_{10}$  est le commutateur à l'aide du quel on mit à la terre le conducteur de la phase A, à l'instant choisit (d'intérêt).

A l'instant où le courant de c.c . passe à sa valeur zéro, l'arc crée sur le point de C.C s'éteint à l'aide de commutateur  $U_{11}$ . Dans une demi-période, lorsque la tension sur la phase endommagée (qui porte le défaut) atteint sa valeur maximale suivent, une deuxième fois l'arc s'allume et ceci réalisé sur le schéma par la fermeture du commutateur  $U_9$  et son extinction à l'aide de commutateur  $U_2$ .

Pour trouver la valeur maximale de surtension, on considère que le court circuit se crée lors de différent valeur de déphasage de la tension  $U_A$  ( $\alpha_A=0, \alpha_A=45^\circ, \alpha_A=90^\circ$ )

Les résultats des calculs sont représentés dans les tableaux (IV-1), (IV-2), et les figures (IV-3),(IV-4),(IV-5),(IV-6),(IV-7),(IV-8) .

#### **IV-4: Résultats de la simulation pour différents valeurs de déphasage de la tension de phase A :**

Le tableau (IV-1) montre l'évolution des surtensions des phases A, B et C en fonction de la phase d'enclenchement et de déclenchement de l'arc électrique.

$\varphi_A$ [°]	0		45		90	
	t [ms]	U <sub>max</sub>   [KV]	t [ms]	U <sub>max</sub>   [KV]	t [ms]	U <sub>max</sub>   [Kv]
Création de 1 arc	t <sub>1f</sub> =378.014	U <sub>Amax</sub> =0	t <sub>1f</sub> =380.571	U <sub>Amax</sub> =0	t <sub>1f</sub> =382.394	U <sub>Amax</sub> =0
	t <sub>1f</sub> =378.014	U <sub>Bmax</sub> =137.066	t <sub>1f</sub> =380.571	U <sub>Bmax</sub> =186.879	t <sub>1f</sub> =382.394	U <sub>Bmax</sub> =198.496
	t <sub>1f</sub> =378.014	U <sub>Cmax</sub> =138.175	t <sub>1f</sub> =380.571	U <sub>Cmax</sub> =158.899	t <sub>1f</sub> =382.394	U <sub>Cmax</sub> =190.972
Extinction de 1 arc	t <sub>1ou</sub> =382.709/383.379	U <sub>Amax</sub> =150.162/152.775	t <sub>1ou</sub> =380.820/380.966	U <sub>Amax</sub> =137.334/173.013	t <sub>1ou</sub> =382.635/382.788	U <sub>Amax</sub> =161.326/210.720
	t <sub>1ou</sub> =382.709/383.379	U <sub>Bmax</sub> =143.441/147.068	t <sub>1ou</sub> =380.820/380.966	U <sub>Bmax</sub> =169.415/186.879	t <sub>1ou</sub> =382.635/382.788	U <sub>Bmax</sub> =189.669/198.496
	t <sub>1ou</sub> =382.709/383.379	U <sub>Cmax</sub> =156.215/157.143	t <sub>1ou</sub> =380.820/380.966	U <sub>Cmax</sub> =145.635/181.773	t <sub>1ou</sub> =382.635/382.788	U <sub>Cmax</sub> =184.017/217.794
Création de 2 arc	t <sub>2f</sub> =393.445	U <sub>Amax</sub> =0	t <sub>2f</sub> =392.394	U <sub>Amax</sub> =0	t <sub>2f</sub> =393.192	U <sub>Amax</sub> =0
	t <sub>2f</sub> =393.445	U <sub>Bmax</sub> =244.834	t <sub>2f</sub> =392.394	U <sub>Bmax</sub> =302.441	t <sub>2f</sub> =393.192	U <sub>Bmax</sub> =311.349
	t <sub>2f</sub> =393.445	U <sub>Cmax</sub> =268.720	t <sub>2f</sub> =392.394	U <sub>Cmax</sub> =283.142	t <sub>2f</sub> =393.192	U <sub>Cmax</sub> =327.146
Extinction de 2 arc	t <sub>2ou</sub> =393.689/393.838	U <sub>Amax</sub> =187.237/260.493	t <sub>2ou</sub> =392.643/392.791	U <sub>Amax</sub> =210.168/278.008	t <sub>2ou</sub> =393.462/393.586	U <sub>Amax</sub> =237.097/306.293
	t <sub>2ou</sub> =393.689/393.838	U <sub>Bmax</sub> =206.707/244.834	t <sub>2ou</sub> =392.643/392.791	U <sub>Bmax</sub> =273/282.277	t <sub>2ou</sub> =393.462/393.586	U <sub>Bmax</sub> =281.172/295.936
	t <sub>2ou</sub> =393.689/393.838	U <sub>Cmax</sub> =263.303/297.960	t <sub>2ou</sub> =392.643/392.791	U <sub>Cmax</sub> =266.940/302.675	t <sub>2ou</sub> =393.462/393.586	U <sub>Cmax</sub> =309.937/353.467

**Tableau (IV-1):** les surtensions des phases A, B et C en fonction de la phase de tension U<sub>A</sub>

**IV-4-1 : Discussions des résultats :**

**IV-4-1-1 : Lors de  $\varphi_A = 0^\circ$  :**

- A l'instant d'apparition de court circuit lors du passage de la tension U<sub>A</sub> de sa valeur zéro (à t = 378.014ms), la tension de la phase endommagée (phase A) diminue jusqu'à zéro et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à 137.066 kV et 138.175 kV.

Comme on a mentionné ci-dessus l'arc s'éteint à l'instant où le courant de c.c transitoire ou forcé a la terre passe sa valeur zéro

- Lorsque l'arc s'éteint (à  $t = 382.709$  ms/ $383.379$  ms), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à  $150.162$  kV/ $152.775$  kV,  $143.441$  kV/ $147.068$  kV. (voir le tableau, où les valeurs du numérateur et du dénominateur correspondent respectivement au passage de sa valeur zéro du courant transitoire et du courant forcé).
- Après au quart période la tension de la phase endommagée atteint sa valeur maximale, et l'arc s'allume la deuxième fois.  
A l'instant d'apparition de court circuit pour la 2<sup>ème</sup> fois (à  $t = 393.445$ ms), la tension de la phase endommagée (phase A) devient nulle comme la première fois et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à  $244.834$  kV et  $268.720$  kV.
- A l'instant où l'arc s'éteint deuxième fois ( à  $t = 393.689$  ms/ $393.838$  ms ), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à  $187.237$  kV/ $260.493$  kV ,  $206.707$  kV/ $244.834$  kV ,  $263.303$  kV/ $297.960$  kV( L'extinction de l'arc à été considérée aux moments où le courant transitoire où le courant forcé passe respectivement par sa valeur zéro pour la 2<sup>ème</sup> fois ). Comme le montre la figure ( IV-3 ) .

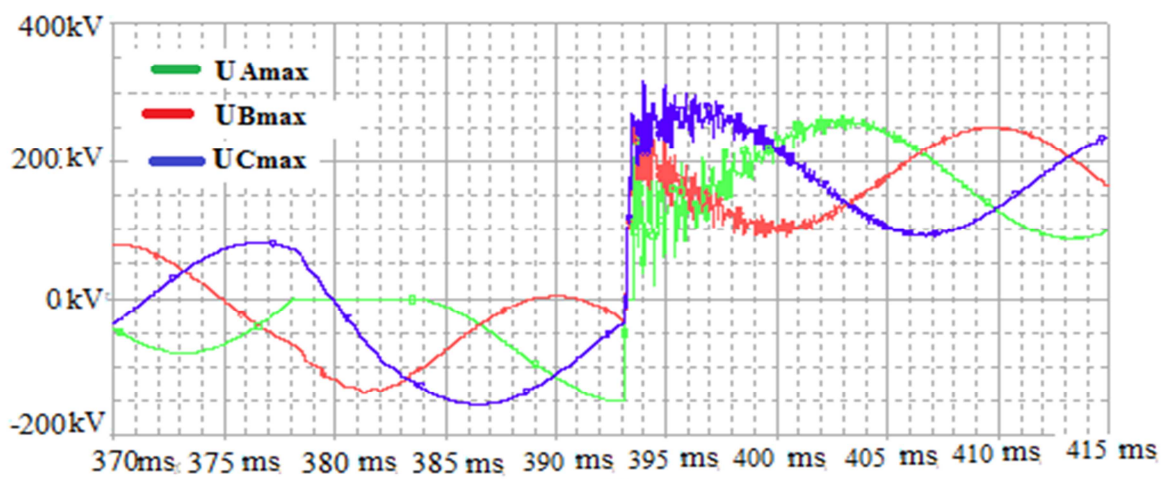


Fig (IV-3) : Le cas où le cc. est arrivé sur la phase A, à l'instant  $\phi_A = 0^\circ$ .

Comme on voit du tableau (IV-1) et de la figure(IV-3) dans la phase endommagé la surtension maximal est 261kV et dans les phases sains 298kV (sur la phase C).

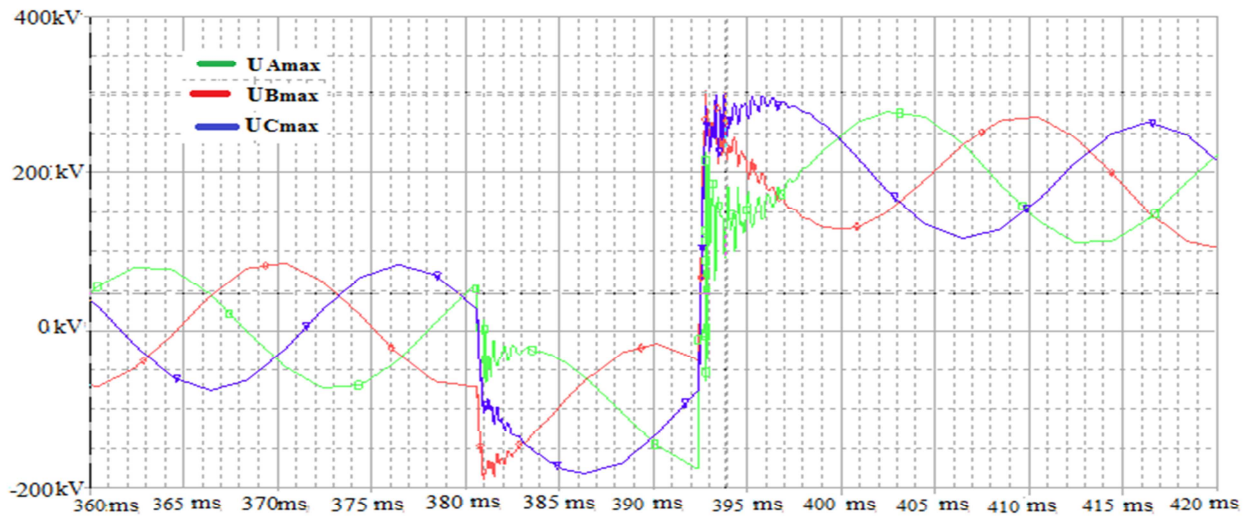
Les facteurs de surtension sont égale respectivement à

$$K_{SA} = \frac{261}{89.65} = 2.91 \quad \text{et} \quad k_{SC} = \frac{298}{89.65} = 3.32$$

$$\rho_{CC} = 89.65 : \text{est l'amplitude de la tension de phase } \left(\frac{110}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} = 89.65\text{kV}\right)$$

#### IV-4-1-2 : Lors de $\varphi_A = 45^\circ$ :

- A l'instant d'apparition de court circuit correspondant à  $\varphi_A = 45^\circ$  (à  $t = 380.571\text{ms}$ ), la tension de la phase endommagée (phase A) devient nulle et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à 186.879 kV et 158.899 kV.
- L'extinction du premier arc (à  $t = 380.820\text{ ms}/380.966\text{ ms}$ ) donne les surtensions suivantes sur la phase A (137.334 kV/173.013 kV), sur la phase B (169.415 kV/186.879 kV), sur la phase C (145.635 kV/181.773 kV).
- L'allumage de l'arc la deuxième fois (à  $t = 392.394\text{ms}$ ) augment les surtensions sur les phases saines respectivement 302.441 kV et 283.142 kV.
- Lors de la deuxième extinction de l'arc (à  $t = 392.643\text{ ms}/392.791\text{ ms}$ ) on trouve 210.168 kV/278.008 kV, 273.000 kV/282.277 kV, 266.940 kV/302.675kV (Comme le montre la figure (IV-4)).

Fig IV-4 : Le cas où le c.c. est arriver sur la phase A, à l'instant  $\varphi_A = 45^\circ$ .

Les facteurs de surtensions sont égales à

$$K_{S_A} = \frac{278}{89.65} = 3.1 \quad \text{et} \quad k_{S_C} = \frac{303}{89.65} = 3.38$$

#### IV-4-1-3 : Lors de $\varphi_A = 90^\circ$ :

Le c.c est arrive à l'instant où la tension  $U_A$  passe sa valeur maximale.

- A l'instant d'apparition de court circuit (à  $t = 382.394\text{ms}$ ), la tension de la phase endommagée (phase A) diminue jusqu'à zéro et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à 198.496 kV et 190.972 kV.
- Lorsque l'arc s'éteint (à  $t = 382.635\text{ ms}/382.788\text{ ms}$ ), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à 161.326 kV/210.720 kV, 189.669 kV/198.496 kV, 174.017 kV/217.794 kV.
- A l'instant d'apparition de court circuit pour la 2<sup>ème</sup> fois (à  $t = 393.192\text{ms}$ ), la tension de la phase endommagée (phase A) devient nulle et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à 311.349 kV et 327.146 kV.
- A l'instant où l'arc s'éteint (à  $t = 393.462\text{ ms}/393.586\text{ ms}$ ), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à 237.097 kV/306.293 kV, 281.172 kV/295.936 kV, 309.937 kV/353.467 kV. Comme le montre la figure (IV-5).

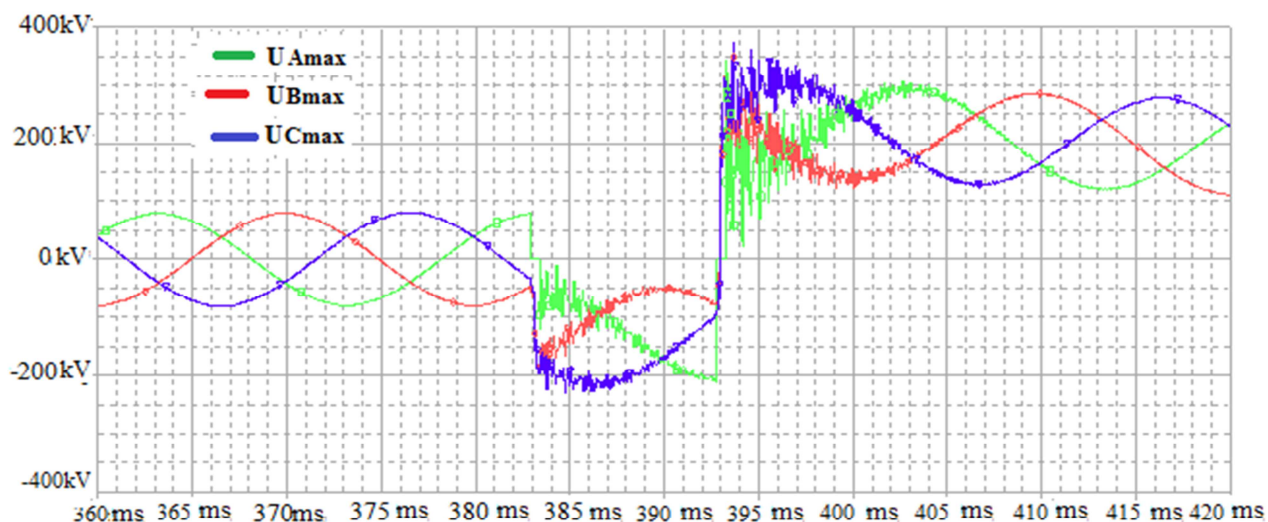


Fig-IV-5 : Le cas où le c.c est arrivé sur la phase A, à l'instant  $\varphi_A = 90^\circ$ .

Les facteurs de surtension correspondant à la phase endommagée et à la phase saine sont

$$K_{SA} = \frac{307}{89.65} = 3.43 \quad \text{et} \quad k_{Sc} = \frac{354}{89.65} = 3.9$$

#### IV-5: Résultats de la simulation pour différents valeurs de déphasage de la tension $U_B$ . Le c.c est sur la phase A.

Ici on considère la création de c.c sur la phase A, mais lors de différents valeurs de déphasage dans une phase saine. On a choisi  $\varphi_B$ .

Le tableau (IV-2) montre l'évolution des surtensions des phases A, B et C en fonction de la phase d'enclenchement et de déclenchement de l'arc électrique.

$\varphi_B$ [°]	0		45		90	
Création de 1 arc	t [ms]	U <sub>max</sub>   [KV]	t [ms]	U <sub>max</sub>   [KV]	t [ms]	U <sub>max</sub>   [Kv]
	t <sub>1f</sub> = 384.901	U <sub>Amax</sub> = 0	t <sub>1f</sub> = 387.500	U <sub>Amax</sub> = 0	t <sub>1f</sub> = 369.890	U <sub>Amax</sub> = 0
	t <sub>1f</sub> = 384.901	U <sub>Bmax</sub> = 152.140	t <sub>1f</sub> = 387.500	U <sub>Bmax</sub> = 144.379	t <sub>1f</sub> = 369.890	U <sub>Bmax</sub> = 167.247
	t <sub>1f</sub> = 384.901	U <sub>Cmax</sub> = 199.982	t <sub>1f</sub> = 387.500	U <sub>Cmax</sub> = 140.788	t <sub>1f</sub> = 369.890	U <sub>Cmax</sub> = 150.532
Extinction de 1 arc	t <sub>1ou</sub> = 385.125/385.372	U <sub>Amax</sub> = 155.879/188.918	t <sub>1ou</sub> = 387.715/387.860	U <sub>Amax</sub> = 98.022/100.807	t <sub>1ou</sub> = 370.120/370.268	U <sub>Amax</sub> = 132.838/150.801
	t <sub>1ou</sub> = 385.125/385.372	U <sub>Bmax</sub> = 145.876/179.593	t <sub>1ou</sub> = 380.820/380.966	U <sub>Bmax</sub> = 93.283/98.090	t <sub>1ou</sub> = 370.120/370.268	U <sub>Bmax</sub> = 156.446/173.721
	t <sub>1ou</sub> = 385.125/385.372	U <sub>Cmax</sub> = 184.777/219.333	t <sub>1ou</sub> = 380.820/380.966	U <sub>Cmax</sub> = 97.175/98.249	t <sub>1ou</sub> = 370.120/370.268	U <sub>Cmax</sub> = 123.704/159.175
Création de 2 arc	t <sub>2f</sub> = 399.748	U <sub>Amax</sub> = 0	t <sub>2f</sub> = 399.857	U <sub>Amax</sub> = 0	t <sub>2f</sub> = 380	U <sub>Amax</sub> = 0
	t <sub>2f</sub> = 399.748	U <sub>Bmax</sub> = 181.791	t <sub>2f</sub> = 399.857	U <sub>Bmax</sub> = 152.685	t <sub>2f</sub> = 380	U <sub>Bmax</sub> = 235.747
	t <sub>2f</sub> = 399.748	U <sub>Cmax</sub> = 155.856	t <sub>2f</sub> = 399.857	U <sub>Cmax</sub> = 144.023	t <sub>2f</sub> = 380	U <sub>Cmax</sub> = 176.307
Extinction de 2 arc	t <sub>2ou</sub> = 399.971/400.118	U <sub>Amax</sub> = 112.070/101.372	t <sub>2ou</sub> = 400.09/400.338	U <sub>Amax</sub> = 120.816/139.975	t <sub>2ou</sub> = 380.226/380.475	U <sub>Amax</sub> = 165.924/208.078
	t <sub>2ou</sub> = 399.971/400.118	U <sub>Bmax</sub> = 144.547/104.105	t <sub>2ou</sub> = 400.09/400.338	U <sub>Bmax</sub> = 139.110/148.925	t <sub>2ou</sub> = 380.226/380.475	U <sub>Bmax</sub> = 216.424/260.810
	t <sub>2ou</sub> = 399.971/400.118	U <sub>Cmax</sub> = 121.208/86.012	t <sub>2ou</sub> = 400.09/400.338	U <sub>Cmax</sub> = 126.184/144.904	t <sub>2ou</sub> = 380.226/380.475	U <sub>Cmax</sub> = 154.842/224.081

Tableau (IV-2): les surtensions des phases A, B et C en fonction de la phase de tension U<sub>B</sub>.

**IV-5-1 : Discussions des résultats :**

**IV-5-1-1 : Lors de  $\varphi_B = 0^\circ$  :**

- A l'instant d'apparition de court circuit (Lorsque la tension U<sub>B</sub> passe sa valeur zéro (à t = 384.901ms) la tension de la phase endommagée (phase A) diminue jusqu'à zéro et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à 152.140 kV et 199.982 kV.

- Lorsque l'arc s'éteint (à  $t = 385.125$  ms/ $385.372$  ms), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à 155.879 kV/188.918 kV, 145.876 kV/179.593 kV, 184.777 kV/219.333 kV.
- A l'instant d'apparition de court circuit pour la 2<sup>ème</sup> fois (à  $t = 399.748$ ms), la tension de la phase endommagée (phase A) devient nulle et les tensions des phases saines (phases B et C) atteintes des valeurs 181.791 kV et 155.856 kV.
- A l'instant où l'arc s'éteint deuxième fois (à  $t = 399.971$  ms/ $400.118$  ms), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à 112.070 kV/101.372 kV, 144.547 kV/104.105 kV, 121.208 kV/86.012 kV. Comme le montre la figure (IV-6).

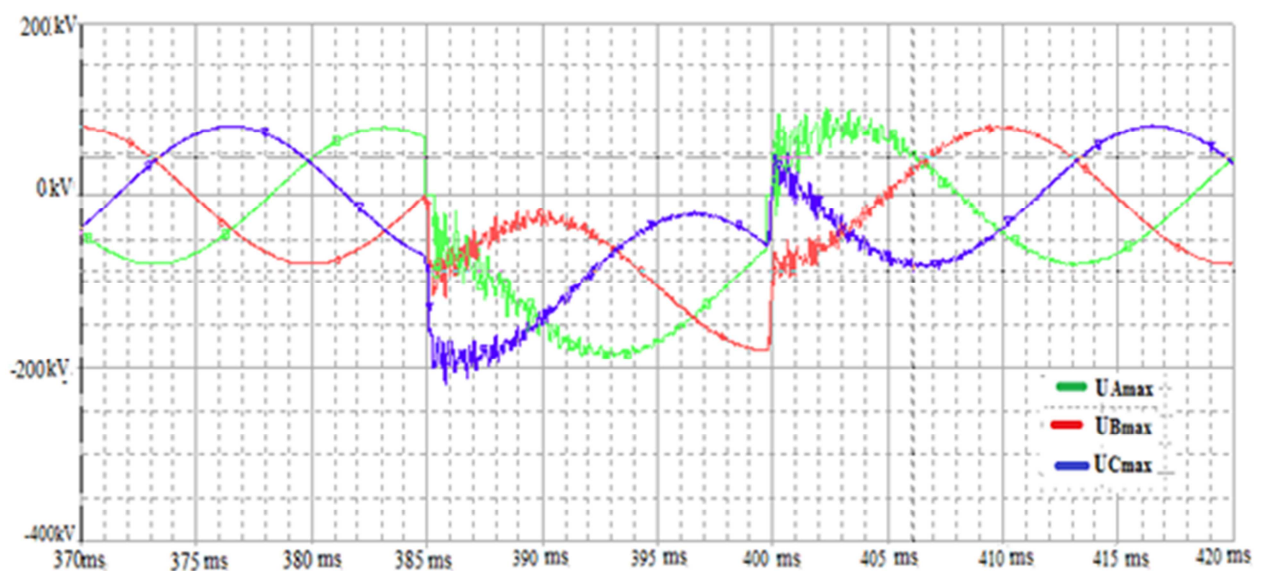


Fig.IV-6 : Le cas où le c.c est arrivé sur la phase B, à l'instant  $\varphi_B = 0^\circ$

$$K_{S_A} = \frac{189}{89.65} = 2.11 \quad \text{et} \quad k_{S_C} = \frac{220}{89.65} = 2.46$$

#### IV-5-1-2 : Lors de $\varphi_B = 45^\circ$ :

- A l'instant d'apparition de c .c correspondant  $\varphi_B$  (à  $t = 387.500$ ms) la tension de la phase endommagée (phase A) devient nulle et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à 144.379 kV et 140.788 kV.

- L'extinction du premier arc (à  $t = 387.715 \text{ ms}/387.860 \text{ ms}$ ), donne les surtensions suivants sur la phase A à  $98.022 \text{ kV}/100.807 \text{ kV}$ , sur la phase B à  $93.283 \text{ kV}/98.249 \text{ kV}$ , sur la phase C  $97.175 \text{ kV}/98.249 \text{ kV}$
- L'allumage de l'arc la deuxième fois (à  $t = 399.857 \text{ ms}$ ) augment les surtensions sur les phases saines respectivement jusqu'à  $152.685 \text{ kV}$  et  $144.023 \text{ kV}$ .
- Lors de la deuxième extinction de l'arc (à  $t = 400.09 \text{ ms}/400.338 \text{ ms}$ ) on trouve  $120.816 \text{ kV}/139.975 \text{ kV}$ ,  $139.110 \text{ kV}/148.925 \text{ kV}$ ,  $126.184 \text{ kV}/144.904 \text{ kV}$  (Comme le montre la figure (IV-7)).

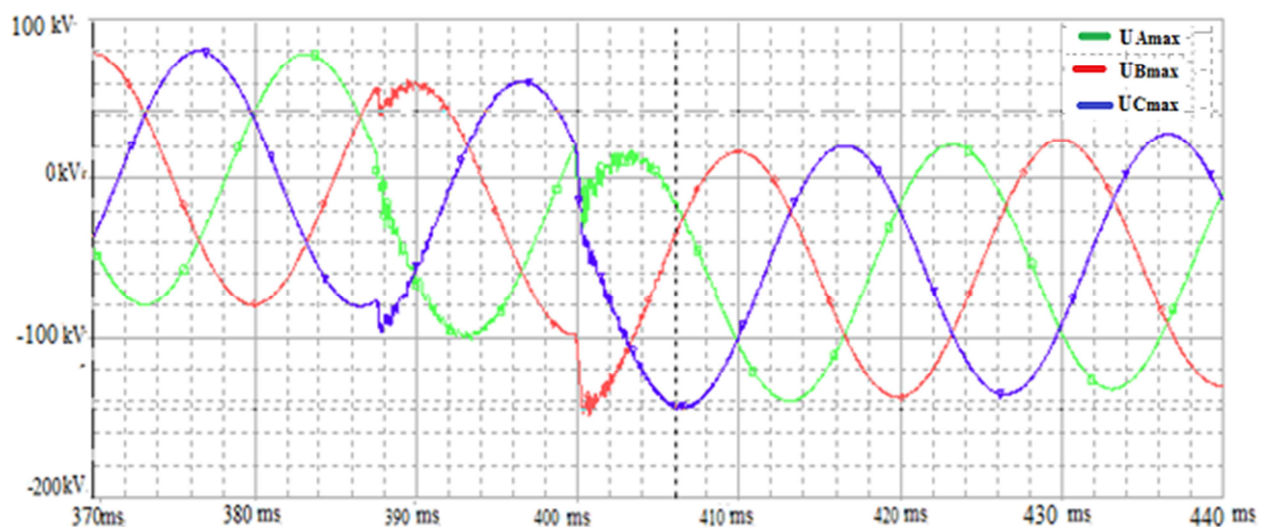


fig-IV-7 : Le cas où le c.c est arrivé sur la phase B, à l'instant  $\varphi_B = 45^\circ$

$$K_{SA} = \frac{278}{89.65} = 3.1 \quad \text{et} \quad k_{SC} = \frac{303}{89.65} = 3.38$$

#### IV-5-1-3 : Lors de $\varphi_B = 90^\circ$ :

- A l'instant d'apparition de court circuit (à  $t = 369.890 \text{ ms}$ ), la tension de la phase endommagée (phase A) diminue jusqu'à et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à  $167.247 \text{ kV}$  et  $150.532 \text{ kV}$ .

- Lorsque l'arc s'éteint (à  $t = 370.120 \text{ ms}/370.268 \text{ ms}$ ), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à  $132.838 \text{ kV}/150.801 \text{ kV}$ ,  $156.446 \text{ kV}/173.721 \text{ kV}$ ,  $123.704 \text{ kV}/159.175 \text{ kV}$ .
- A l'instant d'apparition de court circuit pour la 2<sup>ème</sup> fois (à  $t = 380.000 \text{ ms}$ ), la tension de la phase endommagée reste égale à zéro et les tensions des phases saines (phases B et C) augmentent respectivement jusqu'à  $235.747 \text{ kV}$  et  $176.307 \text{ kV}$ .
- A l'instant où l'arc s'éteint (à  $t = 380.226 \text{ ms}/380.475 \text{ ms}$ ), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à  $165.924 \text{ kV}/208.078 \text{ kV}$ ,  $216.424 \text{ kV}/260.810 \text{ kV}$ ,  $154.842 \text{ kV}/224.081 \text{ kV}$ . Comme le montre la figure (IV-8).

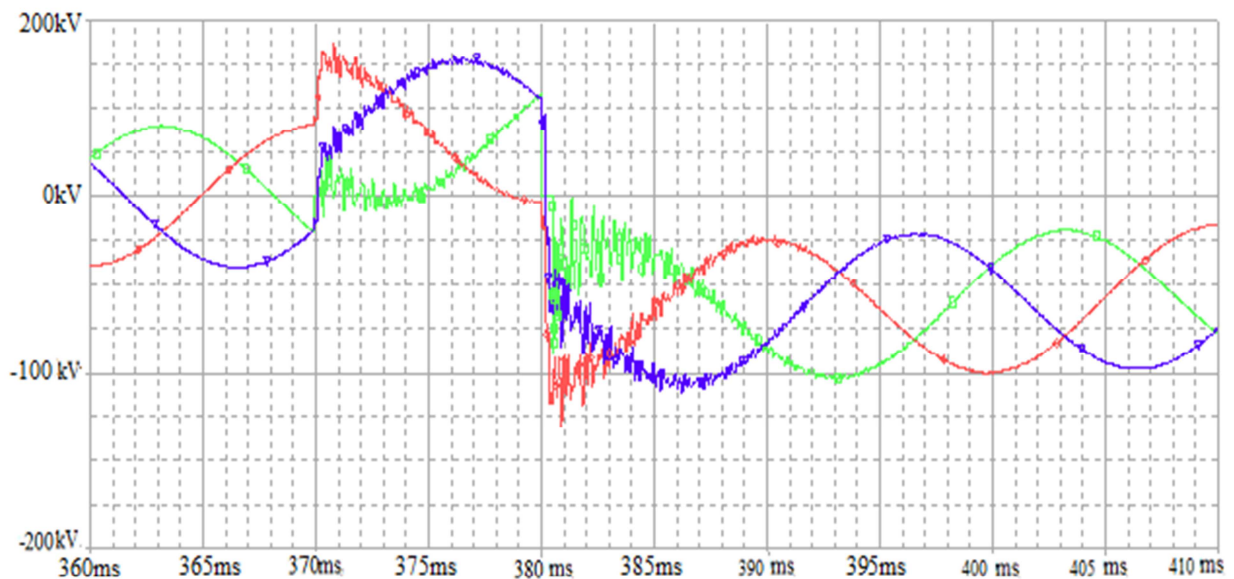


fig-IV-8: Le cas où le c.c est arrive sur la phase B, à l'instant  $\varphi_B = 90^\circ$

$$K_{S_A} = \frac{208}{89.65} = 2.32 \quad \text{et} \quad k_{S_C} = \frac{260}{89.65} = 2.9$$

#### IV-6: La comparaison des résultats :

Les plus grandes valeurs des surtensions correspondent aux cas où  $\varphi_A = 90^\circ$  et les plus petites correspondent aux cas où  $\varphi_A = 0^\circ$ . Dans le cas  $\varphi_A = 90^\circ$  la tension maximale de la phase endommagée se divise également sur les capacités entre la phase saines et la terre. Les

tensions des phases saines augmentent. Si  $\varphi_A = 0^\circ$  alors rien n'est ajouté sur les tensions des phases saines.

La surtension la plus grand est de valeur 353,467kV correspondent à  $t = 393,586\text{ms}$ . Le facteur de surtension attient 3,95 c.à.d. dans ce cas qui est plus dangereuse la tension de phase augmente presque 4 fois.

Les plus grandes valeurs de surtensions correspondent aux cas où  $\varphi_B = 90^\circ$  et les plus petites correspondent aux cas où  $\varphi_B = 45^\circ$ .

La surtension la plus grand est de valeur 261kV correspondent à  $t = 380,475\text{ms}$ .  
 $K_{SA} = 2.32$ ,  $K_{SB} = 2.9$ .

La surtension pour la phase A lors de  $\varphi_A = 45^\circ$  est (302.675kV) et lors de  $\varphi_B = 45^\circ$  est (152.685kV).

La surtension pour la phase A lors de  $\varphi_A = 0^\circ$  est (297.960kV) et lors de  $\varphi_B = 0^\circ$  est (219.333kV).

La surtension pour la phase A lors de  $\varphi_A = 90^\circ$  est (353.467kV) et lors de  $\varphi_B = 90^\circ$  est (260.810kV).

On remarque que les surtensions pour  $\varphi_A$  est supérieure à celle de  $\varphi_B$ .

## **II-7 : L'influence de l'extinction de l'arc lors de passage du courant transitoire où de courant forcé de sa valeur 0 :**

La coupure de l'arc c'est possible lors du passage de courant transitoire au du courant forcé de sa valeur 0. Les résultats de plusieurs essais fait sur les différents schémas des réseaux montrent que l'arc peut être s'éteint lors du passage du courant transitoire ou du courant forcé de sa valeur zéro. Même on a enregistré la coupure de l'arc lors de deuxième ou troisième passage du courant transitoire et du courant forcé de sa valeur zéro.

Evidement que dans ces cas les surtensions sont plus petites. C'est-à-dire par l'augmentation du temps d'existence de l'arc diminuent les surtensions. Parce que par l'augmentation du temps l'énergie de c.c . diminue (Elle est absorbé par les résistances).

**CONCLUSION**  
**GENERAL**

## Conclusion générale

Dans ce travail nous avons étudié la création des surtensions d'amorçage d'arc dans un réseau de tension nominale 110kV, qui peut fonctionner aussi avec le neutre isolé de la terre. Nous avons choisi un réseau de 3 postes liés avec 2 lignes. Nous avons considéré l'existence 2 charges dans les différents postes.

Un neutre mis directement à la terre ne crée pas les surtensions, par contre, il engendre des courants de défaut très impotents. Au contraire, un neutre isolé limite les courants de défaut à des valeurs très faibles, mais favorise l'apparition de surtension élevées.

L'étude des surtensions d'amorçage d'arc dus à un court circuit monophasé dans un réseau de tensions nominale 110kV est réalisée dans ce travail.

On à retenue de notre étude les points suivants :

- 1) Les plus grandes valeurs des surtensions correspondant à la phase des tensions  $\varphi_A = 90^\circ$  et  $\varphi_B = 90^\circ$ , et les plus petites correspondant à  $\varphi_A = 0^\circ$  et  $\varphi_B = 45^\circ$ . C'est surtensions atteintes des valeurs  $U_{Amax} = 306.293kV$ ,  $U_{Bmax} = 311.349kV$ ,  $U_{Cmax} = 353.467kV$ . Avec les facteurs de surtensions  $K_{SA} = 3.43$ ,  $K_{SC} = 3.9$ .
- 2) Pour les phases saines la tension augmentent si  $\varphi_A = 0^\circ$ .
- 3) L'amplitude de la tension de phase est 89.65kV, ne dépasse pas la valeur de tension nominale 110kV.
- 4) Le facteur des surtensions pour les déférents déphasages de la tension ne dépasse pas la valeur 3.95 correspondante au cas de à  $\varphi_A = 90^\circ$ . C.à.d. dans ce cas qui est plus dangereuse la tension de phase augmente presque 4 fois.

Pour limiter les surtensions des phases lors des défauts, on a évidemment intérêt soit de changer ce régime du neutre c.à.d. à connecter tous les neutres des sources à la terre, soit appliqué les appareilles de protections (parafoudres).

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Bibliographie :

- [1] DEDIER.F, « Choix de base des réseaux électriques moyenne tension de distribution publique », D.P ARTICLE SCHNEIDER ELECTRIQUE.
- [2] AMRANI.O, « Etude des surtensions impulsionnelles dans les enroulements de réglage des transformateurs et autotransformateurs ». Mémoire de magister en électrotechnique université mouloud mammeri de Tiz- ouzou .
- [3] GARY .C, « la technique des hautes tensions choix et coordination des isolements ».
- [4] FRONÇOIS. M, « Machines électriques »
- [5] BENMAKHLOUF. H, « 4 équipement de puissance ».
- [6] BENOIT DE METIZ. N, « la foudre et l'installation électrique HT » .Cahier technique MERLIN GERIN N° 168. Juillet 1993.
- [7] GARY .C, « technique de la haute tension » .Cours SUPELEC 1984
- [8] Cahier technique, « Distribution de l'énergie électrique », SCHNEIDER ELECTRIQUE.
- [9] LABED .D, « Production de centralisée et couplage au réseau ». Mémoire de doctorat d'état en électrotechnique, université mentouri constantine .
- [10] GARY.C, « Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions », édition eyrolles ,1984.

