

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en
ELECTROTECHNIQUE
Option : Réseaux Electriques

Thème

Dimensionnement d'un câble souterrain moyenne
tension 30 kV alimentant la chaîne de production
d'eau de Souk el Djemaa

Préparé par :

SI MEHAND Nadjat
SMAIL Tassadit

Dirigé par :

Mme F. BITAM-MEGHERBI
Mlle F. GOUDJIL

Université Mouloud Mammeri
ADE

Promotion 2011

REMERCIEMENT

*Nous remercions le bon **Dieu** de nous avoir donné le courage et la force de mener à terme notre travail.*

*Nous tenons à remercier notre promotrice **Mme MEGHARBI/BITAM FAROUDJA** pour son aide précieuse, sa disponibilité jusqu'à l'aboutissement de ce travail.*

*Nous remercions **Melle GOUDJIL FATIHA** de l'ADE de Tizi-Ouzou pour son aide et sa disponibilité pour finaliser ce travail.*

*Sans oublier tous le personnel de Souk el Djemaa particulièrement **Mr OUAMOUR** et **Mr HAMED ZAID** pour leurs aide.*

*Nous tenons à remercier particulièrement **DADA AREZKI, MERZOUK** et **KHALED** pour leurs soutient.*

Nous remercions également les membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Dédicace

A ma très chère grande mère FATIMA que j'aime de tous mon cœur

A mes très chers parents que j'aime plus que tous, qui ont toujours été la pour moi et qui ont vieillés pour que je ne manque de rien j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tous mon amour.

A ma sœur jumelle SOUHILA et son mari MADJID et toute sa famille

A ma sœur MALHA et sa famille son mari DJILALI et son fils MATHIS

A mes sœurs AKILA, LYNDA, KAHINA, SABRINE et SAMIA aux qu'elles je souhaite toutes la réussite dans leurs études et leurs vie.

A mon très cher frère JUGURTHA

A mes chers frères SAID, SALIM, KALED, NABIL et SAMIR

A mon très cher oncle que j'aime AREZKI et sa famille

A ma très chère tante NADIA et sa fille KAHINA

A ma très chère tante YAMINA et toute sa famille

A ma tante FAZIA et à tous mes cousins

A mes cousines LIDIA et ZAHIA

A ma grand-mère AICHA et à tous mes oncles et tantes et leurs familles

A celui qui deviendra avec la volonté du dieu mon marie AREZKI et sa famille

A ma très chère binôme TASSADIT et toute sa famille

A mes amis NACERA, FARID, DJAMILA, ABDELLAH, CHABHA, ALI, AREZKI, AHSEN, HAKIM, CHABANE, SOFIANE, RAMDANE et à tous ceux que j'ai oublié

A TOUS MES PROFESSEURS ET TOUTE LA PROMOTION 2010-2011

NADJET

Dédicace

A la mémoire de mes grands parents.

A mes très chers parents AMAR et KHELOUDJA que j'aime plus que tous, qui ont toujours été là pour moi et qui ont vieilli pour que je ne manque de rien j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tous mon amour.

A mes très chers frères MOUHAMED, YUCEF, ACHOUR ainsi leurs femmes BAYA, FEROUDJA, et GHANIA.

A mon très cher frère DADA AREZKI qu'est mon modèle de vie et sa femme KAHINA.

A mes très chères sœurs HOURIA, THAOUIA, AKILA, ainsi leurs maris RABAH, MOUHAMED, DJAMEL et leurs familles.

A mes très chères sœurs SAFIA, HANIA.

A mon très cher mari MERZOUK qui à été toujours là pour moi.

A mes très chères beaux parents SAID et ALDJIA.

A mes neveux YACINE, LYES, YANIS, WASSIME, JUBA.

A mes nièces NADIA, KAHINA, SOUHILA, MAZGHA, SAMIA, SARA H, THANINA, SELINE.

A mes belles sœurs SALIHA, ELDJOUHAR, GHALIA, OUIZA, NAIMA ainsi que leurs familles.

A mon beau frère FERHAT.

A ma binôme NADJET avec la qu'elle j'ai eu le plaisir de partager ce travail et toute sa famille.

A mes amis CHABANE, HAKIME, ABDELLAH, CHABHA, FARID, SOFIANE.

A TOUS MES PROFESSEURS ET TOUTE LA PROMOTION 2010-2011

TASSADIT

Introduction

L'utilisation de l'énergie électrique pour les besoins quotidiens de la société s'est traduite par la mise en place d'un système électrique, comprenant la production de l'électricité et le transport de celle-ci jusqu'aux consommateurs. Ce développement s'est effectué par le biais d'une structure hiérarchique du système qui consiste à produire l'énergie électrique en grande quantité de façon à les répartir sur l'ensemble des consommateurs en moyenne tension puis en basse tension. Toute installation électrique doit être bien dimensionnée et protégée contre les défauts afin d'assurer l'alimentation aux meilleurs conditions de coût et de qualité de service.

Notre travail s'est déroulé au sien de l' ADE de Tizi-Ouzou plus exactement dans la région de Souk el Djemaa tous près de la daïra de IN LHAMAM, on à basé notre travail sur le dimensionnement d'un câble électrique de distribution moyenne tension alimentant la chaine de production Souk el Djemaa qui remplacera la ligne électrique existante sur le site et qui subit beaucoup de problèmes. Pour cela, nous avons partagé notre mémoire en quatre chapitres.

- Ø Le premier chapitre traitera les généralités sur les réseaux électriques en particulier le réseau moyenne tension (MT) qui est l'élément le plus important pour l'acheminement de l'énergie électrique.
- Ø Le deuxième chapitre sera réservé à l'étude des isolants utilisés dans la conception des câbles électriques souterrains.
- Ø Les courants de court-circuit représentent des défauts susceptibles d'affecter un réseau MT et l'utilité de calculer ces courants ainsi que la nécessité de vérifier la chute de tension sur un réseau MT sont indispensables dans l'élaboration d'une installation souterraine. C'est ainsi que le troisième chapitre est dédié au calcul des courants de court-circuit et des chutes de tension.
- Ø Dans le dernier chapitre nous allons mettre en application notre dimensionnement sur le site de Souk el Djemaa.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux électriques

1-1- Introduction

Actuellement, il est impossible d'envisager la vie sans électricité. Les activités quotidiennes sont presque toutes en fonction de l'électricité, cette dernière est devenue un élément vital.

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué généralement de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production-transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.

1-2- Structures générales des réseaux

Pour pouvoir utiliser l'énergie produite dans les centrales de production, il faut la transporter vers la consommation. Pour assurer ce transport on utilise des lignes et des câbles, donc des réseaux qui assureront le transit sans qu'il y ait de grandes pertes sachant qu'ils peuvent subir des risques d'ordre naturel (pluie, humidité, chaleur,...etc.) ou accidentel. Il y a eu donc recours à différentes topologies des réseaux pour pouvoir assurer le bon transit, à savoir : [5], [1]

- Ø Réseau de transport
- Ø Réseau d'interconnexion
- Ø Réseau de répartition
- Ø Réseau de distribution

1-2-1- Réseau de transport

Les réseaux de transport sont des réseaux qui transportent l'énergie des grands centres de production vers les régions consommatrices d'électricité. Cette liaison est assurée grâce à des lignes à très haute tension (400 kV, 225 kV). Les grandes puissances transitées imposent des lignes électriques de forte capacité de transit, ainsi qu'une structure maillée (ou interconnectée).

Ces lignes doivent être conçues de manière à minimiser les pertes joule et les chutes de tension sur ces grandes distances.

1-2-2- Réseau d'interconnexion

Les réseaux d'interconnexion sont aériens triphasés. Toutes les lignes à très haute tension sont conçues de façon à ce qu'elles soient reliées par des postes de transformations assurant la continuité entre les lignes de différents niveaux de tension. Ce sont des réseaux qui permettent d'assurer la liaison entre différentes régions et aussi avec les pays voisins.

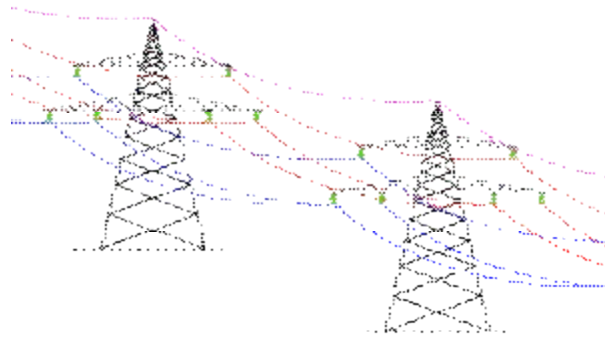


Figure 1-1- Schéma représentant les lignes à haute tension

L'interconnexion a des avantages et des inconvénients

▼ *Les avantages de l'interconnexion*

- La continuité de service

L'interconnexion nous permet d'assurer la continuité de la distribution car en cas de défaillance d'une centrale provoquée par une demande d'utilisation ou pour des opérations d'entretien, les autres unités (centrales) peuvent être mises en service et assurer la continuité.

- L'avantage économique

L'exploitation des réseaux interconnectés est plus économique que celle des réseaux indépendants. L'interconnexion permet de réduire le nombre de centrales, car le coût d'une centrale est plus élevé que le coût d'une interconnexion, donc le fait de réaliser une interconnexion est plus rentable.

✓ *Les inconvénients de l'interconnexion*

L'inconvénient majeur de l'interconnexion est issu de la mise en parallèle des alternateurs appartenant à un réseau. En effet, lors d'une perturbation du réseau tout le système va être affecté à cause de cette interconnexion.

1-2-3-Réseau de répartition

Les réseaux de répartition assurent la liaison entre le réseau de transport et le réseau de distribution. Ils comportent des lignes à haute tension (45 kV, 90 kV). Ces réseaux doivent être particulièrement fiables, ils doivent assurer l'alimentation permanente des zones de consommations importantes (usine, hôpital.....). Les réseaux de répartition ont la topologie d'un réseau bouclé. Leurs mailles sont beaucoup plus serrées que celle du réseau de transport. L'énergie y est injectée essentiellement par les réseaux de transport via des transformateurs, mais également par des centrales électriques de moyenne puissance (inférieures à 100 MW environ). Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région

1-2-4- Réseau de distribution

Les réseaux de distribution sont des réseaux à structure radiale ou arborescente, ce qui veut dire qu'il n'y a qu'une seule ligne entre deux nœuds. Nous distinguons dans ces réseaux deux unités principales qui sont les liaisons et les postes de transformations qui servent à alimenter les clients.

Ces réseaux sont composés de deux parties ;

- Ø Partie moyenne tension alimentée par des postes HT/MT fournissant de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs soit aux différents postes MT/BT.
- Ø Partie basse tension qui alimente les utilisateurs, soit en monophasé 220V entre phase et neutre, soit en triphasé à quatre fils (220/380V).

1-3- Structure d'un réseau MT

Choisir une structure de réseau moyenne tension consiste à définir la nature et l'organisation des liaisons électriques qui relient les postes de transformation (HT/MT).

Les réseaux MT ont des tensions qui varient généralement de quelques milliers de volts jusqu'à 30 kV ; ils sont triphasés avec neutre isolé. [5], [1]

On distingue deux types de réseau moyenne tension :

- ✓ Réseau moyenne tension aérien ;
- ✓ Réseau moyenne tension souterrains.

1-3-1- Réseau moyenne tension aérien

Les réseaux moyenne tension aériens sont des réseaux utilisés dans les régions, à faible densité de population (zones rurales ou périphériques des villes).

La structure des réseaux aériens est arborescente à deux ordres de lignes dorsale et dérivation :

- ✓ Dorsale : ligne principale issues du poste HT ;
- ✓ Dérivation et sous dérivation : ce sont des lignes qui peuvent être utilisées pour alimenter des charges isolées ou pour regrouper sous un même interrupteur un ensemble de postes MT/BT.

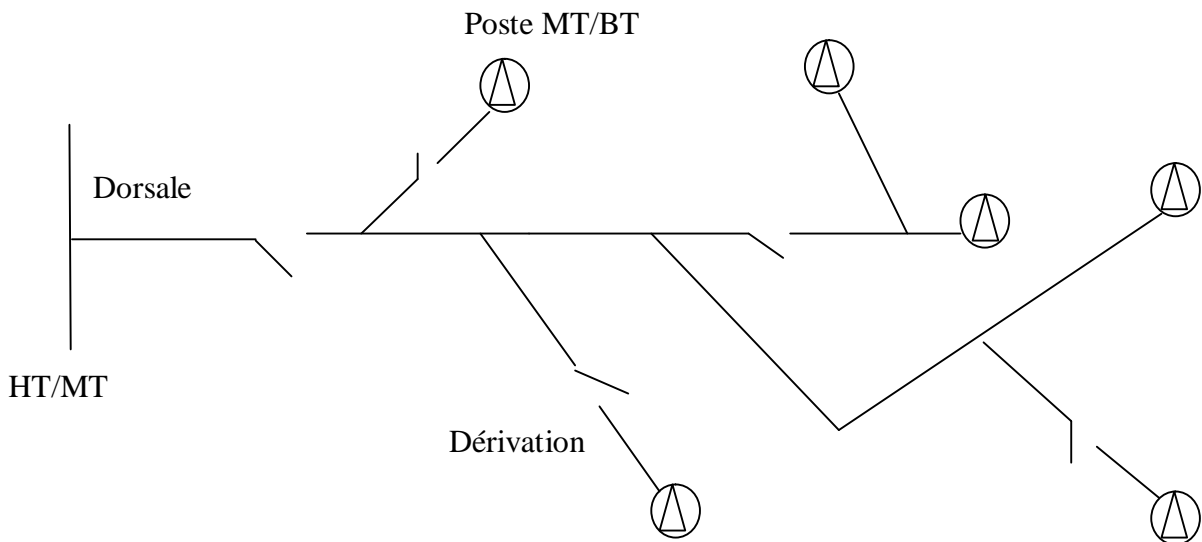


Figure 1-2- Structure arborescente d'un réseau aérien

La structure des réseaux MT évolue pour des causes diverses parmi elles :

- ✓ Accroissement de la demande de la clientèle existante ;
- ✓ Augmentation en surface de la demande.

- ✓ Renouvellement d'ouvrage ancien ;
- ✓ Conservation de la qualité de service

Pur faire face à cela plusieurs structures ont été réalisées.

1-3-1-1- Réseau à structure maillée

La structure en maille est composée de boucle alimentée directement par les sources MT ou alimentées par des postes eux même reliées aux sources par des câbles de forte section. Des liaisons inter-boucles permettent le report de charge d'une boucle sur l'autre en cas de perte d'un câble de structure [5].

Cette structure apporte et garantit une grande sécurité d'alimentation et offre une meilleure continuité de service ainsi qu'une faible chute de tension car la perte de n'importe quel élément (ligne électrique, transformateur ou groupe de production) n'entraîne aucune coupure d'électricité si l'exploitant du réseau de transport respecte la règle. Par contre son étude est très complexe et sa réalisation est très couteuse.

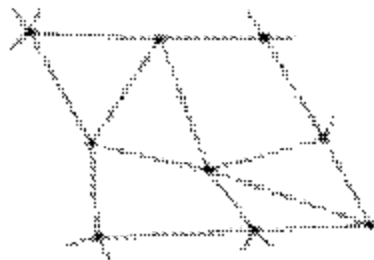


Figure 1-3- Structure maillé d'un réseau aérien

1-3-1-2- Réseau à structure radiale

Le réseau à structure radiale est constitué de plusieurs arrêtes. C'est un réseau dont le schéma unifilaire est arborescent, chaque arrête se sépare des autres comme les branches d'un arbre. Ce réseau ne présente donc qu'un point commun avec une autre liaison.

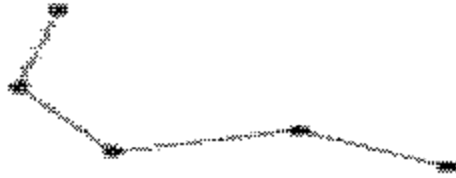


Figure 1-4- Structure radiale d'un réseau aérien

La structure radiale présente des avantages et des inconvénients.

▼ *Les avantages de la structure radiale*

- Cette structure revient moins chère
- Elle à une manœuvre d'exploitation simple

▼ *Les inconvénients de cette structure*

- C'est une structure qui ne garantit pas la continuité de service car en cas d'incident sur la ligne, tous les abonnés seront privés d'énergie électrique.
- C'est une structure qui présente des chutes de tension importantes en bout de ligne.
- En cas d'un défaut sur un départ, tous les postes de ce départ seront hors tension.
- En cas d'un défaut sur le poste de répartition, tous le réseau MT est hors tension.

Le poste de répartition se trouve dans ce cas excentré par rapport à des régions à alimenter.

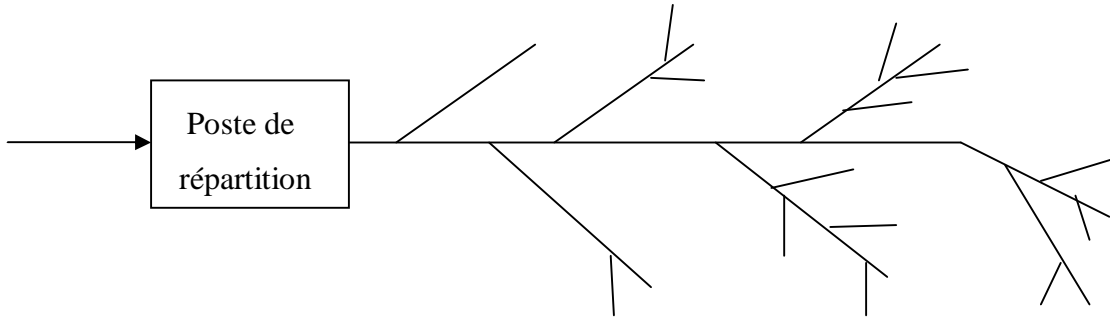


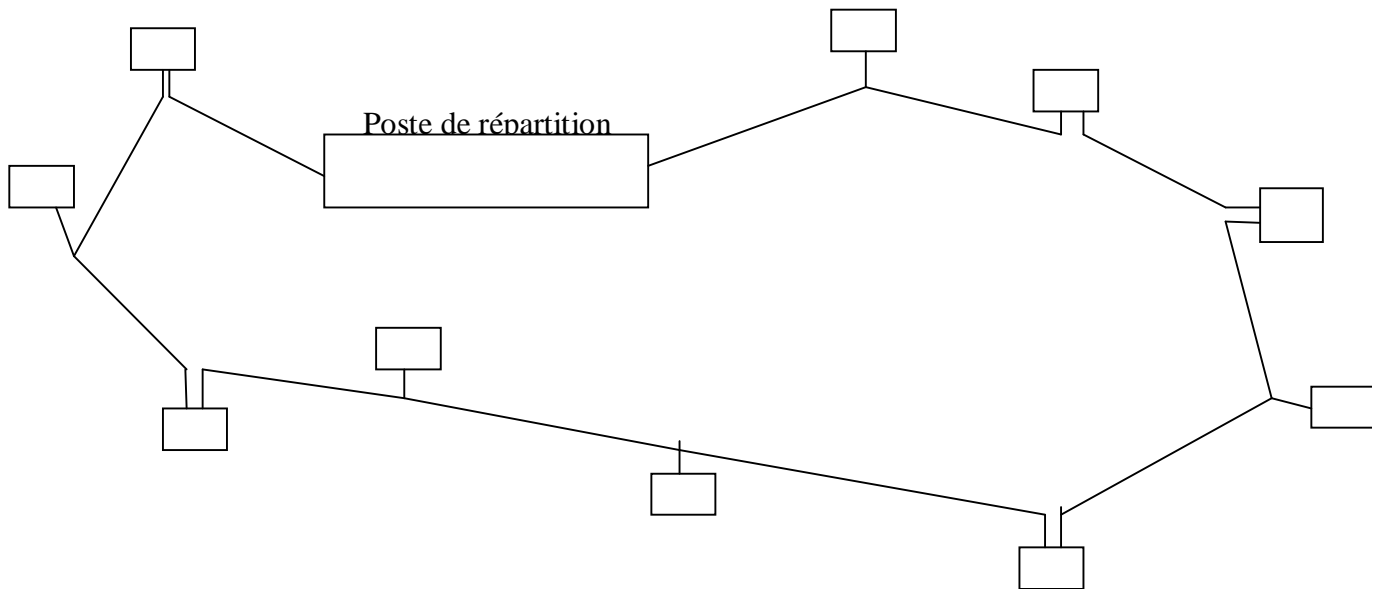
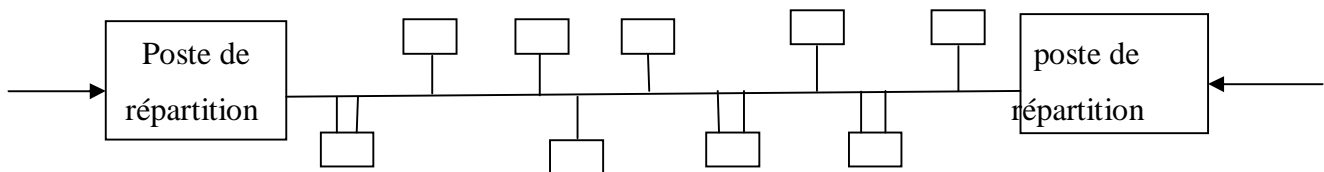
Figure 1-6- Structure en arête de poisson d'un réseau aérien



Figure 1-6- Structure en arête de poisson d'un réseau aérien

1-3-1-3-Réseau à structure bouclée

C'est un réseau maillé simplifié présentant un certain nombre de boucles fermées, chacune d'elles contenant un nombre limité de sources. L'énergie peut donc transiter par des chemins différents. Ainsi la mise hors tension accidentelle d'un tronçon n'entraîne pas de surcharges inadmissibles pour les autres tronçons. Le fait que les charges sont alimentées au moins par deux cotés entraîne une réduction des pertes joule et de la chute de tension donc un seul dispositif de protection par boucle suffit. En revanche, le réseau présente des difficultés de répartition des intensités.

1-3-1-3-1-Alimentation par un seul poste**Figure 1-7- Structure bouclée d'un réseau aérien alimenté par un poste****1-3-1-3-2- Alimentation par deux postes****Figure 1-8 : Structure bouclée d'un réseau aérien alimenté par deux postes**

Dans ces deux modes d'alimentation, les postes MT/BT peuvent être soit en :

- coupure d'artère
- dérivation sur la boucle

▼ Les avantages de la structure bouclée

Parmi les avantages de la structure bouclée nous citons :

- Chute de tension améliorée ;

- En cas de défaut au poste de répartition, l'alimentation est possible par le deuxième poste lorsque l'alimentation se fait par postes distincts.

▼ **Les inconvénients de la structure bouclée**

Essentiellement on cite :

- Installation plus onéreuse c'est-à-dire très coûteuse (impose des frais) ;
- Manœuvre d'exploitation et protection plus délicates.

1-3-2- Réseaux moyenne tension souterrains

Le site urbain fait que le réseau MT, soit le plus souvent réalisé en souterrain. La structure des réseaux souterrains est à un seul type de lignes qui sont : « les dorsales ».

Ces réseaux par leur constitution (faibles longueur, forte section des conducteur) sont le siège de chutes de tension réduites. [4], [1], [5]

▼ **Les avantages du réseau :**

Parmi les avantages du réseau souterrain on cite :

- Entretien réduit ;
- Longue durée de vie ;
- Insensibilité aux perturbations atmosphériques.

▼ **Les inconvénients du réseau**

Le plus grand inconvénient des réseaux souterrains réside dans la difficulté de la localisation des défauts qui est plus longue qu'en aérien.

1-3-2-1- Les structures utilisées en souterrain

1-3-2-1- 1- Structure maillée

La structure en maille est composée de boucles alimentées directement par les sources MT, ou alimentées par des postes en tête de boucle, eux même reliés aux postes sources par des câbles de structure de forte section. Des liaisons inter-boucles permettent le report de charge d'une boucle sur l'autre, en cas de perte d'un câble de structure.

▼ Les avantages de la structure

Le plus grand avantage de cette structure est qu'elle permet d'avoir une bonne continuité de service.

▼ Les inconvénients de la structure

Parmi eux on trouve :

- Le coût qui revient cher ;
- Les câbles ne sont utilisés que partiellement par rapport à leur capacités ;
- C'est une structure qui demande une surveillance continue du réseau en fonction de l'accroissement de la charge.

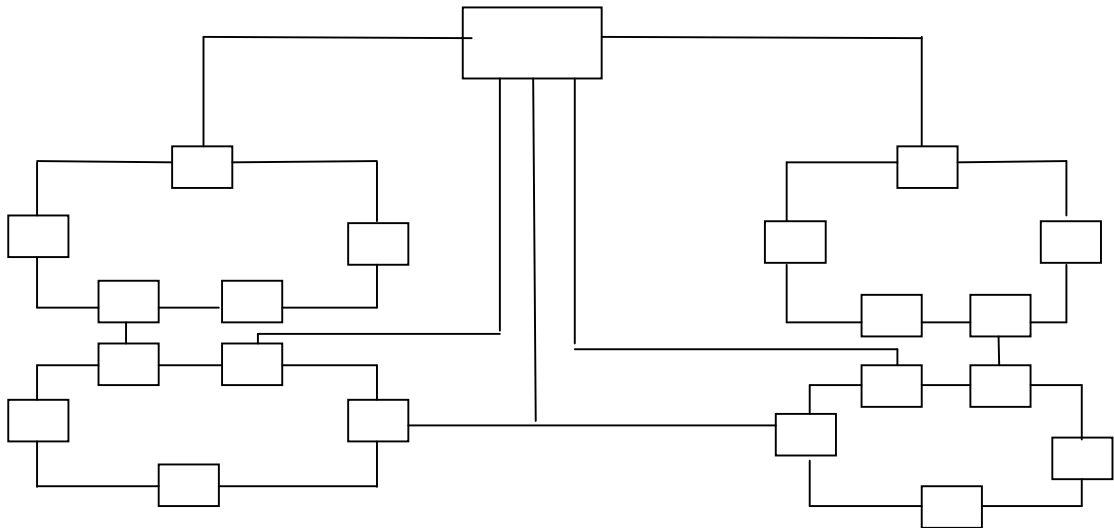


Figure 1-9- Structure maillée d'un réseau souterrain

1-3-2-1-2- Structure en épi

Dans cette structure les extrémités des câbles de distribution sont abaissées au câble de secours. Ce point de connexion est en général alimenté soit par poste de distribution publique soit par le câble de secours. Cette structure est beaucoup plus économique que la structure maillée et elle permet une meilleure utilisation du câble.

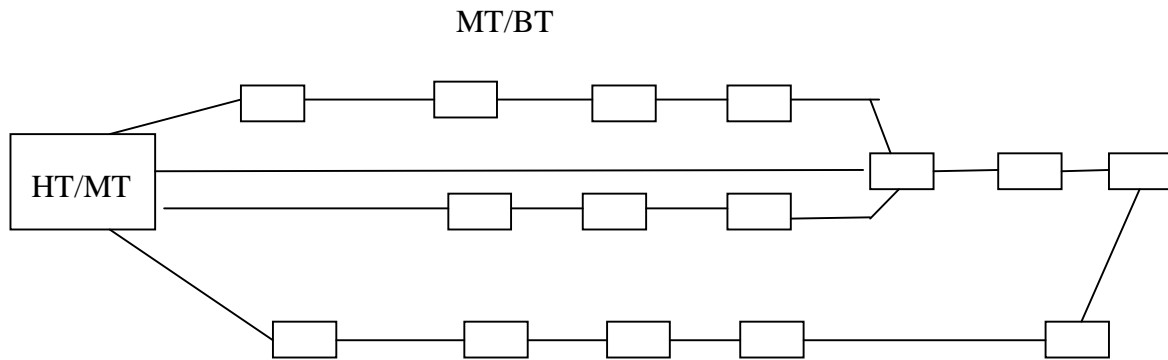


Figure 1-10- Structure en épi d'un réseau souterrain

1-3-2-1-3- Structure en fuseau

Cette structure est considérée comme l'aboutissement de l'évolution de la structure en épi pour laquelle tous les câbles de distribution aboutissent en un point unique, ce point peut être soit une source MT, soit un poste de répartition. En cas d'incident, la reprise de service par le câble secours est rapide, ce qui diminue les durées d'interruption.

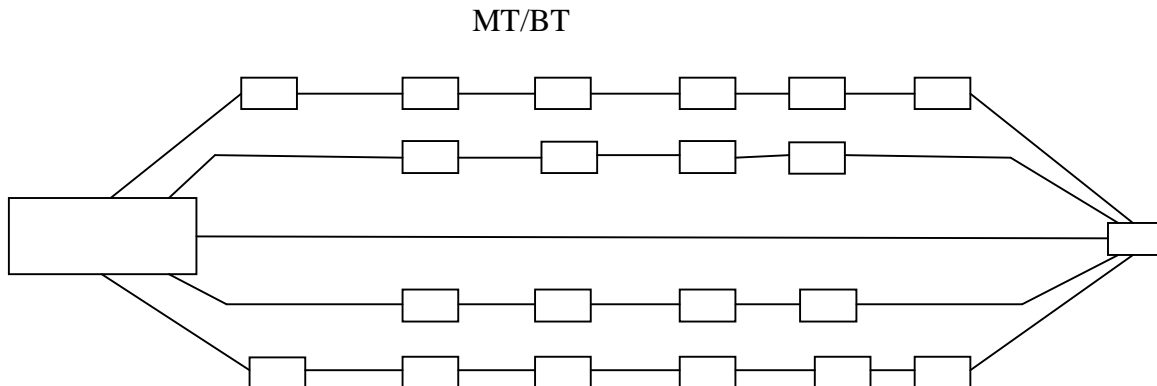


Figure 1-11- Structure en fuseau d'un réseau souterrain

1-3-2-1-4- Structure source à source

Dans cette structure les câbles sont issus de deux sources distinctes, c'est une structure utilisée dans le cas des postes HT/MT où la puissance ne peut être garantie. Cette solution limite la charge à la moitié de la capacité des câbles de distribution.

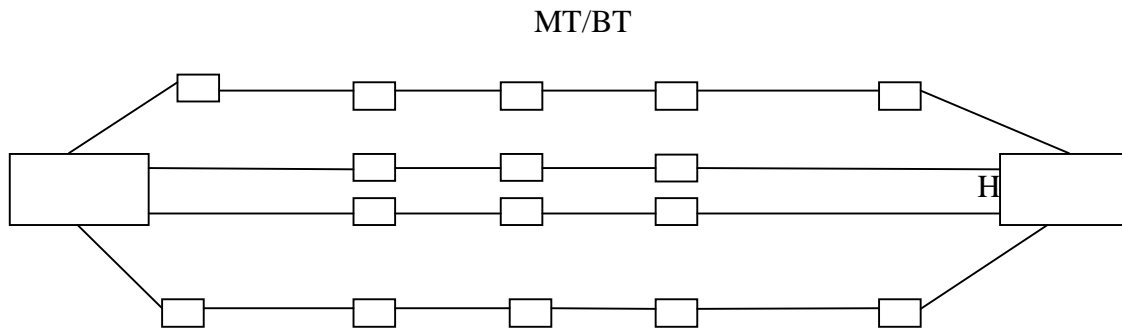


Figure 1-12- Structure source à source d'un réseau souterrain

1-3-2-1-5- Structure imbriqués

Dans cette structure les postes sont généralement alimentés en dérivation mais ils peuvent être en coupure d'artère.

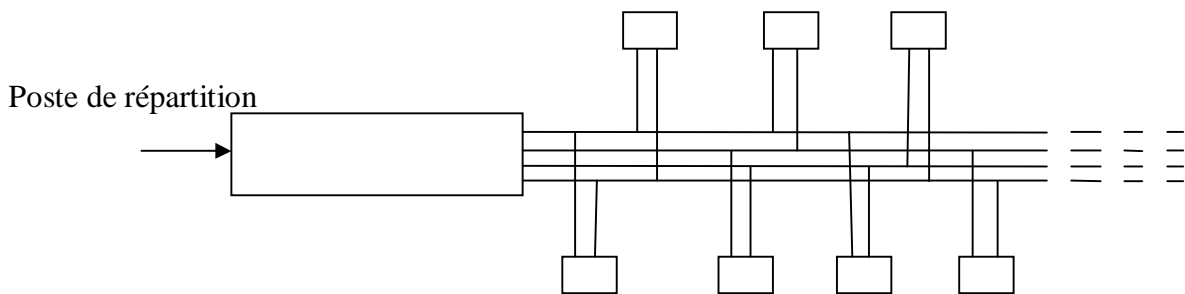


Figure 1-13- Structure imbriquée d'un réseau souterrain

La structure imbriquée d'un réseau souterrain présente des avantages et des inconvénients :

✓ Les avantages de cette structure

- Bon équilibrage des charges donc câbles de section plus faible ;
- Très grande souplesse d'exploitation.

✓ Les inconvénients de cette structure

Le plus grand inconvénient de la structure imbriquée est une installation très coûteuse car elle conduit souvent à allonger le parcours des câbles suivant la répartition des postes.

1-3-2-1-7- Réseau à artère double

La aussi les postes sont généralement alimentés en dérivation mais ils peuvent être en coupure d'artère.

L'alimentation peut être réalisée par une seule source ou par deux sources distinctes, en principe une seule artère est en service.

Poste de répartition

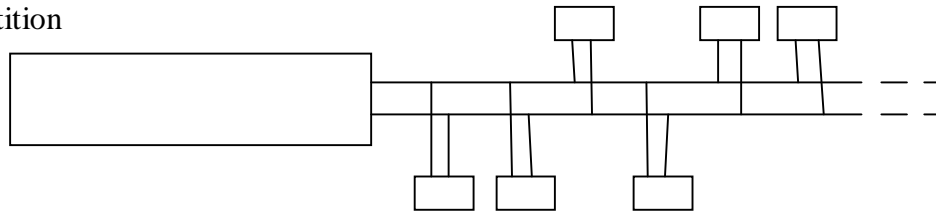


Figure 1-13- Structure à artère double d'un réseau souterrain

✓ Les avantages de la structure à artère double

Le plus grand avantage de la structure à artère double réside dans sa bonne souplesse d'exploitation

✓ Les inconvénients de la structure à artère double

Le plus grand inconvénient de la structure à artère double consiste en une installation assez coûteuse, car elle nécessite l'installation de câbles pouvant supporter l'ensemble de la charge.

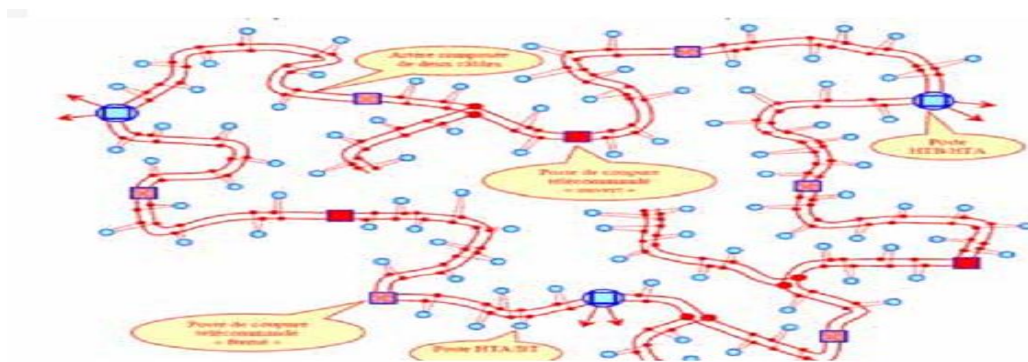


Figure 1-14- Structure d'un réseau souterrain en double dérivation

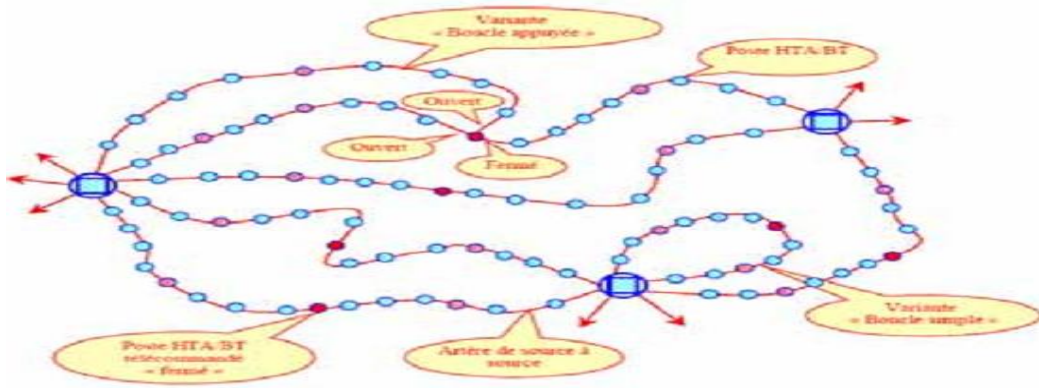


Figure 1-15- Structure bouclée (en coupe d'artère) des réseaux souterrains

1-3-3- Les postes de transformation

Ce sont des postes qui abaissent ou élèvent la tension. A la sortie des centrales génératrices, des postes de transformation élèvent la moyenne tension utilisée pour la génération à la haute tension nécessaire pour assurer un transport économique de l'énergie. La tension élevée utilisée pour le transport doit être de nouveau abaissée dans d'autres postes de transformation situés près des grands centres de consommation. L'appareillage électrique utilisé dans ces postes est semblable à celui qui est utilisé dans les postes de transformation à la sortie des centrales.

▼ Appareillage d'un poste de transformation

La plupart des postes de transformation comprennent les appareils principaux suivant

- Disjoncteurs ;
- Sectionneurs ;
- Interrupteurs ;
- Parafoudre ;
- Réactances d'artère ;
- Sectionneurs de mise à la terre ;
- Transformateurs ;
- Transformateurs de tension et de courant.

1-3-3-1- Les postes de transformation HT/MT pour la partie MT

La partie moyenne tension des postes HT/MT alimentant un réseau aérien est à demi jeux de barres sectionnant par un interrupteur en charge industrialisé. La partie alimentant un réseau souterrain est de type intérieure jusqu'à quatre jeux de barres commutable par disjoncteurs. Les cellules seront en général sous enveloppe métallique, les disjoncteurs seront à maintenance réduite.

1-4- Le choix d'une structure de réseau MT souterrain

Le choix d'une structure pour un réseau MT urbain donné est fonction de beaucoup de facteurs à savoir : [4], [5]

- *L'emplacement des sources par rapport aux charges à desservir*

Un emplacement qui est situé de façon idéale par rapport aux charges que la source devra alimenter n'est pas toujours facile à réaliser car il y'a des contraintes de place, de passage des liaisons, haute et très haute tension de sortie des départs MT. D'autre part il faut retenir un emplacement optimum sur le plan économique pour l'ensemble « alimentation HT, et distribution MT ».

- *La voirie (chemin) de l'agglomération*

La forme de la voirie et les passages obligés qu'elles comporte (pont, passage à niveau ...etc) peuvent influencer sur la conception du réseau souterrain.

- *La densité des charges*

L'alimentation des postes MT/BT très proches les uns des autres, peut conduire à une forme de réseau différente de celle conçue pour alimenter des postes très dispersés géographiquement.

- *Le réseau existant*

L'évolution d'un réseau est permanente pour suivre l'accroissement des charges existantes et l'application de nouvelles charges. La forme des câbles au fur et à mesure des besoins, n'a pas toujours été faite dans l'objectif d'une structure finale, la ligne de conduite étant souvent dictée par des considérations techniques ou économiques. Si cette position est défendable sur les

agglomérations à faible densité de charge (ou agglomérations à un caractère très aléatoire), elle présente beaucoup d'inconvénients pour une ville plus dense car on risque d'effectuer des travaux inutiles et surtout on aboutit à un réseau de plus en plus difficile à exploiter.

L'implantation d'une structure sur un réseau existant est réalisée selon deux possibilités :

Ø En substituant

C'est-à-dire en retouchant le réseau initial pour l'intégrer dans la structure retenue.

Ø On superposant

C'est-à-dire en développant une nouvelle structure indépendante du réseau existant et en déchargeant progressivement ce dernier pour éviter de le renforcer. L'implantation optimale d'une structure en partant d'un réseau initiale non structuré est celle qui minimise le coût de développement du réseau à long terme.

1-5- Dimensionnement et constitution d'une ligne aérienne et d'un câble souterrain

1-5-1- Dimensionnement d'une ligne aérienne

Les réseaux MT aériens sont calculés pour résister aux contraintes électrique, climatique et mécanique. Ils doivent y faire face selon leur configuration et leur zone d'implantation. Ces calculs sont réalisés à partir d'hypothèses réglementaires propres à des conditions théoriques statiques qui peuvent être très largement dépassées de manière accidentelle, dans ce cas les dégâts peuvent être considérables et les conséquences importantes : [1]

- Interruption de service ;
- Coût de dépannage élevé ;
- Reconstruction complète du réseau.

Le dimensionnement des lignes aériennes est soumis à des différentes contraintes :

- Les contraintes électriques ;
- Les contraintes climatiques.

1-5-1-1- Contraintes électriques

Ce sont des contraintes qui sont liées aux conditions de fonctionnement suivantes :

- *Tension électrique*

Les conducteurs aériens ne sont généralement isolés que par la couche d'air qui les entoure. Le dimensionnement de la ligne doit tenir compte de la tension à laquelle sont portés les conducteurs. Le maintien de l'isolation est assuré par les chaînes d'isolateurs dont le rôle est de relier le conducteur au pylône tout en maintenant une distance d'isolement suffisante pour éviter les phénomènes de claquage diélectrique.

- *Intensité du courant électrique*

Les conducteurs sont le siège de pertes joule qui engendrent un échauffement provoquant une dilatation des conducteurs et un allongement de la flèche qui sépare le conducteur du sol. Ce phénomène peut être à l'origine de claquage qui provoque des court-circuits pouvant conduire à l'interruption du service. Le dimensionnement de la section des conducteurs doit prendre en compte l'intensité minimale de manière à minimiser les pertes joule en exploitation normale.

1-5-1-2- Contraintes climatiques

Ce sont des contraintes externes liées et dues à l'environnement climatique, ce sont principalement :

- *le vent ;*

Les lignes MT sont sensibles au vent, en effet les supports de pose utilisés sont élevés et la longueur des portées est faible. Cependant, en zones torrides, le vent à caractère cyclonique peut entraîner des efforts de traction mécanique très élevés dans les conducteurs, ce qui peut entraîner leur rupture.

- *Le givre ;*

C'est le dépôt de glace qui provient de la congélation de gouttelettes de brouillard de diamètre inférieur à 0,1 mm.

A des températures très fortement négatives, les gouttelettes d'eau se congèlent presque instantanément au moment de l'impact laissant entre elles des inclusions d'air, c'est ce qui alourdit et fragilise les conducteurs.

- **La neige collante ;**

La neige sèche qui est une neige légère sans aucune consistance mécanique traverse l'air à des températures supérieures à 0°C et se transforme en accumulation de glace qui se soude fortement à toute forme de surface. L'accumulation de la neige sur le conducteur conduit à l'apparition d'un manchon cylindrique de neige autour du conducteur, c'est ce qui implique un poids supplémentaire donc un problème en termes de solidité et de résistance à la surcharge.

1-5-2- Les éléments constituant une ligne aérienne

Les lignes aériennes peuvent être classées en deux cas suivant les fonctions qu'elles assurent :

- le transport permettant l'évacuation de l'énergie produite par les centrales de production vers les centres de consommation.
- l'interconnexions garantissant la mise en commun des réserves de production de plusieurs régions ou pays, et aidant ainsi le secours simultanée dans les conditions délicates et particulières.

Les lignes aériennes sont constituées de plusieurs éléments :

1-5-2-1- Le conducteur

C'est l'élément principal qui constitue la ligne aérienne, et c'est lui qui assure la bonne continuité électrique alors qu'il doit supporter sans atteinte ni rupture les contraintes extrêmes auxquelles il est exposé. Un conducteur doit avoir une faible résistivité et une charge de rupture élevée. Pour la construction des lignes électriques à haute tension, on utilise des conducteurs à base d'Aluminium, d'Almélec et d'Almélec-acier et cela pour des raisons d'économie et de facilité d'exécution.

Un conducteur soumis à des tensions croissantes conduit à l'apparition d'un champ élevé à la surface du conducteur. Au-delà d'une valeur critique de la tension il se produit des effluves bleutés, lumineuses suite à l'ionisation de l'air, visible la nuit c'est ce qu'on appelle l'effet couronne.

Pour diminuer les conséquences de l'effet couronne qui dépend essentiellement du champ électrique lui-même fonction du rayon et de l'état du surface du câble, on utilise deux câbles de faible diamètre par phase montés en parallèle, car deux conducteurs de rayon r , distants d'une distance « d » l'un de l'autre se comportent de la même façon qu'un conducteur unique ayant un rayon « R » avec $R = (r.d)^{1/2}$. La mise en faisceaux des câbles conducteurs correspond à une augmentation artificielle du diamètre du câble.

1-5-2-2- Les câbles de garde

Le rôle des câbles de garde sur une ligne aérienne est :

- Ils protègent contre les coups de foudre directs.
- Ils diminuent l'induction dans les circuits de télécommunication.
- Ils réalisent l'interconnexion des mises à la terre des supports.

Les câbles de garde sont en général conçus en Almélec- acier. Leurs sections doivent être suffisantes pour supporter les échauffements qui sont fonction de l'intensité qui les parcourt au moment d'un court-circuit et de la durée d'un défaut.

1-5-2-3- Les chaînes d'isolateurs

Le rôle des isolateurs de lignes aériennes est de relier mécaniquement les conducteurs sous tension aux structures qui les supportent, mais aussi ils assurent l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne.

Un isolateur est constitué de deux parties principales

- Une partie isolante ;
- Des pièces métalliques fixées sur la partie isolante.

Pour la partie isolante on utilise généralement même exclusivement la céramique et le verre car ils ont un bon comportement en exploitation.

Les verres utilisés sont des verres formés à partir de silices et de soude (verre sodocalcique). La céramique actuellement utilisée en haute tension est obtenue à partir des matières comme l'argile, la silice ou l'alumine. Les chaînes d'isolateurs sont constituées de matériaux isolants équipés de pièces métalliques de liaison nécessaires pour les relier de façon flexible à d'autres éléments de chaînes ou bien à la pièce de suspension de conducteur. Ces éléments sont dans la plupart des cas utilisés en suspension et forment les chaînes d'isolateurs, soit verticales pour les chaînes d'alignement, soit horizontales pour les chaînes d'encrage.

1-5-2-3-1- Les principales chaînes d'isolateurs

On distingue en général quatre principaux types de chaîne en suspension et deux en encrage.

▼ *Pour les chaînes de suspension*

•*Les chaînes simples*

Ce sont des chaînes d'une série d'isolateurs, elles sont employées en alignement et dans les petits angles souples.

•*Les chaînes doubles*

Ce sont des chaînes de deux séries d'isolateurs parallèles utilisées dans certaines traversées importantes et dans les plus grands angles souples.

•*Chaîne de type A*

Chaîne équipée de deux rangés d'isolateurs ayant une ouverture en A, ce type est employé dans les zones à brouillard léger.

•*Les chaînes de type V*

C'est une chaîne équipée de deux rangés d'isolateurs en V, l'angle formé par ces deux rangés varie entre 60° et 90°, elle est utilisée surtout sur les lignes de 400kV et plus.

▼ Pour les chaînes d'encrage

•Chaîne simple

Chaîne équipée d'un fil d'isolateurs, elle s'utilise aux angles de tracé en ligne courte pour des conducteurs ne dépassant pas 288 mm² de section.

•Chaîne double

Chaîne équipée de deux files d'isolateurs parallèles. Elles s'utilisent d'une manière générale dans les angles importants du tracé de la ligne et dans certaines fixations devant les postes.

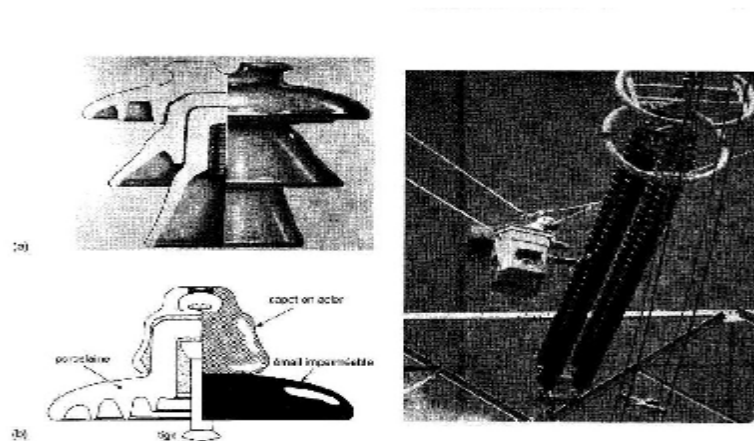


Figure 1-16- Les chaînes d'isolateurs

1-5-2-4- Les supports

Leurs rôle principal est de maintenir les conducteurs à une certaine distance au dessus du sol et des obstacles rencontrés pour assurer la sécurité des personnes et des installations. Ils constituent les repères du tracé et jouent des rôles mécaniques divers suivant que leur implantation correspond à un alignement ou à un angle, en ligne ou encore qu'ils soient placés sur un point haut ou bas du profil en long. Les supports doivent avoir une forme et une hauteur conformes ainsi qu'une résistance mécanique suffisante, pour supporter sans atteinte les efforts appliqués sur la ligne dans les différentes conditions climatiques rencontrées. Les allures des supports et leurs dimensions en largeur se trouvent déterminées par la disposition des conducteurs pour des distances minimales qu'il faut arranger entre les conducteurs, eux mêmes et entre les pièces métalliques, compte tenu des déplacements possibles des conducteurs de la tension de service.

1-5-2-5- Les armements

C'est la disposition des conducteurs par rapport au support. Les différents armements sont

- *Armement en triangle*

Il exige une dimension transversale plus réduite et permet donc d'obtenir plus facilement une bonne tenue du support aux efforts de torsion.

- *Armement double drapeau*

Comporte les conducteurs sur deux cotés du pylône.

- *Armements nappe*

Ce type d'armement exige des supports larges mais moins élevés et donne une plus grande sécurité mécanique en cas de décharge de givre ou d'oscillations verticales dans les conducteurs. Il permet d'installer deux câbles de garde.

1-5-2-6- La mise à la terre

Les supports métalliques doivent être mis à la terre, la résistance de terre doit être aussi faible que possible, pour cela il ya trois paramètres qui interviennent :

- La résistance propre de la prise de terre
- La résistance de contact ente la prise et le terrain
- La résistance de propagation dans le terrain

1-5-3- Dimensionnement d'un câble souterrain

Les câbles sont des conducteurs isolés qui permettent le transport de l'énergie électrique. Les câbles se composent essentiellement de :

- **Conducteurs**

Les conducteurs d'un câble sont formés d'un ou plusieurs files torsadés. Le matériau utilisé en général est le cuivre ou occasionnellement l'aluminium.

- *L'isolation*

On utilise généralement et plus souvent le papier imprégné d'huile. Ce système d'isolation fonctionne jusqu'à 400 kV. La gaine assure le maintien et la stabilité des conducteurs isolés. Extérieurement elle protège contre les dommages mécaniques et l'infiltration de l'humidité.

1-5-4- Comparaison entre les lignes aériennes et les câbles souterrains

Les lignes aériennes sont meilleur marché que les câbles, en cas de très haute tension des problèmes se posent pour les longueurs étendues des câbles. Par contre, les câbles sont mieux protégés contre les avaries extérieures (foudre, tempête) que les lignes aériennes. Les défaillances sont plus rapidement décelables sur les lignes aériennes. Pour les câbles au contraire, elles exigent de gros travaux.

1-6- Propriétés des lignes de transport

Le rôle fondamental et essentiel d'une ligne est le transport de la puissance active. Elle doit donc posséder des caractéristiques de base qui sont :

- La tension doit demeurer constante sur toute la longueur de la ligne;
- Les pertes doivent être faibles pour que le rendement de la ligne soit acceptable ;
- Les pertes joules doivent être réduites pour que les conducteurs ne s'échauffent pas.

1.7. Conclusion

Ce premier chapitre est consacré à l'étude des différents réseaux électriques, comme on a vu précédemment, le rôle principal d'un réseau est l'acheminement de l'énergie du point de production jusqu'au point de consommation.

Structure générale d'un réseau

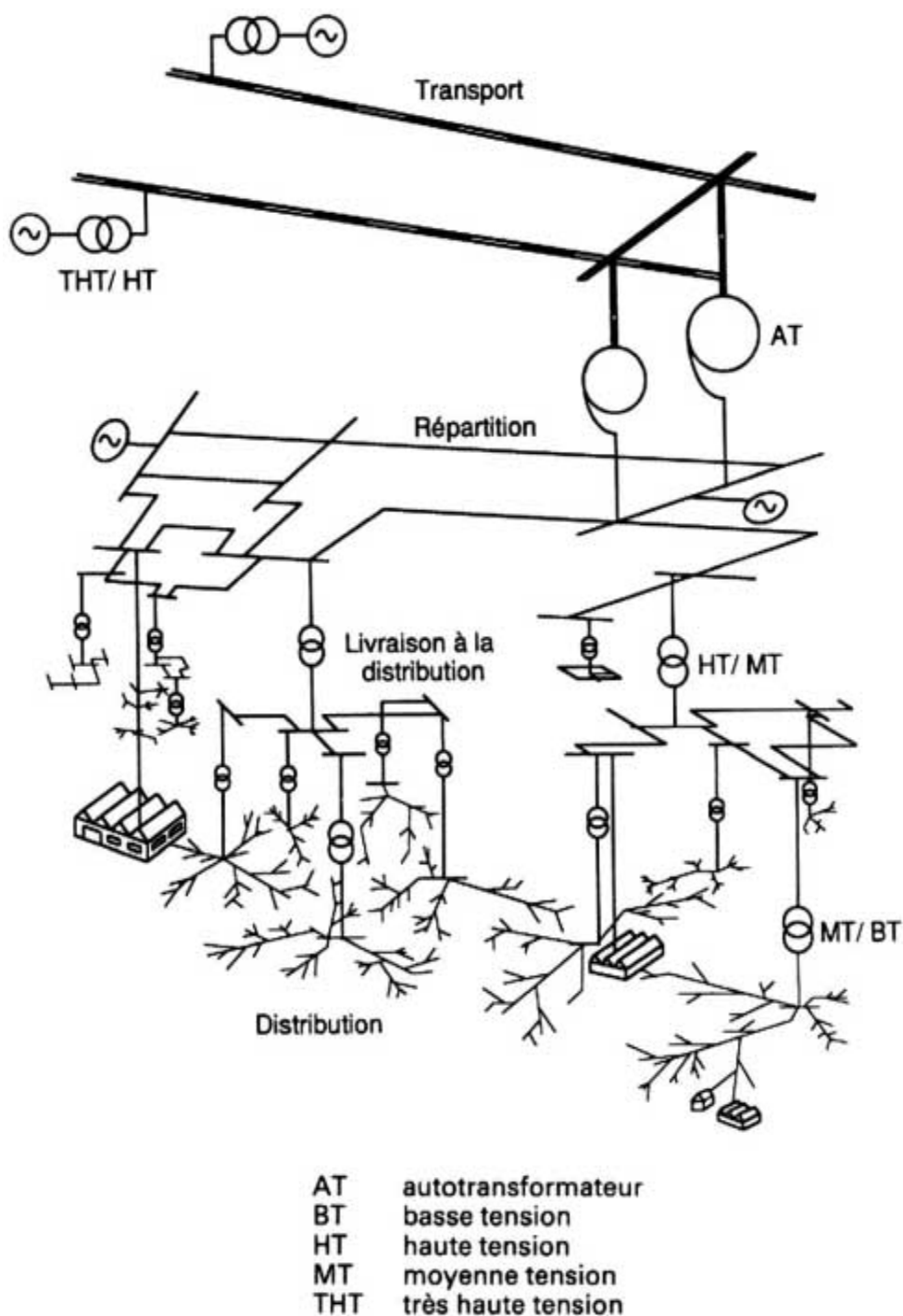
Hiérarchisation par niveau de tension

Figure 1-17- Hiérarchisation d'un réseau

Chapitre 2

Isolation des câbles souterrains

2-1- Isolation électrique

2-1-1- Définition d'un isolant

Un isolant est une substance dont la conductivité est nulle, ou très faible. L'action d'isoler est le moyen d'empêcher la conduction électrique entre conducteurs soumis à des champs électriques. On peut considérer comme isolant tout matériau dont la résistivité est supérieure à $10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$.

2-1-2- Définition d'une isolation

Une isolation est un système constitué par un ensemble d'équipement (appareils) et des matériaux isolants ou un assemblage de matériaux isolants à considérer avec les parties conductrices associées.

2-1-3- Types d'isolants

Les isolants sont classés en deux catégories principales :

- Catégorie des isolants organiques ;
- Catégorie des isolants inorganiques.

En général, les isolants organiques tels que le caoutchouc, le papier, l'huile, le coton, les matériaux thermoplastiques, ... etc, sont composés de longues chaînes moléculaires de carbone et d'hydrogène. Ils ne peuvent pas supporter des températures élevées sans se désagréger.

Par ailleurs, les isolants inorganiques tels que le mica, la porcelaine, l'air, peuvent tolérer des températures dépassant parfois 1000°C [6]. Cette diversité est due à l'arrivée sur le marché des isolants synthétiques (parfois appelés plastiques) inventés et développés par les chimistes, possédant des propriétés thermiques, électriques et mécaniques bien supérieures à celles des isolants naturels (bois sec, soufre, résine naturelle,...etc). Ces isolants synthétiques ont grandement modifié la fabrication des fils, des câbles, et des appareils électriques de toutes sortes [6].

On est souvent porté à combiner deux ou trois isolants afin de créer un produit nouveau possédant les avantages de chacun de ces composants. Par exemple, on combine la fibre de verre avec un vernis synthétique pour produire un isolant pouvant résister à la fois aux températures élevées et aux chocs [6].

On peut classer les isolants en trois types :

a) Isolants solides

Lors d'une réaction chimique, dite de polymérisation, certaines molécules simples peuvent s'unir de façon à former une grosse molécule contenant plusieurs fois la molécule initiale. On dit alors que la nouvelle substance ainsi formée est un polymère de la première molécule. Tous les isolants synthétiques sont des polymères. Le caoutchouc naturel, les résines, les vernis et la bakélite sont des polymères. On utilise ces matériaux synthétiques pour couvrir les fils conducteurs servant à construire des bobines de moteurs, transformateurs, et pour isoler les fils servant à la distribution de l'électricité dans les bâtiments. Aussi le Polyéthylène (PE) ou polyéthylène réticulé chimiquement, est très utilisé dans les câbles électriques car pour de petites épaisseurs d'isolants, le câble supporte de grandes tensions. On utilise aussi le PVC (polychlorure de vinyle) utilisé en basse et en moyenne tension, le polystyrène (PS) utilisé dans les condensateurs et le polypropylène (PP) utilisé dans les manchons des câbles [6].

Bien qu'on utilise de plus en plus les isolants synthétiques, les isolants naturels sont encore indispensables dans plusieurs applications. Le coton s'emploie dans la fabrication de feuilles et de plaques isolantes et pour revêtir des câbles. Le papier est encore un des meilleurs matériaux pour recouvrir les conducteurs à haute tension [6].

b) Isolants liquides

Dans les transformateurs de grande puissance, l'huile minérale est utilisée comme isolant et comme liquide caloporteur et sert également à empêcher l'oxydation des conducteurs des enroulements. Notons qu'en l'absence d'huile, le problème de l'oxydation s'avérerait particulièrement grave dans les transformateurs à haute tension ou les décharges électriques par effet couronne produiraient de l'ozone, oxydant très puissant. En immergeant les enroulements dans l'huile, on empêche la formation d'ozone et on permet l'évacuation de la chaleur vers la cuve extérieure. De plus, l'huile étant un isolant meilleur que l'air, on réussit par la même occasion à réduire les dimensions de l'appareil. Cependant, l'huile possède l'inconvénient d'être inflammable, sa température d'ignition étant de l'ordre de 150°C seulement. Certains isolants liquides synthétiques contournent ce problème, mais ils sont très chers et parfois, ils sont incompatibles avec d'autres isolants qu'ils peuvent attaquer chimiquement [6].

c) Isolants gazeux

Dans les conditions normales, un des meilleurs isolants connus est l'air qui nous entoure. Ses caractéristiques thermiques sont supérieures à celles des porcelaines ; il peut aussi agir comme agent de refroidissement et ne coûte absolument rien en plus il est auto-régénérateur. Cependant, à des températures élevées, l'air devient bon conducteur par suite du phénomène d'ionisation. Ainsi, à une température de 2000°C, sa résistivité se compare à celle de la porcelaine mais lorsque sa température se situe entre 5000°C et 50 000°C, sa résistivité correspond à celle de l'eau salée. Dans les disjoncteurs, on utilise parfois un autre gaz isolant : l'hexafluorure de soufre (SF₆) qui est un gaz électronégatif qui n'a ni couleur, ni odeur. Il est inerte chimiquement et présente une grande stabilité jusqu'à 150°C. Il peut se décomposer si sa température dépasse 800°C. Ses molécules sont capables d'absorber des électrons, ce qui lui confère une haute rigidité diélectrique (10 fois celle de l'air à une pression de 400 kPa). En revanche, le SF₆ présente des inconvénients. En effet, lorsqu'il se décompose, il donne de S₂F₁₀ qui est toxique lorsque sa teneur est importante. Pour assurer le refroidissement des groupes machines rotatives, on utilise l'hydrogène. Beaucoup moins visqueux que l'air, l'hydrogène produit moins de frottements aux hautes vitesses et, pour une même augmentation de température, il absorbe une quantité de chaleur 14 fois plus grande [6].

2-1-4- Propriétés électriques des isolants

a) Résistivité électrique des isolants

Lorsque l'on applique une tension à un isolant, aussi bon soit-il, on provoque la circulation d'un très faible courant, dont une partie passe à travers son volume et une autre passe en surface. La résistivité surfacique varie beaucoup avec l'humidité et la propreté de la surface ; par contre, la résistivité volumique, habituellement exprimée en téraohm-mètre (1TΩ.m = 10¹²Ω.m) est assez constante [6]. Ces résistivités prennent une importance capitale lorsque les isolants sont soumis à des tensions très élevées comme dans le cas des bornes de transformateurs ou des isolateurs de lignes à haute tension.

b) Rigidité électrique – phénomène de claquage

La fonction principale d'un diélectrique est d'empêcher le passage du courant lorsqu'on le soumet à une tension électrique. Cependant, ce diélectrique ne peut supporter des tensions croissantes indéfiniment ; à une certaine tension, il se produit un phénomène de claquage ou la

substance perd ses propriétés isolantes. Ainsi, la rigidité diélectrique est le champ maximal que peut supporter un diélectrique sans qu'il y ait décharge [KV /cm].

c) La permittivité

Lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action d'un champ électrique, il se produit à l'échelle moléculaire diverses modifications qui ont pour effet de créer un champ électrique propre à l'intérieur de la substance s'opposant au champ électrique extérieur appliqué [6].

d) Durée de vie d'un équipement électrique

Mis à part les défauts électriques ou mécaniques, la durée de vie d'un appareil électrique est limitée par la température à laquelle est soumis son isolant. Plus celle-ci est élevée, plus sa durée sera raccourcie. Des tests effectués sur un grand nombre d'isolants ont démontré que la durée de vie d'un appareil diminue de moitié [6].

e) Détérioration des isolants organiques

Les facteurs qui concourent le plus à la détérioration des isolants organiques sont : la chaleur, l'humidité, les vibrations, l'acidité, l'oxydation, et les surtensions. Sous l'action de ces différents facteurs, l'état de l'isolation change avec le temps. L'isolant se cristallise et cette transformation est d'autant plus rapide que la température est plus élevée. En se cristallisant, l'isolant devient dur et cassant et supporte très mal les moindres chocs ou vibrations mécaniques, sans se désagréger. Les basses températures sont aussi nuisibles que les hautes car elles risquent de geler et de casser l'isolant. Certaines isolants synthétiques conservent leur souplesse jusqu'à des températures de (-60°C) [6].

2-1-5- Mesure de l'isolement électrique

Pour assurer le bon fonctionnement et une parfaite sécurité des appareils et installations électriques, tous les conducteurs sont isolés : gaine pour les câbles, vernis pour les bobinages. Quand la qualité de ces isolations s'amointrit, des courants de fuite peuvent circuler d'un conducteur à l'autre et, selon l'importance des défauts d'isolement (le pire défaut étant le court-circuit), provoquer des dégâts plus ou moins graves [19].

Un matériel présentant un défaut d'isolement peut tomber en panne, brûler ou provoquer un défaut sur l'installation elle-même et par conséquent, déclencher des dispositifs de protection, c'est-à-dire la coupure de toute l'installation...etc [14], [13]. Pour prévenir et pouvoir se prémunir des risques liés à un isolement insuffisant ou à une dégradation du niveau de l'isolement, des mesures doivent être effectuées.

2-1-5-1 Mesure de la résistance d'isolement et essais diélectriques

a) L'épreuve de tenue diélectrique

Plus communément appelée "essai de claquage", elle exprime la capacité d'un isolant à supporter une surtension de moyenne durée sans qu'il se produise un amorçage (étincelle). Dans la réalité, cette surtension peut être due à la foudre ou à l'induction engendrée par un défaut sur une ligne de transport d'énergie, par exemple. L'objectif principal du test diélectrique est donc de s'assurer que les règles de construction relatives aux lignes de fuite et aux distances d'isolement dans l'air, telles que spécifiées dans les normes, sont respectées. L'essai est souvent réalisé en appliquant une tension alternative, mais il peut également être réalisé avec une tension continue. L'appareil nécessaire à ces mesures est un diélectromètre.



Figure 2-1- Diélectromètre.

b) La mesure de la résistance d'isolement

La mesure est réalisée en appliquant une tension continue d'amplitude inférieure à celle de l'essai diélectrique, elle vise à fournir un résultat en $k\Omega$, $M\Omega$ ou $G\Omega$. Cette résistance exprime la qualité de l'isolation entre deux éléments conducteurs et fournit une bonne information sur les risques de circulation de courants de fuite. Son caractère non-destructif la rend particulièrement intéressante pour le suivi du vieillissement des isolants durant la période d'exploitation d'un

matériel ou d'une installation électrique. Elle peut ainsi servir de base à une maintenance préventive. Cette mesure est effectuée au moyen d'un contrôleur d'isolement, également appelé mégohmmètre [14].

2-2-Isolation des câbles électriques

2-2-1- Définition d'un câble

Les câbles sont des conducteurs entourés d'une gaine armée ou non, qui protège ces derniers et les isolent contre les contraintes électriques, mécaniques et chimiques. On les trouve généralement dans les zones urbaines [13], [19]. Les câbles sont constitués d'une âme conductrice et d'une gaine isolante [19].



Figure 2-2- Câble et conducteur

2-2-1-1- L'âme conductrice

C'est elle qui conduit le courant, elle est faite généralement en cuivre ou en aluminium caractérisée par sa section (mm^2) et sa structure massive ou câblée [19].

- ü L'âme est massive lorsqu'elle est constituée d'un conducteur unique.
- ü L'âme est câblée lorsqu'elle est formée de plusieurs brins.

L'âme doit satisfaire les conditions suivantes [19] :

- ü Avoir une bonne conductibilité pour réduire les pertes lors du transport d'énergie d'où le choix :
 - Du cuivre $\rho = 18,51 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ à 20°C .
 - D'aluminium $\rho = 29,41 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ à 20°C .

- Û Avoir une résistance mécanique suffisante pour éviter la rupture du conducteur sous les efforts au moment de la pose, des fixations, du serrage des connections.
- Û Avoir une bonne souplesse pour faciliter le passage des conducteurs dans les conduites.
- Û Avoir une bonne tenue à la corrosion due aux causes atmosphériques et aux environnements chimiques.
- Û Avoir une bonne fiabilité.

La souplesse des câbles est définie en quatre classes qu'on site :

- Û Classe 1 : rigide, massive ;
- Û Classe 2 : rigide, câblée ;
- Û Classe 5 : souple ;
- Û Classe 6 : souple ;

L'âme peut être en :

- Û En cuivre recuit, nu ou revêtu d'une couche métallique ;
- Û En aluminium ou en alliage d'aluminium nu ou revêtu d'une couche métallique ;
- Û En aluminium plaqué de métal revêtu ou non d'une couche métallique ;

La couche métallique de revêtement peut être : [19]

- Û De l'étain, alliage d'étain ou de plomb dans le cas du cuivre.
- Û Du cuivre, du nickel ou l'étain dans le cas de l'aluminium.

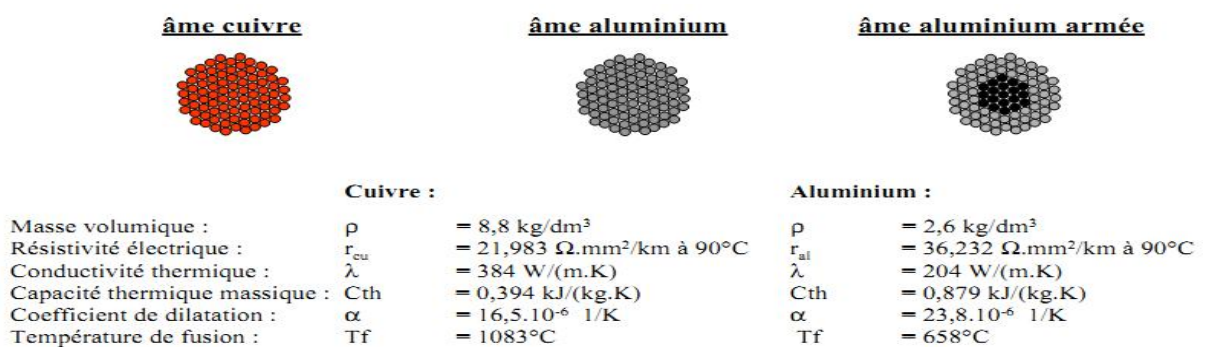


Figure 2-3- Différentes âmes conductrices

2-2-1-2- Gaine isolante

Elle permet d'assurer l'isolation de l'âme conductrice, c'est un revêtement tubulaire continu entourant le conducteur ou l'ensemble des conducteurs destinés à assurer leurs protections. Cette enveloppe isolante doit assurer la bonne isolation de l'âme conductrice, et présenter les caractéristiques suivantes [19], [13] :

- ü Résistivité élevée ;
- ü Très bonne rigidité électrique ;
- ü Faible pertes diélectriques ;
- ü Bonne tenue au vieillissement ;
- ü Bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu ;
- ü Insensibilité aux vibrations et aux chocs ;
- ü Bon comportement à l'attaque des agents chimiques.

2-2-1-3- Gaine de protection

C'est une gaine qui entoure la gaine isolante pour des raisons de sécurité lorsqu'on enterre le câble souterrain.

Les matériaux constituent cette gaine sont choisis en tenant compte :

- ü Des contraintes externes auxquelles le câble est soumis ;
- ü Des conditions de fonctionnement, température maximale ;
- ü Des conditions d'installation, température minimale ;
- ü De la nature des matériaux de l'enveloppe isolante particulièrement à leur tenue à la chaleur.

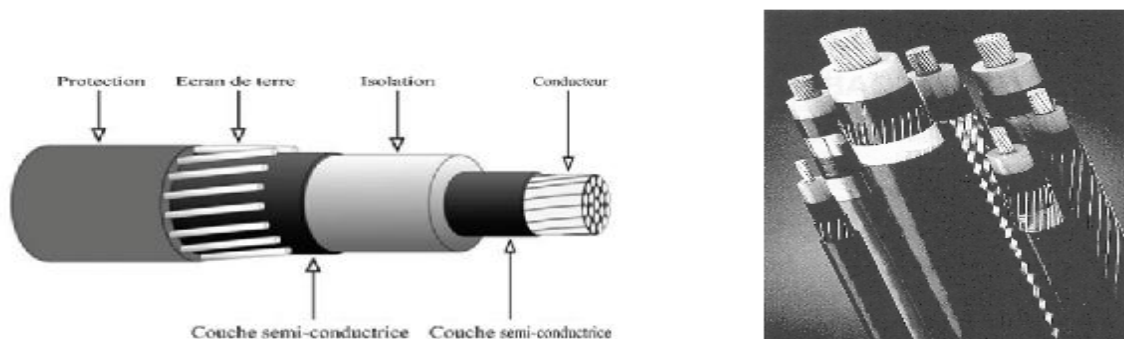


Figure 2-4- Câbles extrudé de distribution

2-2-1-4-Les principaux matériaux utilisés pour la gaine isolante

Û *Le polychlorure de vinyle (PVC)*

Très employé pour ses bonnes caractéristiques : électrique, mécanique, la tenue au froid, au vieillissement thermique, résistance à l'eau et aux produits chimiques courants.

Û *Le polyéthylène (PE)*

C'est un isolant de choix grâce à ses remarquables caractéristiques. Il est utilisé pour les câbles HT et THT, actuellement il équipe le réseau 400 kV.

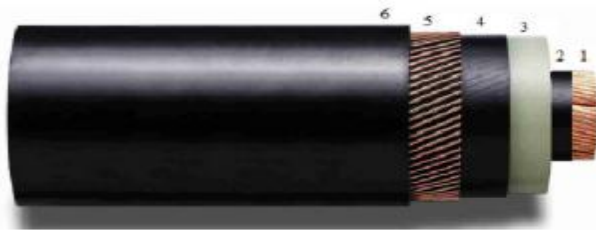
Û *Le polyéthylène réticulé (PR)*

Il est utilisé principalement dans la perspective de surcharges temporaires et d'un environnement thermique défavorable. Il a une bonne tenue au froid.

Û *Le caoutchouc de silicone*

Il se caractérise par une haute tenue aux températures extrêmes (-80°C à 250°C) et une bonne résistance aux agents extérieurs, ce qui entraîne un vieillissement remarquable.

Û *Le papier imprégné d'huile minérale et de serine*



- 1) Âme conductrice
- 2) Couche semi-conductrice
- 3) Isolant au PER
- 4) Couche semi-conductrice externe
- 5) Écran conducteur
- 6) Protection en PVC

Figure 2-5- Constitution d'un câble souterrain isolé au polyéthylène réticulé



Figure 2-6- Câble tripolaire



Figure 2-7- Câble mono-polaire



Figure 2-8- Câble moyenne tension

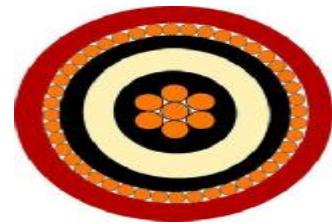


Figure 2-9- Coupe transversale du câble

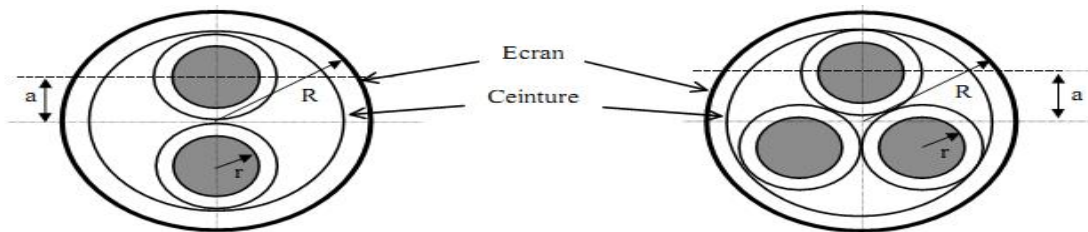


Figure 2-10- Câbles à deux et à trois conducteurs

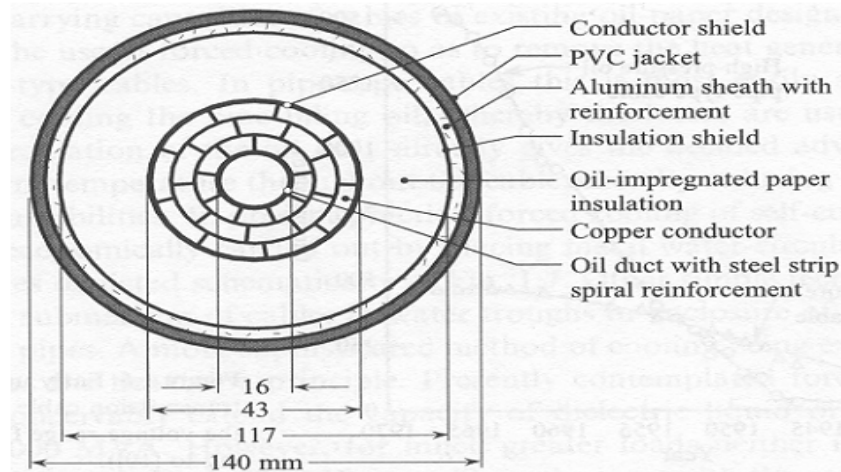


Figure 2-11- Schéma d'un câble papier huile contenant à l'intérieur

2-2-2- Câble à un conducteur ou câble unipolaire

C'est un câble qui contient un seul conducteur isolé.

2-2-3- Câble multiconducteur ou multipolaire

C'est un câble qui contient plus d'une âme conductrice dont certaines peuvent être non isolés.

2-2-4- Condition de pose des câbles souterrains

Les conditions de pose des câbles en pleine terre et les règles de voisinage avec les autres occupants du sous-sol doivent être soumises à un arrêté interministériel, dit Arrêté Technique. En plus il y a d'autres règles qui complètent cet arrêté. Un câble ne peut être enterré directement que s'il est capable de supporter le tassement des terres. En pratique, il comporte une armature ou une gaine extérieure renforcée. Dans le cas contraire, une protection mécanique doit lui être associée. Ainsi, le câble peut être mis en fourreau ou bien recouvert de dalles de béton [19].

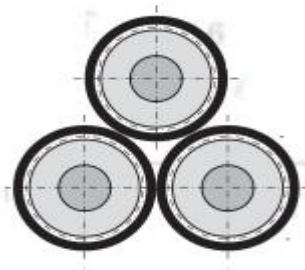


Figure-2-12- Câbles posés en triangle

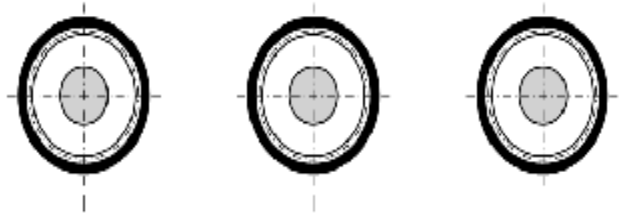


Figure-2-13- Câbles posés sur un même plan(en nappe)

2-2-5- Les matériaux les plus utilisés dans l'isolation des câbles électrique

2-2-5-1- Polychlorure de vinyle (PVC)

Le polychlorure de vinyle (PVC) est un plastique couramment utilisé dans l'industrie pour isoler les câbles en général. Son utilisation demande une attention particulière car il contient des substances dangereuses. Il est fabriqué à base du chlore et de grandes quantités d'additifs sont nécessaires pour qu'il soit fonctionnel. La combustion du PVC entraîne la formation de dioxines qui est la substance chimique synthétique la plus toxique pour l'être humain. Le PVC est utilisé comme isolant et gaine de protection dans les câbles électriques [10] :

- Ü Dans les locaux où on peut avoir un risque d'explosion.
- Ü Dans les installations électriques nécessitant une protection élevée contre le risque d'incendie (centrales thermiques et nucléaires par exemple), contre les hydrocarbures aliphatiques et les agents chimiques.
- Ü Dans les équipements électriques de navires et de voitures.
- Ü Pour l'alimentation d'appareils électroménagers et de moteurs moyenne tension.

2-2-5-2- Le polypropylène PP

Le polypropylène PP est un thermoplastique obtenu par la polymérisation d'un gaz appelé propylène. Le propylène est une molécule d'éthylène dont un atome d'hydrogène est remplacé par un groupement méthyle (CH_3), il est produit par le raffinage du pétrole [12]. En général, le polypropylène est léger, il est très résistant aux chocs et à la torsion répétitive ainsi qu'aux produits chimiques. Il est facilement usinable, pliable, non stérile aux ultraviolets et convient aux usages alimentaires [12].

Le polypropylène présente les avantages suivants :

- ü Bonne résistance à la flexion ;
- ü Bonne propriétés électriques et mécaniques ;
- ü Bonne résistance aux produits chimiques.

Le polypropylène possède certains inconvénients qui sont :

- ü Fragilité à la basse température
- ü Mauvaise tenue au vieillissement et c'est ce qui nécessite l'ajout des adjuvants
- ü Jaunissement à la lumière et c'est ce qui nécessite l'ajout des stabilisants
- ü Il est déconseillé de l'utiliser pour le cuivre et le manganèse

2-2-5-3- Le polyéthylène PE

Le polyéthylène (PE) est un des polymères les plus simples et les moins chers. Il appartient à la famille des polyoléfines. C'est le plus important polymère de synthèse devant le PP et le PVC. Sa production mondiale est estimée à 80 millions de tonnes en 2008. Sa température de transition vitreuse est très basse (voisine de -110 °C) et sa température de fusion peut selon les variétés atteindre 140 °C, mais sa résistance mécanique fléchit nettement dès 75 à 90 °C. Contrairement au polypropylène, la température d'utilisation ne peut excéder le point d'ébullition de l'eau c-à-d. 100°C. Sa nature paraffinique explique sa grande inertie chimique.



Figure-2-16- Formule chimique et l'aspect moléculaire du polyéthylène

Le polyéthylène est un polymère thermoplastique, translucide, chimiquement inerte (il est plus résistant aux oxydants forts que le polypropylène), facile à manier et résistant au froid.

Le polyéthylène réticulé (PER) montre une meilleure tenue thermique que le PE. Pour la fabrication de gaines de câbles, la réticulation se fait en général après extrusion.

Chapitre 3

*Calcul des courants de court-circuit et
des chutes de tension*

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux électriques

Chapitre 2

Isolation des câbles souterrains

Chapitre 3

*Calcul des courants de court-circuit et
des chutes de tension*

Chapitre 4

*Application : dimensionnement
du câble*

Introduction

Conclusion

bibliographie

amaze

Sommaire

3-1- Calcul des courants de court-circuit

3-1-1- Définition d'un court-circuit

Le court-circuit est une liaison accidentelle entre conducteurs à impédance nulle (court-circuit franc) ou à impédance non nulle (court-circuit impédant). Le court-circuit est aussi la mise en connexion volontaire ou accidentelle de deux points ou plus d'un circuit électrique entre lesquelles il existe une différence de potentiel, par un conducteur de faible résistance. Ceci donne naissance à l'apparition d'un courant de court-circuit. Les causes du court-circuit sont d'origine mécanique (coup de pelle, les branches, les animaux...), électrique (dégradation d'isolant, surtension...) ou bien humaine (erreur de l'exploitant...) [14].

3-1-2- Effet des courants de court-circuit

Les conséquences des courts-circuits sont le plus souvent graves, en effet :

- ü Le court-circuit perturbe l'environnement du réseau autour du point du court-circuit par le creux de tension brutal qu'il entraîne.
- ü Le court-circuit met hors service une partie souvent importante du réseau.
- ü Le court-circuit fait subir une forte contrainte mécanique aux matériels et liaisons qu'il traverse (appareils de protection) et peut entraîner des ruptures. Une contrainte thermique peut également entraîner la fusion des conducteurs puis la destruction des isolants et des isolements.
- ü Le court-circuit se manifeste par un arc électrique de forte énergie dont les effets destructeurs sont très importants ; il peut se propager très rapidement.

Les conséquences graves qui peuvent résulter d'un court-circuit incitent à tous mettre en œuvre pour détecter et éliminer rapidement tous court-circuit. La connaissance de la valeur du courant de court-circuit en différents points du réseau est une donnée indispensable pour dimensionner les câbles [14].

3-1-3- Les paramètres qui influencent la valeur du courants de court-circuit

L'intensité du courant de court-circuit est une caractéristique importante, elle détermine la sévérité de la contrainte appliquée au réseau et au matériel en défaut.

La valeur de l'intensité du courant de court-circuit en un point d'un réseau dépend de :

- La nature des éléments qui constituent le réseau : alternateur, transformateur, lignes, câbles ;
- La structure topologique du réseau (radial, bouclé, maillé) ;
- Le mode d'exploitation du réseau : neutre isolé ou neutre mis à la terre ;
- La résistance du défaut ;
- Le type de défaut : triphasé, biphasé ou monophasé [14].

3-1-4- Définition de l'intensité du courant de court-circuit

L'intensité I d'un courant de court-circuit dans un réseau monophasé se définit principalement par l'application de la loi d'ohm.

$I = V / Z$ avec : V : tension simple de la source.

Z : impédance totale du circuit y compris celle du défaut.

L'intensité I_{CC} d'un courant de court-circuit dans un réseau triphasé équilibré se définit toujours par phase à partir de la tension simple du réseau et de l'impédance correspondante par phase. Par contre dans les réseaux triphasés déséquilibrés, le calcul de courant de court-circuit nécessite le retour aux composantes symétriques [14].

3-1-5- Impédance des câbles souterrains

3-1-5-1- Impédance directe ou inverse

Les fabricants des câbles ajoutent dans leurs catalogues une expression qui représente le facteur d'impédance f_1 . Le facteur d'impédance permet le calcul de l'impédance directe à partir de la résistance en courant continu $R_c = \rho L / S$ d'un conducteur de câble et cela grâce à la formule suivante :

$$Z_d = f_1 * R_c \quad (3-1)$$

Donc : $Z_d = Z_i = 0,1 \Omega / \text{km}$.

3-1-5-2- Impédance homopolaire

L'impédance homopolaire d'un câble se mesure comme celle d'une ligne aérienne. Le calcul de cette impédance se fait suivant la nature des câbles.

ü Pour le cas d'un câble tripolaire sous enveloppe unique

L'impédance homopolaire se calcule par la formule suivante (3-2). [14]

$$Z_0 = R + 3jL_{cp} w + 3R_p (1 - K) \quad [\Omega/\text{km}] \quad (3-2)$$

$$L_{cp} = \left[4,6 \log \frac{3,3}{\sqrt{r' D^2}} \right] 10^{-4} \quad [\text{H}/\text{km}] \quad (3-3)$$

Avec :

$$K = \frac{R_p'}{R_p'' + jL'w}$$

$$R_p'' = R_p + R_s$$

Avec R_s : la résistance du sol, elle est en fonction de la longueur du câble.

$$L' = 4,6 \log \frac{3,3}{\gamma_0 r_{III}} 10^{-4} \quad [\text{H}/\text{km}] \quad (3-4)$$

R : résistance d'un conducteur ;

R_p : résistance en courant continu de l'enveloppe de plomb ;

r' : rayon d'un conducteur ;

D : distance entre conducteurs ;

R_p' : résistance de l'enveloppe majorée de la résistance des prises de terre ;

$$\gamma = 1,781 ; \quad \alpha = \sqrt{4\pi\sigma w} ; \quad \text{avec } \sigma : \text{ la conductibilité ;}$$

Ü Pour le cas d'un câble unipolaire sous enveloppe individuelle

L'impédance homopolaire se calcule par la formule [14]

$$Z_0 = R + jwL_{CP} + R_P(1 - K) \quad [\Omega/\text{km}] \quad (3-5)$$

$$L_{CP} = \left[4,6 \log \frac{r_m}{r} \right] 10^{-4} \quad [\text{H}/\text{km}] \quad (3-6)$$

Avec:

$$K = \frac{R_P}{3} \frac{1}{R_P + jLw} ; \quad L' = 4,6 \log \frac{3,3}{\gamma \alpha \sqrt{r_m} D^2} 10^{-4} ; \quad [\text{H}/\text{km}]$$

$$R_P = \frac{R_P}{3} + R_S ;$$

3-1-6- Définition des composantes symétriques

Le calcul des courants de court-circuit avec la méthode générale faisant appel aux lois d'ohm, de Kirchhoff est possible mais complexe et lourde. La méthode des composantes symétriques, décrite ci-dessous simplifie les calculs [15]. Cette méthode appelée aussi de FORTESCUE repose sur le fait qu'un système déséquilibré de grandeurs sinusoïdales de tensions $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$ peut être considéré comme la superposition de deux systèmes équilibrés :

L'un direct : si le décalage entre deux vecteurs successifs est de $2\pi/3$.

L'autre inverse : si le décalage entre deux vecteurs successifs est de $(-2\pi/3)$.

On considère le système triphasé sinusoïdal et équilibré représenté ci-dessous :

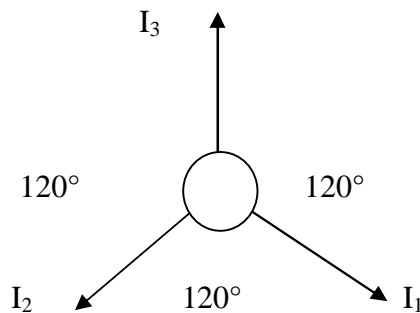


Figure 3-1- Système triphasé équilibré

ü *Système direct:*

Il est caractérisé par les équations suivantes

$$I_1 = I\sqrt{2} \cos \omega t \quad (3-7)$$

$$I_2 = I\sqrt{2} \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3-8)$$

$$I_3 = I\sqrt{2} \cos\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \quad (3-9)$$

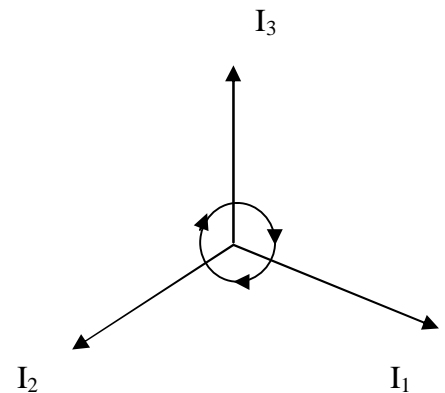


Figure 3-2- système directe

ü *Système inverse :*

C'est un système qui est caractérisé par les équations suivantes

$$I_1 = I\sqrt{2} \cos \omega t \quad (3-10)$$

$$I_2 = I\sqrt{2} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3-11)$$

$$I_3 = I\sqrt{2} \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (3-12)$$

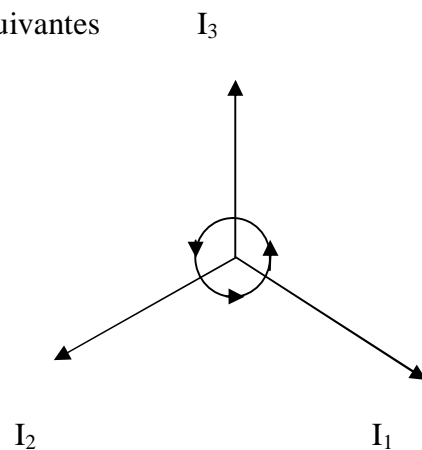


Figure 3-3- système inverse

Le principe de la méthode des composantes symétriques consiste à ramener un système de trois vecteurs quelconques à trois systèmes de vecteurs symétriques. Un déphasage avant (ou arrière) de 360° fait coïncider le vecteur $a^3 \cdot I$ avec le vecteur I , ce qui permet d'écrire : $a^3 I = I$ ou $a^3 = 1$

3-1-6-1- L'expression des tensions en fonction des composantes symétriques

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 \quad (3-12)$$

$$\bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \quad (3-13)$$

$$\bar{V}_3 = a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0 \quad (3-14)$$

Avec : $a = e^{j\frac{2p}{3}}$

L'opérateur de rotation, appliqué à un vecteur le fait tourner d'un angle de $2p/3$ dans le sens trigonométrique.

Les composantes symétriques sont définies par la transformation de FORTESCUE [15].

$$\bar{V}_d = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 + a^2\bar{V}_3) \quad (3-15)$$

$$\bar{V}_i = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 + a^2\bar{V}_3) \quad (3-16)$$

$$\bar{V}_0 = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) \quad (3-17)$$

De la même manière, on peut décomposer un système de courants déséquilibrés.

$$\bar{I}_d = \frac{1}{3}(\bar{I}_1 + a\bar{I}_2 + a^2\bar{I}_3) \quad (3-18)$$

$$\bar{I}_i = \frac{1}{3}(\bar{I}_1 + a\bar{I}_2 + a\bar{I}_3) \quad (3-19)$$

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{3}(\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3) \quad (3-20)$$

Un réseau triphasé en régime déséquilibré peut être décrit par trois systèmes d'équations indépendants, correspondant aux systèmes direct, inverse et homopolaire [15].

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_d &= \bar{E}_d - \bar{Z}_d \bar{I}_d \\ \bar{V}_i &= \bar{E}_i - \bar{Z}_i \bar{I}_i \\ \bar{V}_0 &= \bar{E}_0 - \bar{Z}_0 \bar{I}_0 \end{aligned} \right\} \quad (3-21)$$

Les trois grandeurs $\bar{Z}_d, \bar{Z}_i, \bar{Z}_0$ sont les impédances cycliques du circuit, respectivement direct, inverse et homopolaire.

En fonctionnement normal, le système se réduit à la composante directe. En régime déséquilibré, on simplifie les écritures par simplification du principe de superposition des états, c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} \bar{E}_d &= E, \bar{E}_i = \bar{E}_0 = 0 \\ \left. \begin{aligned} \bar{E}_d &= \bar{Z}_d \bar{I}_d + \bar{V}_d \\ 0 &= \bar{Z}_i \bar{I}_i + \bar{V}_i \\ 0 &= \bar{Z}_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_0 \end{aligned} \right\} \quad (3-22) \end{aligned}$$

3-1-7- Analyse des courts-circuits

3-1-7-1- Type de court-circuit

Il existe plusieurs types de court circuit de différente nature :

- ü Monophasés : c'est dans le cas ou une phase et reliér directement à la terre et ce sont les plus fréquents et représentent 75% des cas de court-circuit.
- ü Biphasés : c'est dans le cas ou deux phases sont reliées (court-circuit entre deux phases) et représentent 15% des cas.
- ü Biphasés-terre : c'est dans le cas ou deux phases et la terre sont reliées ensembles et représentent 5% des cas.
- ü Triphasés : c'est dans le cas ou les trois phases sont reliées entre elles et représentent 5% des cas [15].

3-1-7-1-1- court circuit monophasé :

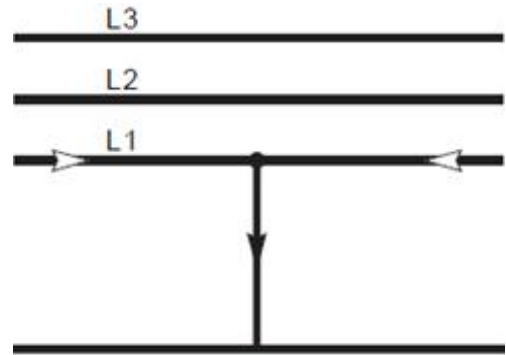
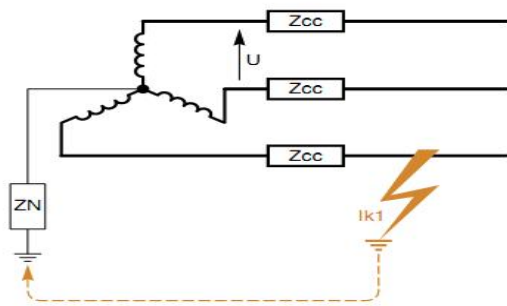


Figure 3-4- Court-circuit monophasé

Equations caractérisant le défaut :

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= 0 \\ \bar{I}_2 &= 0 \\ \bar{I}_3 &= 0 \end{aligned} \quad (3-23)$$

$$\bar{I}_d = \bar{I}_i = \bar{I}_0 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}$$

La valeur du courant du défaut monophasé est donnée par la formule suivante :

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_0 = 3\bar{I}_d = \frac{3\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \quad (3-24)$$

$$\bar{V}_d = \bar{E}_d - \bar{Z}_d \bar{I}_d = \bar{E}_d - \bar{E}_d \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} = \bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}$$

$$\bar{V}_i = -\bar{Z}_i \bar{I}_i = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}$$

$$\bar{V}_0 = -\bar{Z}_0 \bar{I}_0 = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}$$

Les tensions des trois phases sont données par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 = 0 \\ \bar{V}_2 &= a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \\ \bar{V}_3 &= a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0 \end{aligned} \quad (3-25)$$

3-1-7-1-2- Court-circuit biphasé sans contact avec la terre [14], [15]

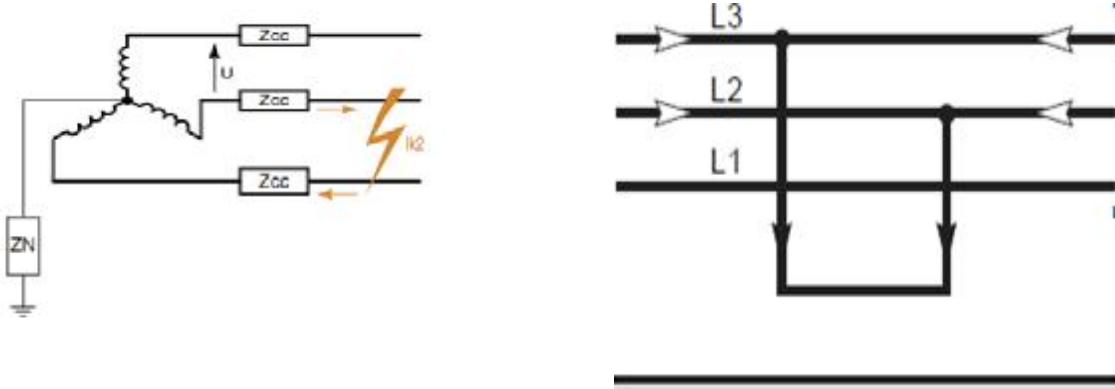


Figure 3-5- Court-circuit biphasé sans contact avec la terre.

Equations caractérisant le défaut :

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{V}_2 &= \bar{V}_3 \end{aligned} \quad (3-26)$$

Pas de contact avec la terre donc : $\bar{V}_0 = \bar{I}_0 = 0$

Sachant les composantes des courants, on calcule les courants des phases :

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{I}_2 &= a^2 \bar{I}_d + a \bar{I}_2 = (a^2 - a) \bar{I}_d = -j\sqrt{3} \bar{I}_d = -j \frac{\sqrt{3} \bar{E}_d}{Z_d + Z_i} \\ \bar{I}_3 &= (a^2 - a) \bar{I}_d = j \frac{\sqrt{3} \bar{E}_d}{Z_d + Z_i} \end{aligned} \right\} \quad (3-27)$$

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = -\bar{Z}_i \bar{I}_i = \bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{Z_d + Z_i}$$

Sachant les composantes des tensions, on calcule les tensions des phases :

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{V}_d + \bar{V}_i = 2\bar{V}_d = \bar{E}_d \frac{2\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \\ \bar{V}_2 &= a^2\bar{V}_d + a\bar{V}_i = (a^2 + a)\bar{V}_d = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \\ \bar{V}_3 &= \bar{V}_2 = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \end{aligned} \right\} \quad (3-28)$$

3-1-7-1-3- Court-circuit biphasé ayant contact avec la terre : [14], [15]

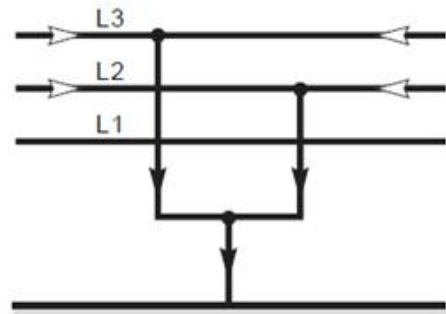
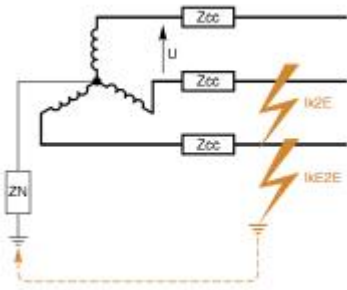


Figure 3-6- Court-circuit biphasé ayant contact avec la terre.

Equations caractérisant le défaut :

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{V}_2 &= 0 \\ \bar{V}_3 &= 0 \end{aligned} \quad (3-29)$$

Sachant les composantes symétriques des tensions on calcul les tensions des phases :

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 = 3\bar{V}_d = \frac{3\bar{E}_d}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_0}} \\ \bar{V}_2 &= a^2\bar{V}_d + a\bar{V}_i + \bar{V}_0 = \bar{V}_d(a^2 + a + 1) = 0 \\ \bar{V}_3 &= 0 \end{aligned}$$

Les composantes symétriques des courants sont:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_d &= \frac{\bar{E}_d - \bar{V}_d}{Z_d} = \frac{(\bar{Z}_i + \bar{Z}_0)\bar{E}_d}{(\bar{Z}_0\bar{Z}_1 + \bar{Z}_0\bar{Z}_d + \bar{Z}_d\bar{Z}_i)} \\ \bar{I}_i &= -\frac{\bar{V}_i}{Z_i} = -\frac{\bar{Z}_0\bar{E}_d}{(\bar{Z}_0\bar{Z}_1 + \bar{Z}_0\bar{Z}_d + \bar{Z}_d\bar{Z}_i)} \\ \bar{I}_0 &= -\frac{\bar{V}_0}{Z_0} = -\frac{\bar{Z}_i\bar{E}_d}{(\bar{Z}_0\bar{Z}_1 + \bar{Z}_0\bar{Z}_d + \bar{Z}_d\bar{Z}_i)} \end{aligned} \right\} \quad (3-30)$$

Les composantes du courants sont donné par :

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_2 &= \frac{(a^2 - 1)\bar{Z}_i + (a^2 - a)\bar{Z}_0}{(\bar{Z}_0\bar{Z}_1 + \bar{Z}_0\bar{Z}_d + \bar{Z}_d\bar{Z}_i)} \bar{E}_d \\ \bar{I}_3 &= \frac{(a^2 - 1)\bar{Z}_i + (a - a^2)\bar{Z}_0}{(\bar{Z}_0\bar{Z}_1 + \bar{Z}_0\bar{Z}_d + \bar{Z}_d\bar{Z}_i)} \bar{E}_d \end{aligned} \right\} \quad (3-31)$$

3-1-7-1-4- Court-circuit triphasé : [14], [15]

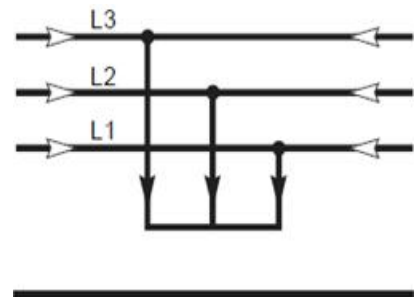
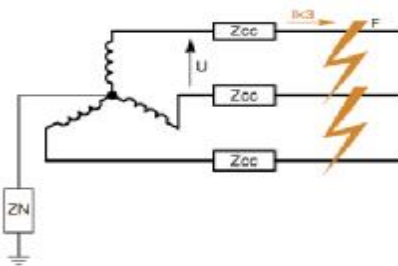


Figure 3-7- Court-circuit triphasé entre conducteurs de phases

Equations caractérisant le défaut :

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3-32)$$

Les courants du court circuit des phases sont donnés par :

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_1 &= \frac{\bar{E}_d}{Z_d} \\ \bar{I}_2 &= a^2 \bar{I}_1 = a^2 \frac{\bar{E}_d}{Z_d} \\ \bar{I}_3 &= a \bar{I}_1 = a \frac{\bar{E}_d}{Z_d} \end{aligned} \right\} \quad (3-33)$$

3-2- Calcul des chutes de tensions

La chute de tension d'une liaison est considérée comme étant la différence entre les tensions à ses extrémités, pour veiller à la bonne marche des appareils alimentés il faut que la chute de tension ne dépasse pas des limites fixées. Le calcul de la chute de tension sur un réseau est indispensable pour le choix de la section du conducteur à utiliser.

3-2-1- L'écoulement de tension

Lorsque la tension baisse, les dispositifs de régulation entrent automatiquement en action et agissent sur les groupes de production pour relever la tension. Ces dispositifs ont une action limitée, qui peut être insuffisante en cas d'avarie de groupes de production.

3-2-2- Seuils des chutes de tension

Pour les réseaux à construire, les valeurs des chutes de tensions maximales par rapport à la tension nominale du réseau sont fixées lors de l'étude comme indiqué selon le tableau suivant :

Tableau 3.1. Représentation du seuil des chutes de tension

Type de réseau	ΔU %	ΔU %
Réseaux souterrains - Réseaux éclairage public		3
Réseaux aériens		5
Démarrage des moteurs (cas des pompages)		10

3-2-3- Calcul de la chute de tension par les méthodes classiques

3-2-3-1- Méthode générale (Méthode des quadripôles)

Cette méthode s'applique dans les cas des lignes dont la longueur est de l'ordre de 600 km. En souterrain, l'existence de la capacité crée un courant capacitif qui modifie la valeur de la chute de tension. Considérons une ligne de distribution, représentée par un schéma unifilaire sur la figure suivante [4] :

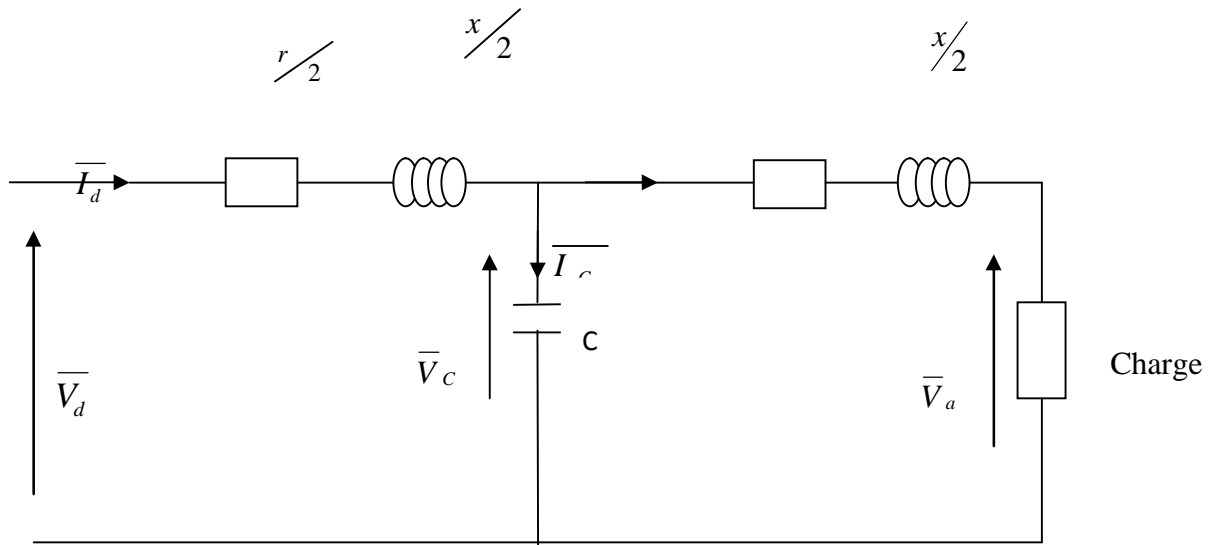


Figure 3-8- Schéma unifilaire de la ligne en T.

r : Résistance linéique (Ω/Km).

x : Réactance linéique (Ω/Km).

C : Capacité linéique (F/Km)

\bar{V}_d : Tension simple à l'entrée de la ligne.

\bar{V}_a : Tension simple au niveau de la charge.

\bar{V}_c : Tension simple au niveau de la capacité.

On écrit les équations du quadripôle :

$$\bar{V}_c = \bar{V}_a + l \left[\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right] \bar{I}_a.$$

$$\bar{I}_d = \bar{I}_c + \bar{I}_a.$$

$$\bar{V}_d = \bar{V}_c + l \left[\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right] \bar{I}_d.$$

A partir de ces équations, on trace le diagramme de la ligne en T représenté par la figure suivante :

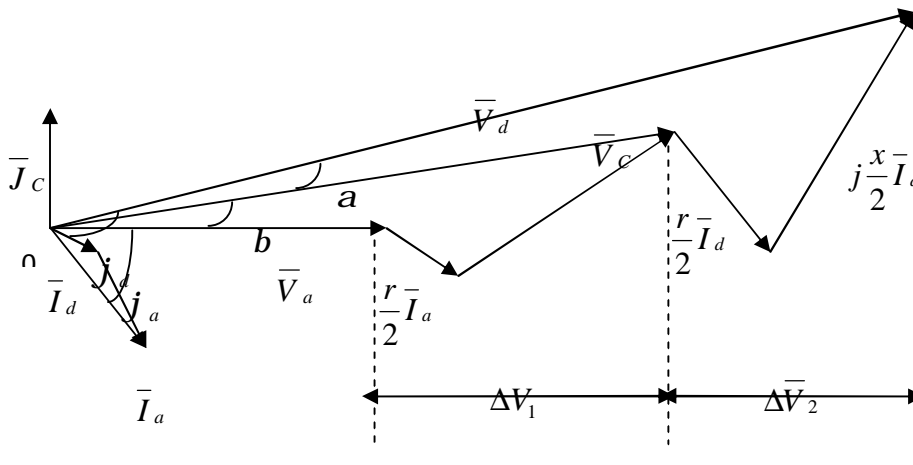


Figure 3-9- Diagramme de la ligne en T

D'où les équations :

$$\bar{V}_c \angle b = \bar{V}_a \angle 0 + l \left[\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right] \bar{I}_a \angle j_a$$

$$\bar{V}_d \angle a+b = \bar{V}_c \angle b + l \left[\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right] \bar{I}_d \angle j_d - (a+b)$$

$$\bar{I}_d \angle j_d - (a+b) = \bar{I}_c \angle \frac{p}{2} + b + \bar{I}_a \angle j_a$$

Avec :

j_a et j_d sont des angles négatifs, on aura les équations suivantes :

$$\bar{V}_c \angle b = V_a + lX \left[\frac{r}{2} + \frac{x}{2} \right] [I_a \cos j_a + j I_a \sin j_a]$$

$$= \left[V_a + l \frac{r}{2} I_a \cos j_a - l \frac{x}{2} I_a \sin j_a \right] + j \left[l \frac{x}{2} I_a \cos j_a + l \frac{r}{2} I_a \sin j_a \right]$$

ü **Module de \bar{V}_c**

$$|\bar{V}_c| = \sqrt{\left(V_a + l \frac{r}{2} I_a \cos j_a - l \frac{x}{2} I_a \sin j_a \right)^2 + \left(l \frac{x}{2} I_a \cos j_a + l \frac{r}{2} I_a \sin j_a \right)^2}$$

ü **Déphasage de \bar{V}_c**

$$b = \arctg \frac{l \frac{x}{2} I_a \cos j_a + l \frac{r}{2} I_a \sin j_a}{V_a + l \frac{r}{2} I_a \cos j_a - l \frac{x}{2} I_a \sin j_a}$$

ü **Calcul de \bar{I}_d**

$$\bar{I}_d \angle j_d - (a+b) = \bar{I}_c \angle \frac{p}{2} + b + \bar{I}_a \angle j_a$$

Si on néglige l'angle α on aura :

$$\bar{I}_d \angle j_d - b = \bar{I}_c \angle \frac{p}{2} + b + \bar{I}_a \angle j_a$$

$$\begin{aligned}
&= j l C_w \bar{V}_c \angle^b + \bar{I}_a^{j_a} \\
&= j l C_w [V_c \cos b + j V_c \sin b] + I_a [\cos j_a + j \sin j_a] \\
&= [I_a \cos j_a - l C_w V_c \sin b] + j [l C_w V_c \cos b + I_a \sin j_a]
\end{aligned}$$

ü Déphasage de \bar{I}_d

$$j_d = \text{Arctg} \frac{l C_w V_c \cos b + I_a \sin j_a}{I_a \cos j_a - l C_w V_c \sin b} + b$$

ü Module de \bar{I}_d

$$|\bar{I}_d| = \sqrt{(I_a \cos j_a - l C_w V_c \sin b)^2 + (l C_w V_c \cos b + I_a \sin j_a)^2}$$

ü La chute de tension en monophasé est donnée par :

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\Delta V_1 = l \frac{r}{2} I_a \cos j_a + l \frac{x}{2} I_a \sin j_a$$

$$\Delta V_2 = l \frac{r}{2} I_d \cos j_d + l \frac{x}{2} I_d \sin j_d$$

$$\Delta V = I_a \left[\frac{r}{2} \cos j_a + \frac{x}{2} \sin j_a \right] + I_d \left[\frac{r}{2} \cos j_d + \frac{x}{2} \sin j_d \right]$$

En triphasé, la chute de tension relative est donnée par la formule suivante : [4]

$$\frac{\Delta U}{U} \left(\frac{0}{0} \right) = \frac{\sqrt{3} l 100 \left[(I_a \cos j_a + I_d \cos j_d) \frac{r}{2} + (I_a \sin j_d + I_d \sin j_d) \frac{x}{2} \right]}{U}$$

3-2-3-2- Méthodes de séparation des puissances actives et réactives : Q_2

Cette méthode est utile dans le cas où la longueur de la ligne est de quelques dizaines de Kilomètres [4]. On représente la ligne à étudier par son schéma équivalent en π .

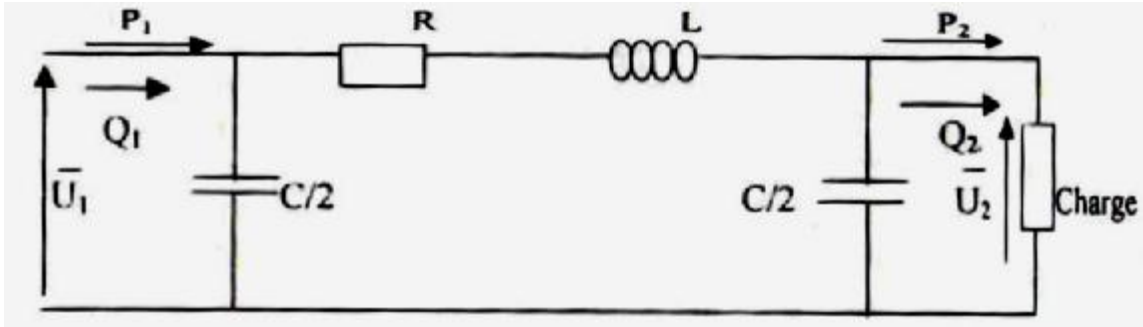


Figure 3-10- Schéma en π d'une ligne.

3-2-3-3- Méthode par approximations successives :

Soit P_2 et Q_2 les puissances active et réactive triphasées à l'extrémité réceptrice (la charge) [2], [4]

Soit \bar{U}_2 la tension composée de la ligne en(2) et φ_2 le déphasage entre \bar{U}_2 et \bar{I}_2

On a :

$$P_2 = \sqrt{3}U_2 I_2 \cos j_2$$

$$Q_2 = \sqrt{3}U_2 I_2 \sin j_2$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{3}U_2 I_2$$

Les puissances à l'extrémité émettrice (1) sont alors :

$$P_1 = P_2 + P$$

$$Q_1 = Q_2 - q_2 - q_1 + q$$

Avec :

$$P = R \left[P_2^2 + (Q_2 - q_2)^2 \right] \frac{1}{U_2^2} \quad \text{(Pertes actives)}$$

$$\begin{cases} q_2 = \frac{cw}{2} U_2^2 & \text{(Production réactives)} \\ q_1 = \frac{cw}{2} U_1^2 \end{cases}$$

$$q = lw \left[P_2^2 + (Q_2 - q_2)^2 \right] \frac{1}{U_1^2} \quad (\text{Pertes réactives dans l'inductance})$$

Puisque U_1 est inconnue, on la remplace par U_2 dans l'expression de q_1 on calcule ensuite P_1 Q_1 puis S_1 sachant que pour les câbles souterrains ou pour les lignes dépassant 200 à 300 km où on considère la capacité et l'inductance on a [4] :

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{S_1 I_2}{S_2 I_1}$$

$$\frac{S_1}{S_2} \approx \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} \quad \text{On tire} \quad U_1 \approx \frac{S_1 I_2}{S_2 I_1} U_2$$

On remplace l'expression de U_1 dans l'expression de q_1 pour avoir une valeur plus précise de Q_1 donc successivement de S_1 et de U_1 mais généralement ce n'est pas nécessaire.

Remarque :

Dans les cas où la conductance G est nulle et la capacité négligeable, on peut écrire :

$$\frac{S_1}{S_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$$

Le courant est obtenu par la relation suivante :

$$\text{On écrit : } \bar{I}_1 = \bar{I}_2 + jcw\bar{V}_2$$

Par contre, si c'est l'état en (1) qui est connu.

On écrit

$$P_2 = P_1 - P$$

$$Q_2 = Q_1 + q_1 + q_2 - q$$

$$P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos j_1$$

$$Q_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \sin j_1$$

Avec :

$$P = R \left[P_1^2 + (Q_1 + q_1)^2 \right] \frac{1}{U_1^2} \quad (\text{Pertes actives})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q_1 = \frac{cW}{2} U_1^2 \text{ (Pertes réactives dans les capacités)} \\ q_2 = \frac{cW}{2} U_2^2 \end{array} \right.$$

$$q = lw \left[P_1^2 + (Q_1 + q_1)^2 \right] \frac{1}{U_2^2} \text{ (Pertes réactives dans l'inductance)}$$

On calcule P_1 , Q_1 puis S_2 en remplaçant U_2 par U_1 dans l'expression q_2 puis on tire U_2 par :

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{S_1 I_2}{S_2 I_1} \quad (\overline{I_1} \neq \overline{I_2})$$

Et dans le cas où $(\overline{I_1} = \overline{I_2})$ (c et G négligeable)

$$\frac{S_2}{S_1} \approx \frac{U_2}{U_1}$$

Le courant I_2 est donné par :

$$\overline{I_2} = \overline{I_1} - jcW\overline{V_2}$$

3-2-3-4- Formules directes

La méthode précédente peut nécessiter un calcul supplémentaire dans le cas où la longueur de la ligne dépasse 100 km, on utilise alors la méthode suivante qui est valable aussi pour les lignes courtes [4].

Les équations du schéma monophasé équivalent en π sont présentées ci-dessous :

$$\overline{V_2} = \overline{V_1} \left[1 - \frac{LCW^2}{2} + j \frac{RCW}{2} \right] - \overline{I_1} [R + jLW]$$

Avec : $\overline{I_1} = I_1 \cos j_1 - jI_1 \sin j_1$

En module, on aura :

$$V_2^2 = \left[V_1 - V_1 \frac{LCW^2}{2} + RI_1 \cos j_1 - LWI_1 \sin j_1 \right]^2 + \left[\frac{RCW}{2} V_1 - LWI_1 \cos j_1 + RI_1 \sin j_1 \right]^2$$

De même à partir de l'équation:

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 \left[1 - \frac{LCW^2}{2} + j \frac{RCW}{2} \right] + \bar{I}_2 [R + jLW]$$

Remarque

On peut négliger CW pour des longueurs ne dépassant pas une certaine de kilomètres.

3-2-3-5- Méthodes simplifiées

La méthode précédente est complexe ; pour avoir une valeur approchée de la chute de tension dans les lignes, on applique la méthode suivante :

Soit U une valeur moyenne approchée de la tension en ligne (par exemple une tension connue à une extrémité) [4].

$$Q_1 = Q_2 + LW \left[\frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} \right] - CWU^2$$

$$P_1 = P_2 + R \left[\frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} \right] \approx P_2$$

Cette dernière approximation est valable pour les lignes haute tension où les pertes actives sont faibles.

Inversement on a :

$$Q_2 = Q_1 - LW \left[\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} \right] + CWU^2$$

$$P_2 = P_1 - R \left[\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} \right] \approx P_1$$

On calcule ensuite :

$$Q_m = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

$$P_m = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Avec :

P_m, Q_m : Les valeurs moyennes respectivement des puissances actives et réactive le long de la ligne d'où la relation de la chute de tension relative :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{RP_m + LWQ_m}{U^2}$$

3-2-3-6- Méthode des moments électriques

On a : $\Delta U = K_V \sqrt{3} (RI \cos \varphi + XI \sin \varphi) l$

Où :

R : est la résistance linéique (Ω/km)

X= Lw est la réactance linéique (Ω/km)

l : est la longueur de la ligne (km)

φ : est le déphasage entre la tension et le courant avec :

$$K_V = \begin{cases} 1 & \text{pour une charge concentrée à l'extrémité de la ligne.} \\ 1/2 & \text{pour une charge uniformément répartie.} \\ 2/3 & \text{pour une distribution triangulaire.} \end{cases}$$

$$\Delta = K_V \sqrt{3} I \cos \varphi (R + X \tan \varphi) l$$

$$P = \sqrt{3} I \cos \varphi$$

On aura:

$$\Delta U = K_V (P/U) [R + X \tan \varphi] l$$

$$D'où : \Delta U/U = (P/U^2) [R + X \tan \varphi] l$$

3-2-3-6-1- Expression de la chute de tension relative**ü En basse tension BT**

$$\Delta U/U = 10^5 (P/U^2) K_V [R + X \tan \varphi] l \quad \text{En pourcentage}$$

Ou : P est donné en (kW) et l en (km)

ü En moyenne tension MT

$$\Delta U/U = 10^2 (P/U^2) K_V [R + X \tan \varphi] l \quad \text{En pourcentage}$$

Ou : P est donné en (MW) et U en (kV)

3-2-3-6-2- Moment électrique d'une charge

$M = p \cdot l$ Est le moment électrique d'une charge " p " située à une distance " l " de la source [4].

3-2-3-6-3- Moment électrique M_1 d'une ligne

M_1 Est le moment électrique d'une charge donnant une chute de tension relative de 1%. Il est donné par la relation suivante [4].

$$M_1 = \frac{1}{100 K_V} \frac{U^2}{R + X \tan \varphi} \quad \text{En moyenne tension}$$

$$M_1 = \frac{1}{10^5 K_V} \frac{U^2}{R + X \tan \varphi} \quad \text{En basse tension}$$

La chute de tension relative d'une charge de moment M alimentée par une ligne électrique de moment M_1 est telle que :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{M}{M_1}$$

3-2-3-7- Pertes d'énergie électrique

Ü Pertes par effet Joule

L'expression générale donnant les pertes par effet JOULE dans une ligne triphasée de longueur L est :

$$\Delta P = 3 r \int I^2(l) dl$$

On aura $\Delta P = 3 K r I^2 L$

Avec

$$K = \begin{cases} 1 & \text{pour charge concentrée à l'extrémité de la ligne} \\ 1/3 & \text{pour une distribution uniforme de charge} \\ 8/15 & \text{pour une distribution triangulaire de la charge} \end{cases}$$

3-2-4- Calcul de la chute de tension

Les calculs des chutes de tension dans un réseau de distribution sont effectués par une méthode déterministe.

3-2-4-1- Chute de tension absolue

La chute de tension à l'extrémité d'une ligne triphasée équilibrée de longueur L s'exprime par la relation [4]

$$\Delta U = \sqrt{3} \int Z i(l) dl$$

On aura pour les trois cas de distribution de charge qu'on a vue, l'expression suivante :

$$\Delta U = K Z L I_0$$

Avec :

$$K = \begin{cases} 1 & : \text{pour } I(l) = I_0 \quad (\text{charge concentrée à l'extrémité de la ligne}) \\ 1/2 & : \text{pour } I(l) = I_0 - I_0 \frac{l}{L} \quad (\text{charge uniformément distribuée}) \\ 1/3 & : \text{Pour } I(l) = I_0 - I_0 \frac{l^2}{L^2} \quad (\text{distribution triangulaire de charge}) \end{cases}$$

$$Z = r \cos j + x \sin j$$

L = Longueur de la ligne

I_0 = courant en tête de départ

3-2-4-2- Chute de tension relative

La chute de tension relative s'exprime en % de la tension nominale, on obtient donc :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{100\sqrt{3}KZLI_0}{U} U (r \cos j + x \sin j)$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{100\sqrt{3}KLI_0}{U^2} U (r \cos j + x \sin j) = 100K \left(\frac{rP + xQ}{U^2} \right) L$$

Ou $P = \sqrt{3}UI \cos j$ Puissance active

$Q = \sqrt{3}UI \sin j$ Puissance réactive

3-2-4-3- Calcul de la chute de tension après compensation :

Pour réduire la chute de tension, on installe une batterie de condensateurs de puissance réactive Q_c inférieure à la puissance réactive Q du réseau ($Q > Q_c$).

Donc :

$$\begin{aligned} \left[\frac{\Delta U}{U} \% \right]_c &= 100[rP + x(Q - Q_c)]L/U^2 \\ &= 100[rP + (xQ - xQ_c)]L/U^2 \\ &= 100 \left[\frac{(rP + xQ)L}{U^2} \right] - \frac{100 * Q_c L}{U^2} \\ &= \frac{\Delta U}{U} \% - \frac{xQ_c L}{10U^2} \end{aligned}$$

L : La longueur de ligne entre tête du départ et le point d'installation de la batterie de condensateurs sur le réseau.

x : Réactance de la ligne (Ω/km)

Q_c : Puissance réactive de la batterie à installer (KVAR)

U : Tension nominale du réseau (kV)

$$\text{On a : } \Delta U = K_v \sqrt{3} (rI \cos j + xI \sin j) l$$

Où : r est la résistance linéique (Ω / km)

$x = L\omega$ est la réactance linéique (Ω / km)

l est la longueur de la ligne (km)

j est le déphasage entre la tension et le courant avec :

$$K_v = \begin{cases} 1 & \text{Pour une charge concentrée à l'extrémité de la ligne.} \\ 1/2 & \text{Pour une charge uniformément répartie.} \\ 2/3 & \text{Pour une distribution triangulaire.} \end{cases}$$

$$\Delta U = K_v \sqrt{3} I \cos j (r + x \tan j) l$$

$$P = \sqrt{3} UI \cos j$$

$$\text{On aura: } \Delta U = K_v \frac{P}{U} (r + x \tan j) l$$

$$\text{D'où: } \frac{\Delta U}{U} = K_v \frac{P}{U^2} (r + x \tan j) l$$

Chapitre 4

*Application : dimensionnement
du câble*

4-1- Description du projet

Le présent projet consiste à réaliser un dimensionnement d'un câble souterrain et d'un système d'isolement approprié en remplaçant la ligne aérienne existante alimentant la chaine de production Souk el Djemaa.

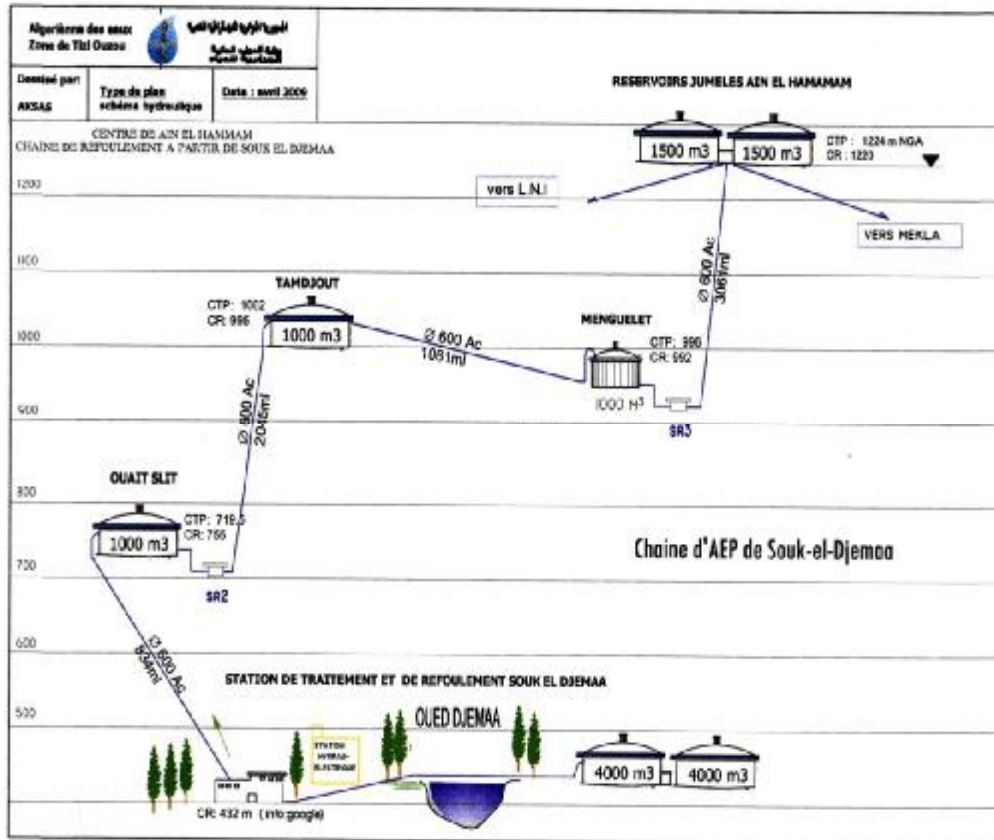


Figure 4-1- Schéma synoptique de la chaîne de Souk el Djemaa (chemin de la conduite)

4-2- Description de la station Souk el Djemaa

La chaîne de Souk el Djemaa est constituée principalement de trois stations de pompage. L'alimentation du site Souk el Djemaa se fait à partir de la centrale hydro-électrique qui est située à quelques mètres de cette station.

4-2-1- Description de la centrale hydro-électrique

La centrale hydro-électrique comporte trois groupes d'une puissance de 3,5MW chacun. Si tout fonctionne dans les normes et suivant la quantité d'eau disponible la centrale produit 10MW.

Chaque groupe se compose de trois grandes parties :

- ü L'excitatrice ;
- ü L'alternateur ;
- ü La turbine ;

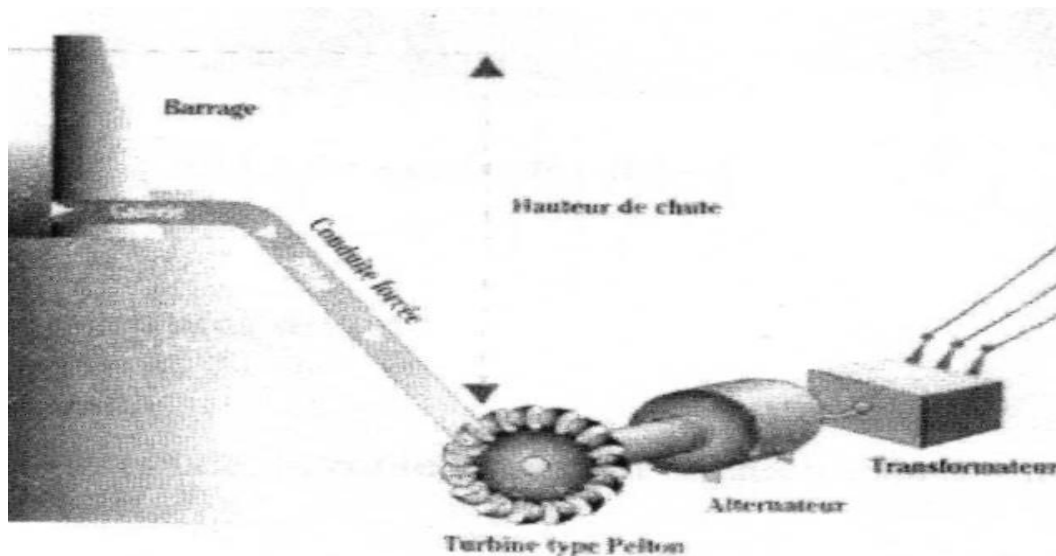


Figure 4-2- Schéma de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique

La turbine comprend deux injecteurs. Une fois l'eau injecté, la turbine se met à tourner en entraînant l'arbre de l'alternateur, il y aura création d'un champ magnétique, ce qui implique l'apparition d'une tension donc d'un courant qui est ramené aux transformateurs de distribution à partir de la boîte à bornes.

La centrale alimente quatre départs (sachant que chaque départ comporte un départ de secours) :

- ü **Départ 1** : AIN EL HAMMAM ;
- ü **Départ 2** : TIZI-OUZOU ;
- ü **Départ 3** : TASSAFT ;
- ü **Départ 4** : STATION DE POMPAGE Souk el Djema.

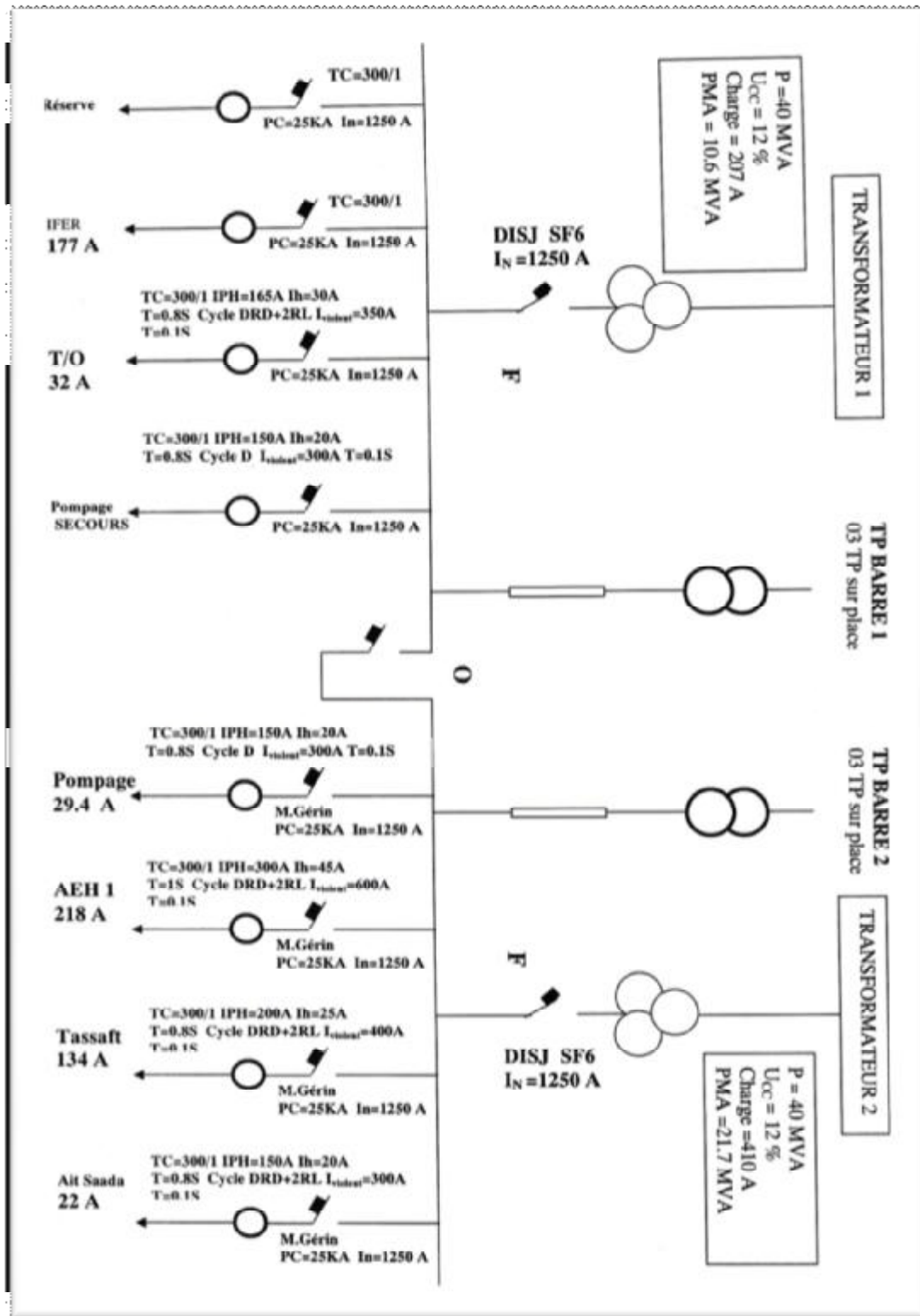


Figure 4-3- Schéma du poste simplifié 60/30KV SED (départ pompage et pompage secours en souterrain)

4-2-2- Les caractéristiques du câble souterrain alimentant la station SR1

La centrale hydraulique (départ 4), alimente la station de pompage Souk el Djemaa SR1 avec un câble souterrain (et un câble de secours de même nature) possédant les caractéristiques suivantes :

- ü Un câble triphasé de moyenne tension 30kV ;
- ü L'âme conductrice en aluminium de section $3 \times 120 \text{mm}^2$;
- ü Les chutes de tension sur ce câble sont de 0,03% ;
- ü La longueur du câble est de 0,9km ;
- ü La puissance moyenne de départ est de 1500kW ;
- ü Le câble est unipolaire à isolation synthétique ;

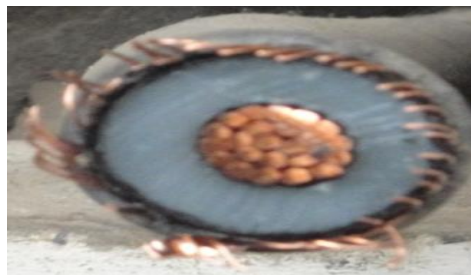


Figure 4-4- Coupe transversale du câble venant de la centrale

4-2-3- processus d'alimentation de la station SR1



Figure 4-5- Arrivée des câbles dans la station (câble d'alimentation et de secours)

Les câbles arrivent à la station SR1, ils sont dirigés vers les sectionneurs puis dans des caniveaux guidés vers des cellules TC et TP, ensuite vers une armoire moyenne tension (armoire 30kV).

- ü TP : transformateur principal (cellule de comptage d'énergie consommée) ;
- ü TC : transformateur de courant (cellule pour le réglage, le comptage et la protection du matériel) ;

Les cellules de comptage sont des cellules à sectionneur manuel (cellule de mesure), elles sont équipées de Sepam.



Figure 4-6- Les sectionneurs d'arrivée ouverts et fermés

La cellule moyenne tension (armoire 30kV) est équipée de trois jeux de barres à partir desquels on tire quatre départs :

- ü Départ 1 : vers OUIAT SLID ;
- ü Départ 2 : vers le disjoncteur du transformateur 1600kVA ;
- ü Départ 3 : vers le disjoncteur du transformateur 800kVA ;
- ü Départ 4 : vers le disjoncteur du transformateur 400kVA.

Ces quatre départs sont en parallèle pour pouvoir réaliser cette mise en parallèle les trois transformateurs doivent accomplir certaines conditions :

- ü Les trois transformateurs doivent avoir le même indice horaire ;
- ü Les trois transformateurs doivent avoir le même couplage ;
- ü Les trois transformateurs doivent avoir des puissances qui sont multiples ;



Figure 4-7- Cellule d'arrivée moyenne tension (cellule SM6)

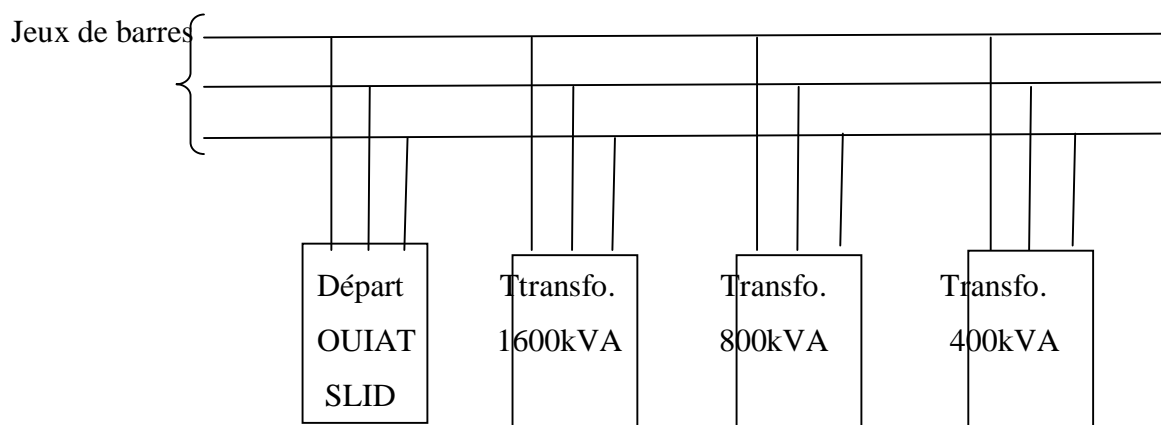



Figure 4-8- Jeux de barres à l'intérieure de l'armoire MT

- *La plaque signalétique du disjoncteur principal de l'armoire 30kV*

SF1		IEC 56
Numéro S2SE0116035	-	-
U 30kV	U _w 170KV	-
I _{cc} 16kA	Sec 1	I _n 630 A
Séquence 0,3 s	F0 3 mn	F 50Hz
Tension de fermeture 48 V _{cc}	-	-
Tension d'ouverture Y01 48 V _{cc}	-	-
Tension du moteur 48V _{cc}	-	-
SF6	P= 2 bars	-

4-2-3-1- Les départs de l'armoire qui alimente les équipements de la chaîne de production Souk el Djemaa

A la sortie du disjoncteur les câbles sont dirigés en suivant un chemin de câble vers les transformateurs (chaque transformateur a son disjoncteur sectionneur).

- *Départ 2 : Transformateur 1600kVA*

Plaque signalétique

Transformateur triphasé	F : 50Hz	réf
Conforme IEC76	Année : 2001	-
1600kVA	Nr : 665548-01	Isolement HT kV : 170-70
Tension de c /c : 6,00%	Couplage Dy n11	-
HT	BT	Nature enroulements AL/CU
Pour les tensions	-	Refroidissement ONAN
Pos1 : 31500 V	-	Diélectrique HUILE
Pos2 : 30750 V	-	Masse diélectrique 825 kg
Pos3 : 30000 V	5750 V	Masse à découper 2215 kg
Pos4 : 29250 V	-	Ambiante 40°C
Pos5 : 28500 V	-	Masse totale 3915kg
Pour le courant	-	-
30,8 A	160,7A	-

La tension arrive sur les transformateurs avec 30 kV et sa sortie avec 5,5 kV donc le transformateur est abaisseur de tension.

- *Départ 3 : Transformateur 800 kVA*

Plaque signalétique

Transformateur triphasé	F : 50Hz	réf
Conforme IEC76	Année : 2002	-
800 kVA	Nr : 73262-01	Isolement HT kV : 170-70
Tension de c / c : 6,00%	Couplage Dy n11	-
HT	BT	Nature enroulements AL/CU
Pour les tensions	-	Refroidissement ONAN
Pos1 : 31500 V	-	Diélectrique HUILE
Pos2 : 30750 V	-	Masse diélectrique 520 kg
Pos3 : 30000 V	5750 V	Masse à découper 1340 kg
Pos4 : 29250 V	-	Ambiante 40°C
Pos5 : 28500 V	-	Masse totale 2325kg
Pour le courant	-	-
15,4 A	80,3 A	-

- *Départ 4 : Transformateur 400 kVA*

Plaque signalétique

Transformateur de puissance	F : 50Hz	Réf ONAN
Type ALG 400-30/A	Année : 2001	No de phase 3
400 kVA	Nr : 73262-01	Niveau d'isolement : LI 170/30 AC 70/10
Tens de c /c : 4,71%	Couplage Dy n11	
HT	BT	Echauffement de cuivre 65°C
Pour les tensions	-	Echauffement d'huile 60°C
Pos1 : 31500 V	-	Masse d'huile 363kg
Pos2 : 30750 V	-	Masse diélectrique 520 kg
Pos3 : 30000 V	400 V	Masse totale 1558 kg
Pos4 : 29250 V	-	Type EXTER
Pos5 : 28500 V	-	-
Pour le courant	-	-
7,7 A	577,35 A	-

La tension arrive sur les transformateurs avec 30 kV et sa sortie avec 400 V donc le transformateur est abaisseur de tension, (élévateur de courant) vers un tableau général basse

tension (TGBT) à partir duquel on alimente tous l'équipement de la station (SR1) Souk el Djemaa, (éclairage, les moteurs qui entraînent des pompes, station de purification).

4-3- Le cas existant

L'alimentation des deux stations SR1 et SR2 se fait comme suit :

- **Départ 1 : Alimentation de la station OUIAT SLID**

A partir d'un caniveau venant du disjoncteur principal, un câble tripolaire alimentant la station OUIAT SLID par une ligne aérienne triphasée nue en aluminium (alliage d'aluminium almélec) de section $3 \times 95 \text{ mm}^2$, sur une distance de 1500 m allant jusqu'à la station de OUIAT SLID. De la station OUIAT SLID la même ligne alimente la station MENGUELLET sur une distance de 5 km.

4-3-1- Problématique

Cette ligne aérienne qui alimente ces deux stations (OUIAT SLID et MENGUELLET), subit beaucoup de problèmes particulièrement d'ordre naturel étant donné que la chaîne se situe dans une zone montagnarde, les problèmes les plus rencontrés sont généralement :

- ü Les problèmes climatiques dus au climat de la région de Souk el Djemaa (chute de neige ; verglas ; humidité ; les arbres ; le vent ;.....) ;
- ü Problème des court-circuits (à cause des ruptures des brins du conducteur de phase ; des coups de foudre ;) ;
- ü Elle représente un danger pour les habitants à cause des allongements en été ;
- ü Difficulté d'implantation des pylônes sur le terrain ;
- ü La grande distance entre pylônes à cause des parcelles du terrain qui sont privées.

Pour toutes ces raisons et pour d'autres il est plus approprié de proposer une solution qui consiste à réaliser une étude d'un dimensionnement d'une installation souterraine alimentant les stations OUIAT SLID et MENGUELLET.

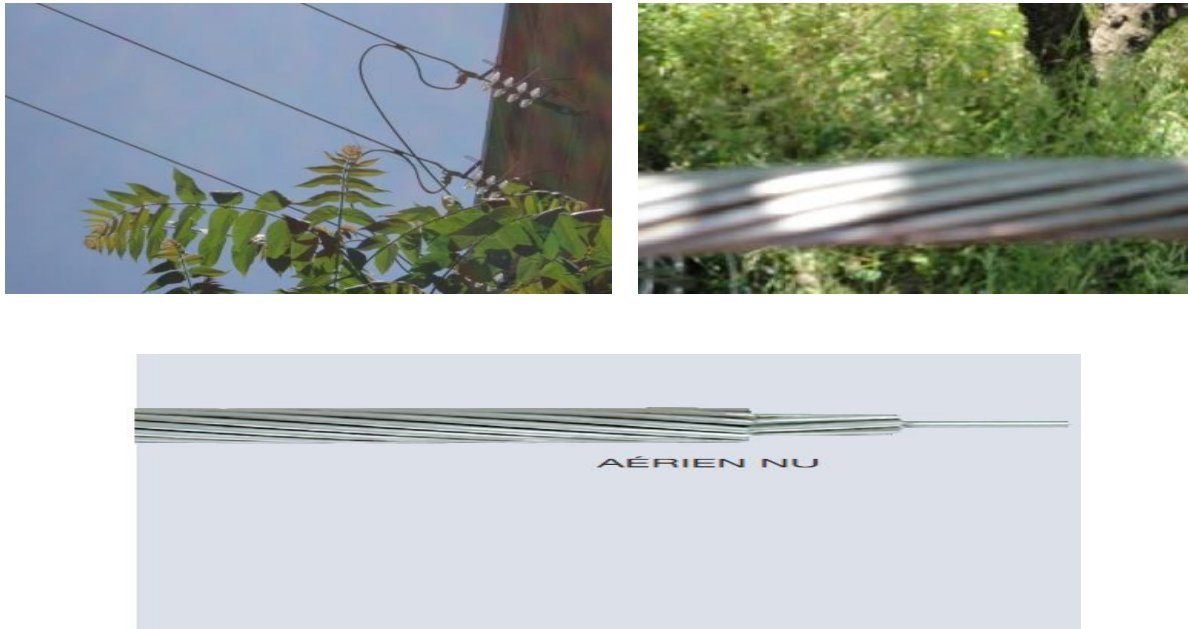


Figure 4-9- Départ vert OUIAT SLID en ligne aérienne

4-4- Dimensionnement du câble

Les fortes demandes d'énergie nécessitent l'utilisation de gros câbles à tension élevées. Le dimensionnement et le type d'âme d'un câble sont déterminés principalement d'après les besoins des systèmes, les pertes par effet joule des composantes et les propriétés thermiques de l'environnement du câble. Les câbles isolés souterrains sont principalement employés pour le transport et la distribution de l'énergie électrique. Au cours des dernières années, l'isolation électrique des câbles avec le papier imprégné a laissé peu à peu la place à une isolation faisant appel à des polymères (PE, PVC...etc).

4-4-1- Critère technique

En service, le câble doit supporter les contraintes suivantes sans subir aucun dommage :

- ü Le courant nominal doit être inférieur à la limite thermique du câble ;
- ü Le câble doit supporter le courant de court-circuit ;
- ü La chute de tension induite par le câble doit toujours être inférieure à une valeur imposée ;
- ü La stabilité du réseau doit être respectée.

4-4-2- Critère économique

Il faut évaluer le coût total de l'investissement pour l'achat, la pose du câble et son utilisation. En effet le câble peut continuer à coûter de l'argent même après sa pose et sa mise en service (sa résistance crée en permanence des pertes lors de son fonctionnement). Le choix actuel des âmes conductrices se penche pour l'aluminium. Le calcul indique qu'en principe ce métal est plus économique que le cuivre puisqu'il coûte deux fois moins le prix du cuivre par unité de masse.

4-4-3- Bilan des puissances

Station : SOUK EL DJEMAA SR1

- ü Un transformateur 1600kVA ;
- ü Un transformateur 800 kVA;
- ü Un transformateur 400 kVA.

Station : OUAIT SLID SR2

- ü Deux transformateurs 800 kVA ;
- ü Un transformateur 160 kVA.

Station : MENGUELLET SR3

- ü Deux transformateurs 800 kVA ;
- ü Un transformateur 160 kVA.

Puissance totale $S_T = 6320$ kVA

Puissance de charge $S_c = 3520$ kVA (à partir de Souk el Djemaa vers les deux autres stations SR2 et SR3)

Puissance active $P = 2,2$ MW.

Puissance réactive $Q = 1,3$ MVar.

Facteur de puissance de l'installation $\cos \varphi = 0.86$.

4-4-4- Calcul de la section

On doit Calculer la section d'une canalisation triphasée sachant qu'elle doit alimenter sous une tension de 30kV une charge de 3520 KVA en utilisant la méthode de calcul des sections des conducteurs MT, utilisée par « Schneider Electric » [21].

Sachant :

- K_1 étant le facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction du mode de pose, nous on va poser notre câble dans les caniveaux remplis de sable donc d'après le tableau N°2 on trouve que la colonne utilisé est la troisième et $K_1=0,8$.
- K_2 étant le facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction de la température, puisque la température moyenne à Souk el Djemaa est de 25°C donc d'après le tableau N°3 on à trouvé $K_2=0,96$.
- K_3 étant le facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction de la nature du terrain, puisque le terrain à Souk el Djemaa est normal est d'après le tableau N°4 on à $K_3=1,06$.
- K_4 étant le facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction de la proximité, d'après le tableau N°5 et en sachant que le nombre de conducteurs est de trois en à $K_4=0,85$.

Tous ces facteurs nous permettront de calculer le facteur total K_t pour l'utiliser en suite dans le calcul du courant I_F est cela pour déduire la section théorique, tous cela est expliqué ci-dessus.

Ü Les données

- Tension de service : $U= 30kV$;
- Isolant : PR ou PRC ;
- Métal de l'âme : Aluminium ;
- Nombre de conducteurs : Unipolaire ;
- L'intensité à transporté : $I_b= 138,4 A$;
- Mode de pose : enterré dans des fourreaux S ;
- D'après le **Tableau-2-** : on choisit la colonne 3 ;
- Le coefficient K_1 : d'après le **tableau-2-** $K_1=0,8$;

- Température air/sol : 25C° ;
- Le coefficient K_2 : d'après le **tableau-3-** $K_2=0,96$;
- Humidité du sol : terrain normal ;
- Le coefficient K_3 : d'après le **tableau-4-** $K_3=1,06$;
- Nombre de phase : trois phases ;
- Le coefficient K_4 : d'après le **tableau-5-** $K_4=0,85$;
- Le courant I_{CC} : $I_{CC} = 13470A$;
- Temps maximal de coupure : $t(s) = 0,3$ s

Ü Le calcul

- Calcul de K_t

$$K_t = K_1 * K_2 * K_3 * K_4$$

$$K_t = 0,692$$

- Calcul de I_F

$$I_F = I_b / K_t$$

$$I_F = 200$$

- Lecture de la section théorique

A partir du **tableau-6-** et suivant la colonne 3 on trouve que le courant admissible est de 235 A et la section qui lui correspond est $S_{théorique} = 70 \text{ mm}^2$.

- Calcul de la section normalisée (vérification des courants de court-circuit)

Selon le type de câble (unipolaire) âme en aluminium avec une isolation en PRC on aura $K = 94$.

$$S_{minimum} = (I_{CC} / K) \sqrt{t}$$

Application numérique :

$$S_{minimum} = 78,48 \text{ mm}^2$$

D'après le **tableau-6-** la section normalisée pour laquelle nous allons opter est $S = 95 \text{ mm}^2$.

Résumé du calcul

1 Tension de service		U	50	KV	
2 Isolant Amalécran (et non enveloppe comme en DT)	PVC Polycaoutchouc de 14 types (pas bon pour HT) Papier (old system, plus fabriqués) EPR Caoutchouc éthylène propylène (peu en HTA) PE Polyéthylène non réticulé (fluage à temp élevée) PR-PRC Polyéthylène Réticulé (C-Ochimiquement)	Isolant	PRC		
3 Metal de l'Âme	Cuivre ou Alu	Cu/Alu	ALU		
4 Nb de Conducteurs	UNI ou TRI (petites sections < 875)	Uni/Tri	uniphasé		
5 Intensité à transporter	Ib en Amperes	Ib (Amp)	138,4	A	
6 Mode de pose	annexe >> pages 8-12 S / G / H / L3 / N / P / L1 / L2 / L3 / L4 /	pose	S		
7 Régime d'utilisation	Discontinu ou Permanent	Régime			
8 Colonne 1, 2, ou 3	annexe >> page 3 (pour détermination de la Section théorique)	Colonne	3		
9 Coeff K1	annexe >> page 3 1 si normalement aérés	K1	0,8		
10 temp°C air ou sol (autour câble)	annexe >> page 4	temp air/sol	25	°C	
11 Coeff K2	1 si 1" Air à 30°C ou si 1" Eau 20°C sol: sable / argile / calcaire / cendres / machefier sol: très humide / humide / normal / sec / très sec annexe >> page 5	K2	0,95		
12 humidité du sol si câble enterré		terrain	normal		
13 Coeff K3	1 si normalement sec	K3	1,05		
14 proximité autres circuits 3Ph	voir tableau détaillé AIR / SOL page 6 annexe (2 câbles en N = 2 circuits)	nb de circuits TRI re- groupés	3phases		
15 Coeff K4	annexe >> page 5	K4	0,85		
16 Icc Amont	attention en AMP pas en KV	Icc Amp	138,70		A
17 Temps maxi de coupure amont	temps total de coupure sur Icc (coup + temps)	t (s)	0,3		s
18 Calcul de Kt (t de la norme) coeff de correction de la section pose	$Kt = K1 \times K2 \times K3 \times K4$	Kt	0,632	0	
20 Calcul de I corrigé selon pose	$Ic = Ib / Kt$	Ic	200		A
21 lecture de S théorique mm² mini	annexe pages 10 à 16 selon type de câble Ic et Colonne 1 & 3 → I Amp immédiatement (Ic) I Amp (Ic) → Section mm²	I tableau	235		A
22		S théo	70		mm²
23 Lire K de "bonne tenue aux KA" (selon type de câble) ==>	ALU: PVC: 74 PRC: 87 94 NU: 104 CU: PVC: 115 PRC: 466 143 NU: 160 tableau détaillé page 60 du guide UTE 13-206 07/94	K	94		
24 Vérif tenue âme à Icc	S minimum = (Icc / K) x vt	S min Icc	70,40		mm²
25 Choix final section catalogue	annexe p13 à p16 S mm² (KS minimum et (à S calculée	S mm²	95		mm²

Tableau-1- Résumé du calcul

4-4-4-1- Vérification des chutes de tension

Les chutes de tension dans les câbles moyenne tension des réseaux industriels sont en général négligeables. Pour un circuit triphasé, la chute de tension est calculée par la formule :

$$\Delta U = [\rho_l (L / S) \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi] I_b$$

$\rho_l = 0,036 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$: Résistivité du conducteur en service normal pour l'aluminium ;

$L = 1500\text{m}$: longueur de la canalisation en mètre ;

$S = 95\text{mm}^2$: section des conducteurs ;

$\cos \varphi = 0,86$: facteur de puissance de l'installation ;

$I_b = 138,4\text{A}$: courant maximal d'emploi ;

$\lambda = 0,15 * 10^{-3} \Omega/\text{m}$ pour les câbles unipolaire (réactance linéique de la canalisation) ;

Application numérique :

$$\Delta U = 83,54\text{V}$$

On définit les chutes de tension relatives :

$$\frac{\Delta U}{U} = 0,002\%$$

La section vérifie la chute de tension.

Mode de pose	colonne	coefficient	
S régime permanent	1	1	Câble non déclassé
S régime discontinu	2	1	
F , G , J	3	1	
A , B , H , L3 , N , P	3	0,90	Câble déclassé
L1 , L4 , L5	3	0,80	

Tableau-2- Facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction du mode de pose [21]

K2 dans l'air ambiant				K2 dans le sol			
température ambiante °C	nature de l'isolant			température du sol °C	nature de l'isolant		
	PE ou PVC	PR ou EPR	papier imprégné		PE ou PVC	PR ou EPR	papier imprégné
10	1,22	1,15	1,25	0	1,18	1,13	1,25
15	1,17	1,12	1,20	5	1,14	1,10	1,20
20	1,12	1,08	1,13	10	1,10	1,07	1,13
25	1,06	1,04	1,07	15	1,05	1,04	1,07
30	1,00	1,00	1,00	20	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,92	25	0,95	0,96	0,92
40	0,87	0,91	0,85	30	0,89	0,93	0,85
45	0,79	0,87	0,75	35	0,84	0,89	0,75
50	0,71	0,82	0,65	40	0,77	0,85	0,65
55	0,61	0,76	0,53	45	0,71	0,80	0,53
				50	0,63	0,76	
				60	0,45	0,65	
				65		0,60	
				70		0,53	
				75		0,46	
				80		0,38	

Tableau-3- Facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction de la température [21]

résistivité du sol	humidité	nature du terrain			trois câbles unipolaires	câbles tripolaires
		sable	argile et calcaire	cendres et mâchefer		
0,5	terrain très humide				1,25	1,20
0,7	terrain humide				1,14	1,10
0,85	terrain dit normal				1,06	1,05
1	terrain sec				1,00	1,00
1,2	terrain très sec				0,93	0,95
1,5					0,85	0,88
2					0,75	0,79
2,5					0,68	0,72
3					0,62	0,68

Tableau-4- Facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction de la nature du terrain [21]

câbles enterrés					
nombre de circuits	distance entre câbles				
	nulle	un diamètre de câble	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

Tableau-5- Facteur de correction de l'intensité admissible dans les câbles en fonction de la proximité [21]




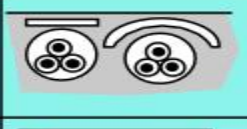
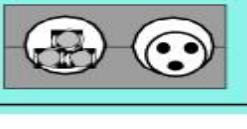

L5	pose directe dans caniveaux remplis de sable		S1	enterrés directement (câbles armés)	
N	alvéoles		S2	enterrés avec protection mécanique	
P	blocs manufacturés		S3	enterré dans des fourreaux	

Figure 4-11- Mode de pose [21]

section nominale mm ²	âmes en aluminium								
	PE			PR ou EPR			papier imprégné		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
16	86	96	81	98	110	99	68	76	62
25	110	125	105	125	140	130	88	99	82
35	130	150	130	150	170	160	106	118	101
50	155	180	155	180	205	190	121	134	119
70	190	220	190	220	250	235	150	166	149
95	230	260	235	260	300	290	185	200	183
120	260	300	270	300	340	330	210	230	210
150	290	335	305	335	385	375	235	265	240
185	330	380	355	380	435	430	270	300	275
240	385	445	420	440	510	510	315	350	325
300	435	500	480	500	570	590	360	400	365
400	495	570	560	570	660	680	415	465	425
500	560	650	650	640	740	790	470	530	485
630	640	740	750	740	850	930			
800	720	830	860	830	960	1060			

Tableau-6- Courant admissible en Ampère pour les câbles unipolaires $U \geq 6/10$ (12) kV et

$U \leq 18/30$ (36) kV [21]

4-4-4-2- Description du câble utilisé par la SONALGAZ

Le câble utilisé en moyenne tension par la SONELGAZ est un câble unipolaire étanchéité longitudinale de section 120 mm² N2XS(F) Y.

- Ame : en Cuivre ou Aluminium câblée classe 2 ;
- Ecran interne : semi-conducteur extrudé ;
- Isolation PRC ;
- Ecran sur isolation : semi-conducteur extrudé ;
- Bande : hygroscopique ;
- Gaine de protection : PCV ;
- Tension nominale : 6 à 30kV ;
- Température maximale de l'âme :
 - En régime permanent : 90°C
 - En court-circuit : 250°C
- Nombre de conducteurs : 1
- Gamme de section : 50 à 240 mm² ;
- Utilisation : installation industrielle

4-4-4-3- La mise à la terre

Pour les raccordements des extrémités des câbles on utilise des têtes de câbles équipées de tresses qu'on raccorde au câble de terre.

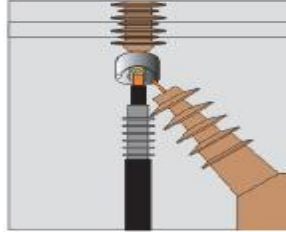


Figure 4-10- Tête de câble

4-5- Choix de l'itinéraire

Le câble va suivre le chemin de la conduite $\varnothing = 600\text{mm}$ d'eau potable de Souk-el-Djemaâ comme il est représenté dans la *figure 4-1*, en suivant les normes dictées ci-dessus, les câbles doivent être posés en parallèle avec la conduite en étant distants d'une distance strictement supérieure à 1,5 m. [20]. Le câble va traverser une chaussée de simple densité de trafic puis il suivra un terrain normal.

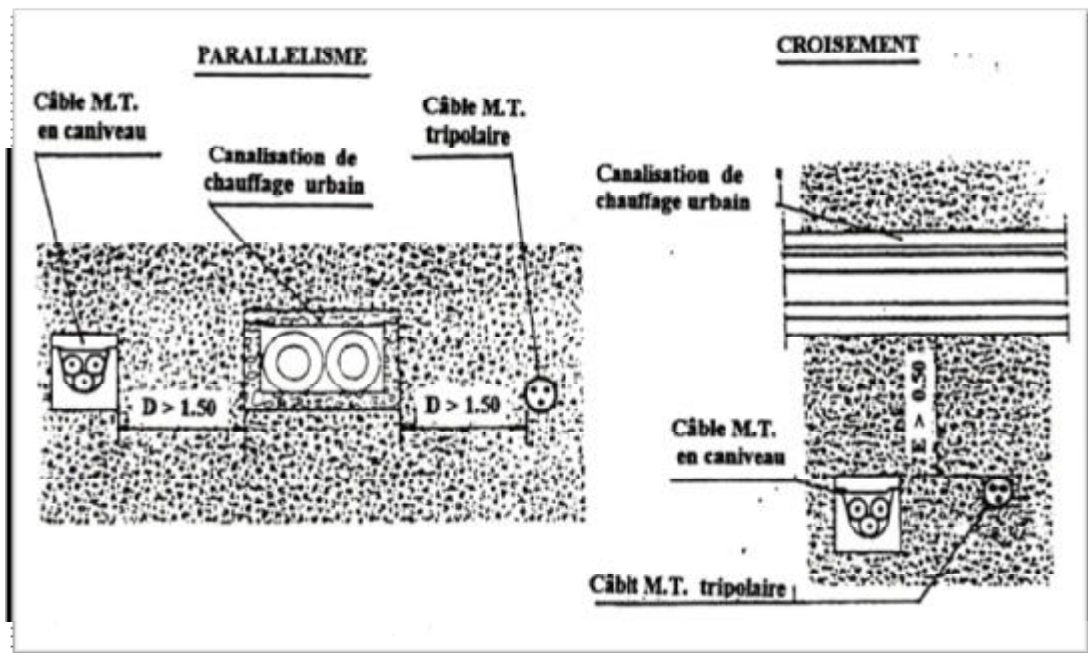


Figure 4-11- Norme de pose pour des fluides divers



Figure 4-12- schéma bloc du chemin du câble à partir de la centrale de pompage SR1

4-6- Mode de pose

4-6-1- Sondage des sols

Les sondages (recherche) sont destinés à vérifier les indications de pose concernant l'encombrement du sous-sol par des canalisations de toute nature [20].

4-6-2- Profondeur de pose

La profondeur de pose des câbles est en général fixée en fonction de la tension de la canalisation, elle est généralement donnée par :

- ü 0,70 m : sous trottoir (au dessus du lit de sable) ;
- ü 1,00 m : sous chaussée.

On peut diminuer la profondeur de pose des canalisations sous réserve d'une protection mécanique suffisante mettant le câble à l'abri des compressions dues aux efforts de surface et des agents extérieurs les plus fréquents (pioche,etc). Dans ce cas là, les profondeurs minimales sont [20] :

- ü 0,40 m : sous trottoirs ;
- ü 0,60 m : sous chaussées.

Ces protections peuvent être :

- ü Une tôle en acier posée sur la canalisation sous trottoir d'épaisseur supérieur à 10 mm ;
- ü Fourreaux en acier ou fonte ;
- ü Fourreaux en ciment bétonné ;
- ü Fourreaux en matière synthétique noyés dans du béton armé.

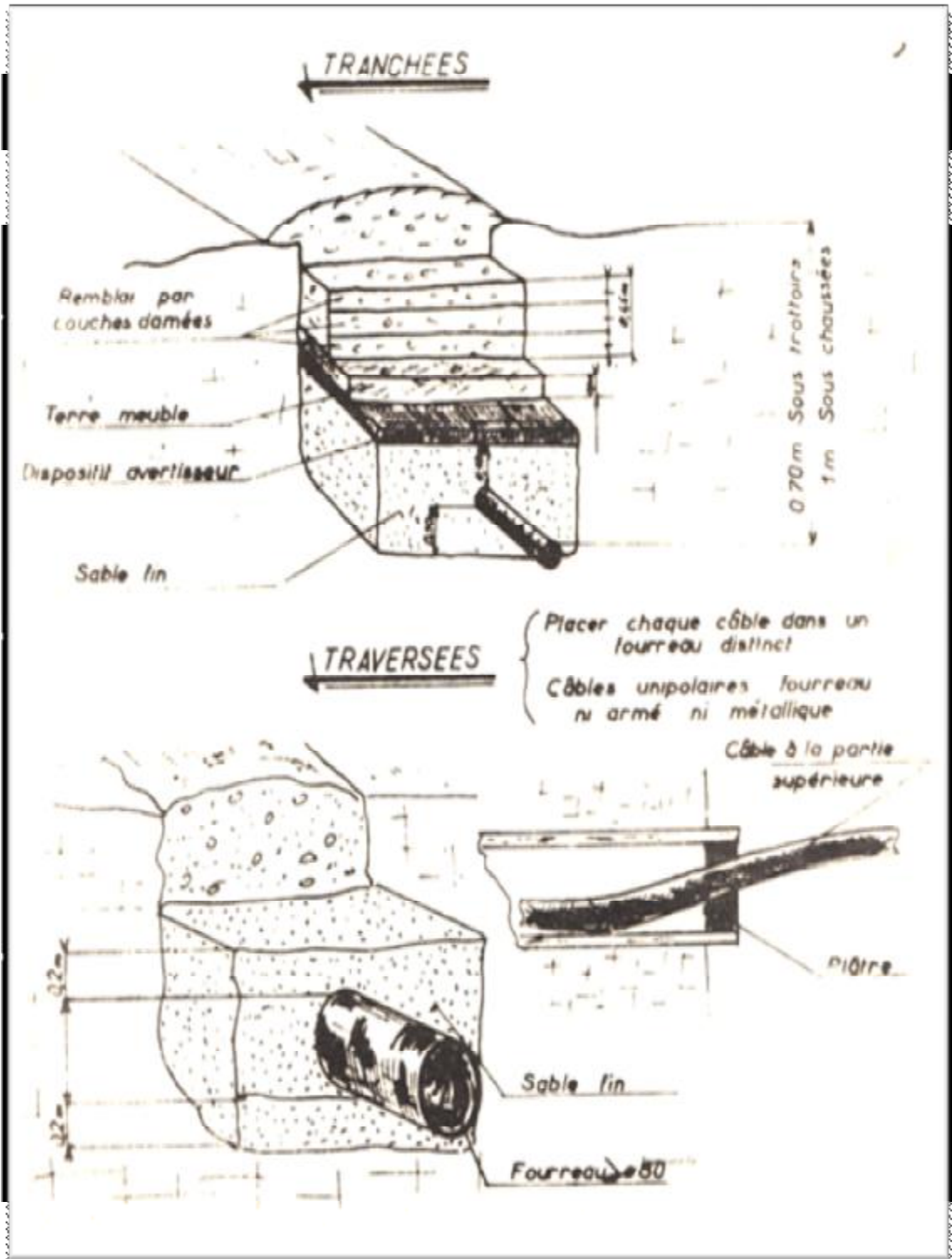


Figure 4-13- Tranchée et les traversés pou la pose

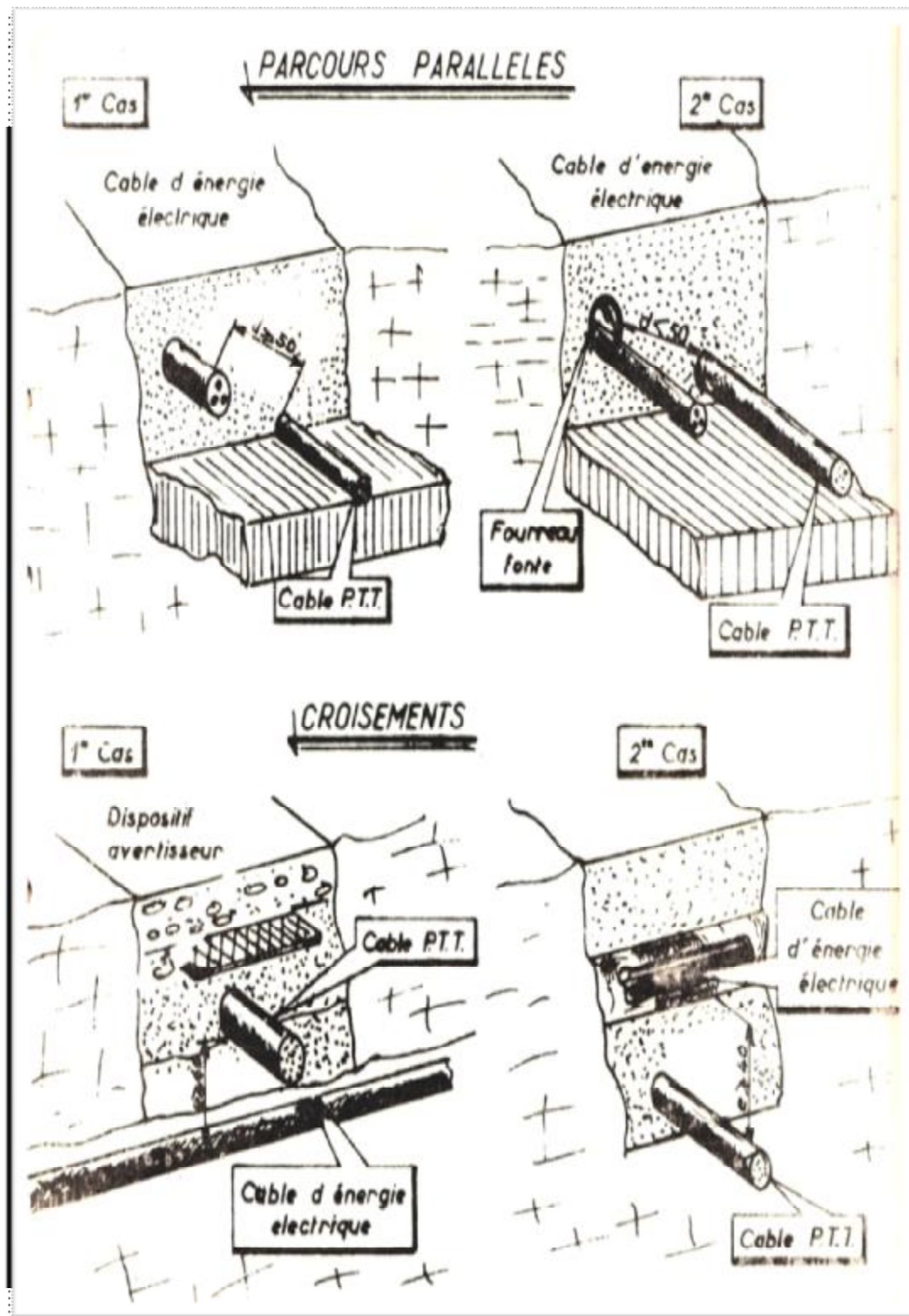


Figure 4-14- Le croisement et la mise en parallèle des câbles

4-6-3- Largeur de la tranchée de pose

La largeur de la tranchée doit être la plus réduite possible pour des raisons économiques. Cette largeur qui dépend de la profondeur de la fouille (trou) et de la nature du terrain est définie en fonction de la commodité de la mise en place du câble. On maintient une distance de 0,20 m entre deux canalisations parallèles pour limiter les influences thermiques.

Les largeurs communément admises sont données dans la figure si dessus *figure 4-15* [20]

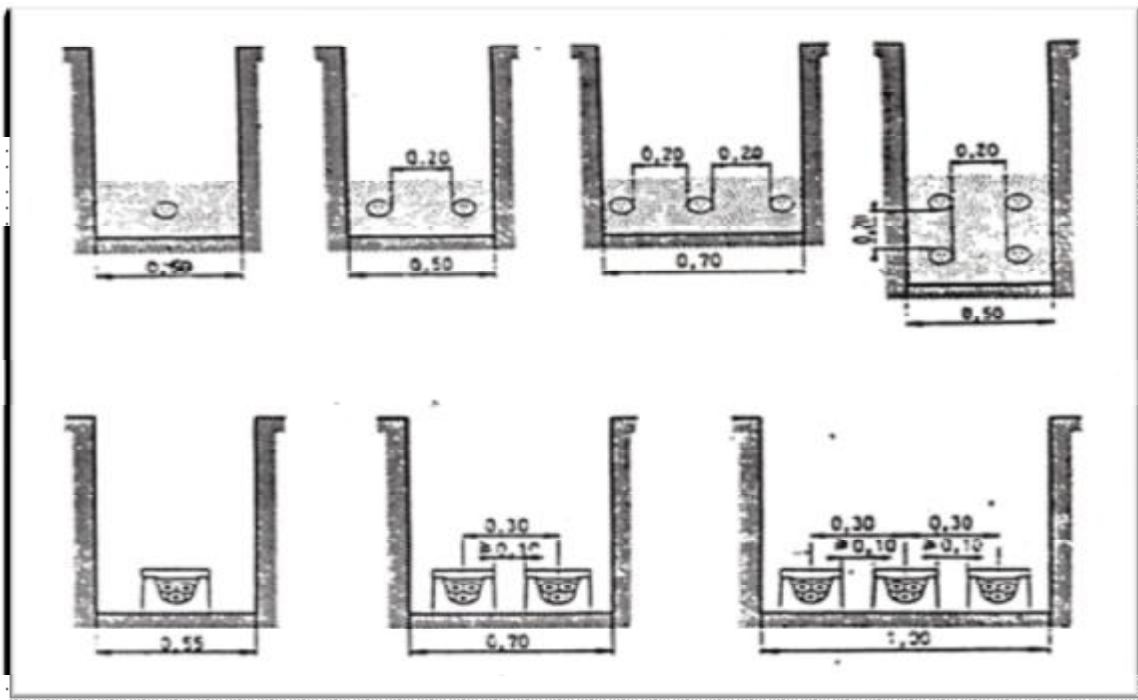


Figure 4-15- Norme de pose pour des canalisations diverses

4-6-4- Conditions de pose des canalisations

A la traversée des rues, croisements et obstacles (chemin de fer, égout, chambres des PTT,... etc), chaque câble est placé dans un fourreau distinct dans un ouvrage en béton armé. Les fourreaux sont constitués par des tuyaux à emboîtement en ciment, en fonte ou en PVC. Le diamètre de ces fourreaux est approprié à la grosseur du câble et ne doit pas être inférieur à 80 mm pour les câbles unipolaire et 150 mm pour les câbles tripolaires. Les fourreaux sont posés et alignés sur un lit de terre fine. Après la pose les câbles sont recouverts de terre débarrassée de grosses

pierres et pilonnés par couche de 0,20 m. les traversées doivent être recouvertes d'un dispositif avertisseur (grillage rouge) [20].

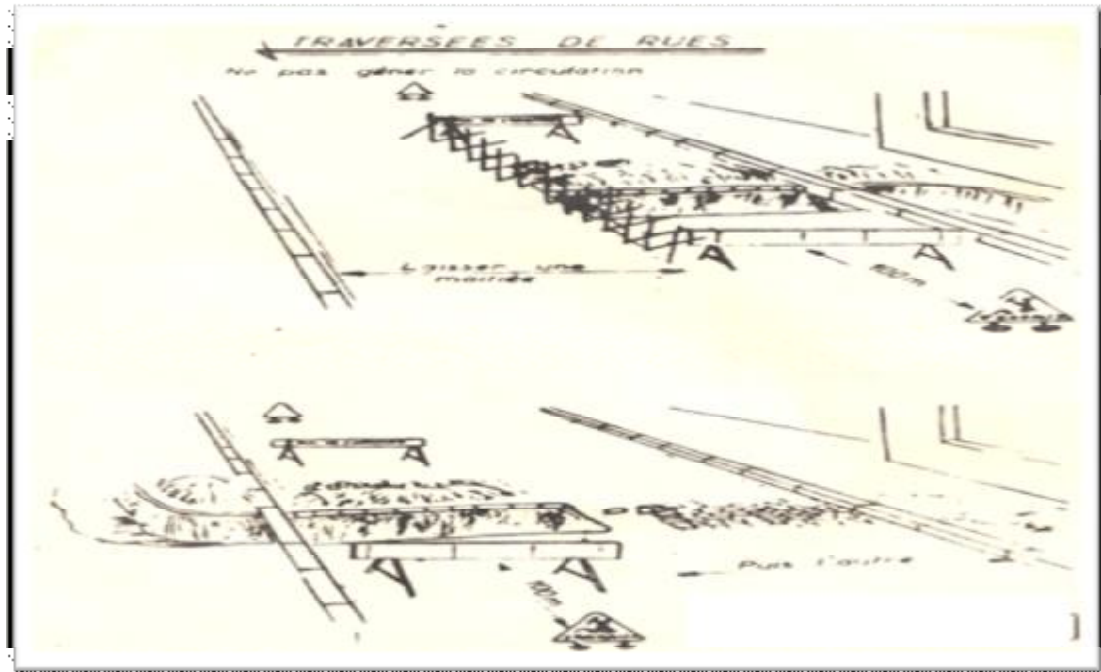


Figure 4-16- La traversé de rue

Ü *Canalisation des fluides divers*

Lorsque des canalisations souterraines en tranchés suivent une direction commune avec les conduites d'eau (notre cas), du gaz, également en tranché, une distance minimale de 1,5 m doit exister entre leurs points les plus rapprochés. Lorsque les canalisations souterraines croisent des installations préexistantes, elles doivent se trouver en tout point à une distance minimale de 1,5 m (Figure 4- 11-) [20].

Ü *Voisinages divers*

Pour les arbres et les supports (lignes aériennes, télécommunication, éclairage public), les câbles doivent être posés à 0,50m des bords extrêmes des supports et des arbres ou de leurs massifs tels qu'il est montré sur la Figure 4- 17- [20]

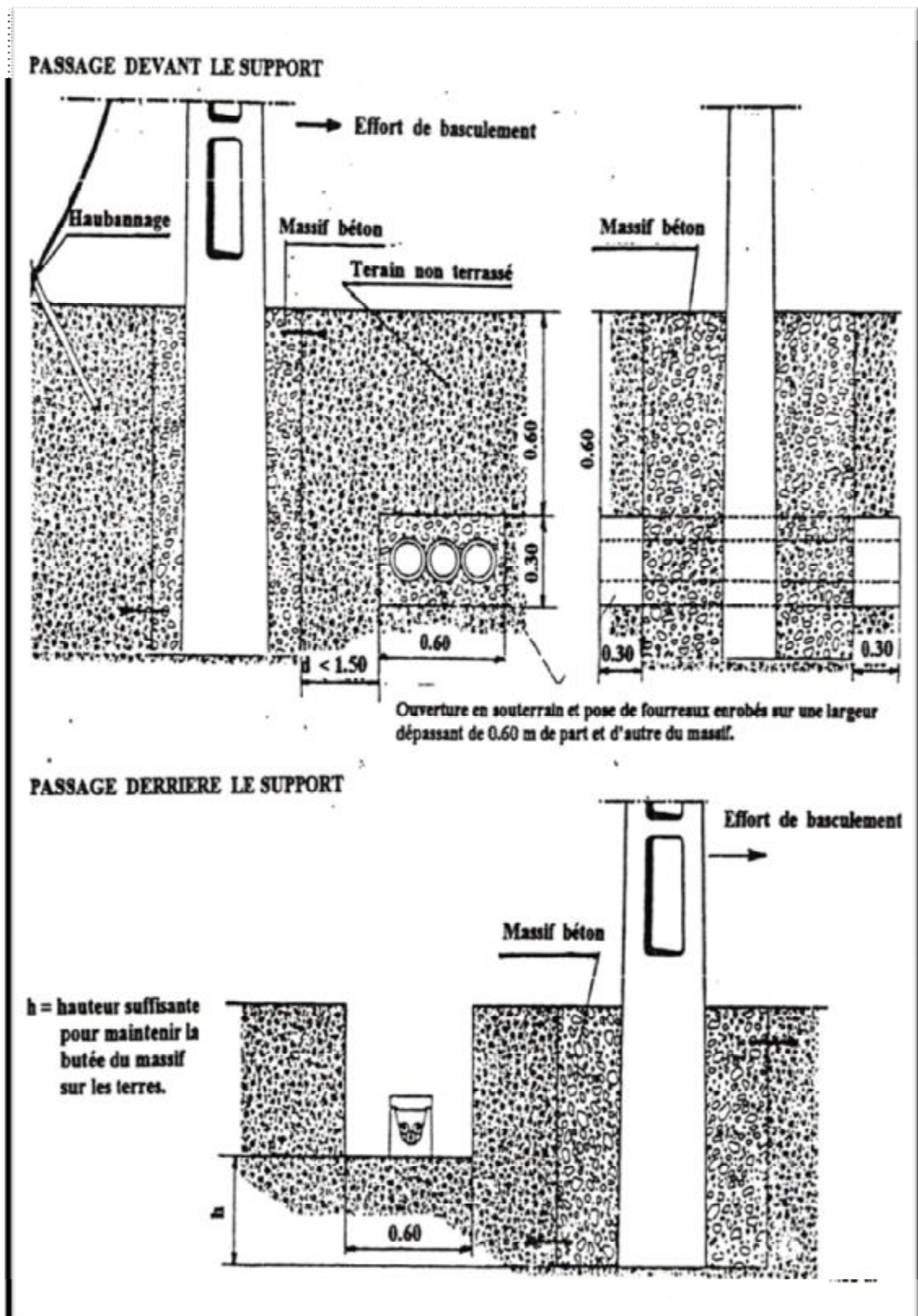


Figure 4-17- Norme de pose pour le cas d'un passage devant des supports

4-6-5- Pose de câbles

Les câbles posés en tranchés ne sont jamais abandonnés provisoirement dans une fouille ouverte, ils doivent être impérativement recouverts d'au moins 10 cm de sable. Dans notre cas le câble est unipolaire et sa pose sera en nappe [20].

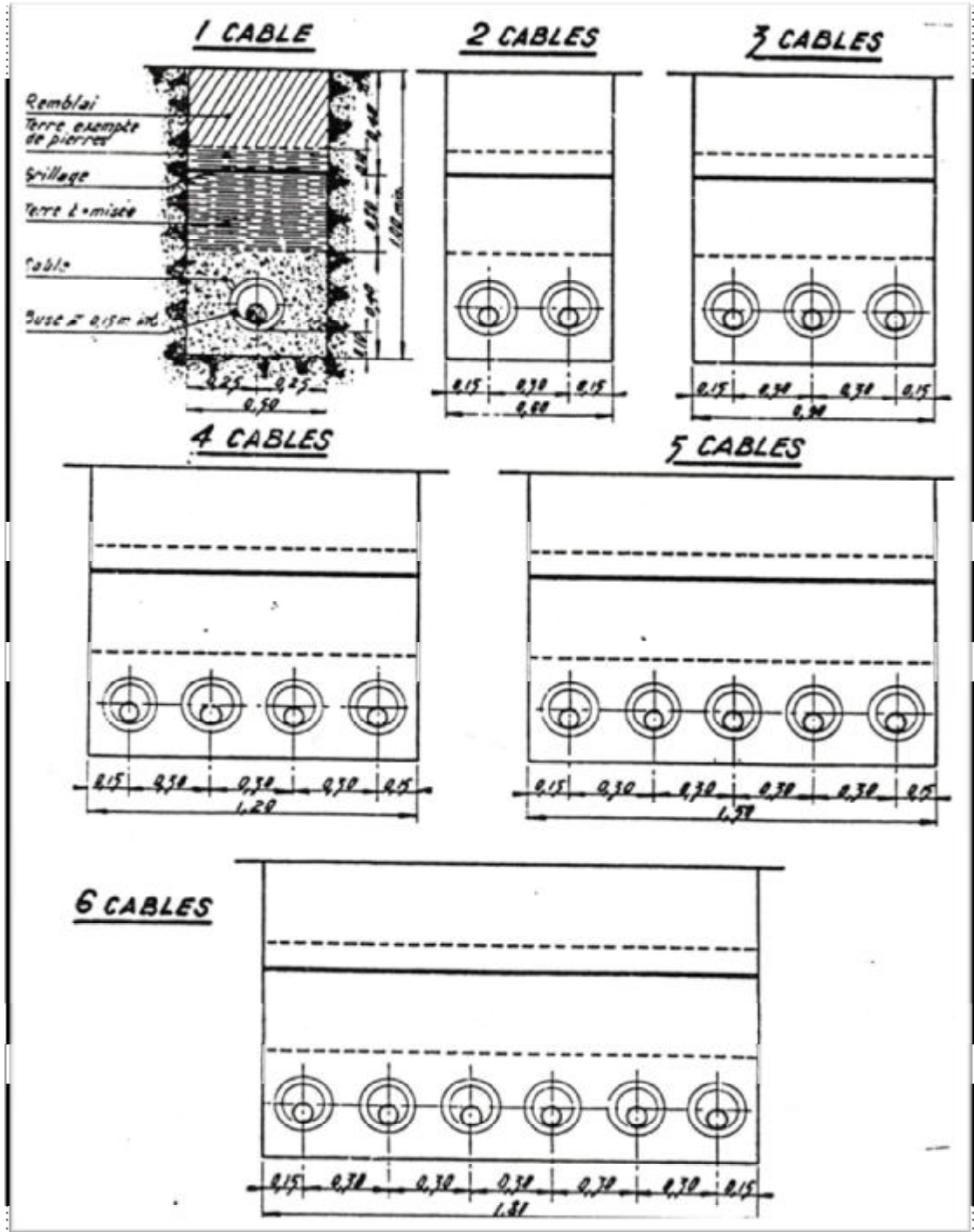


Figure 4-18- Norme de pose pour une entrée charretière

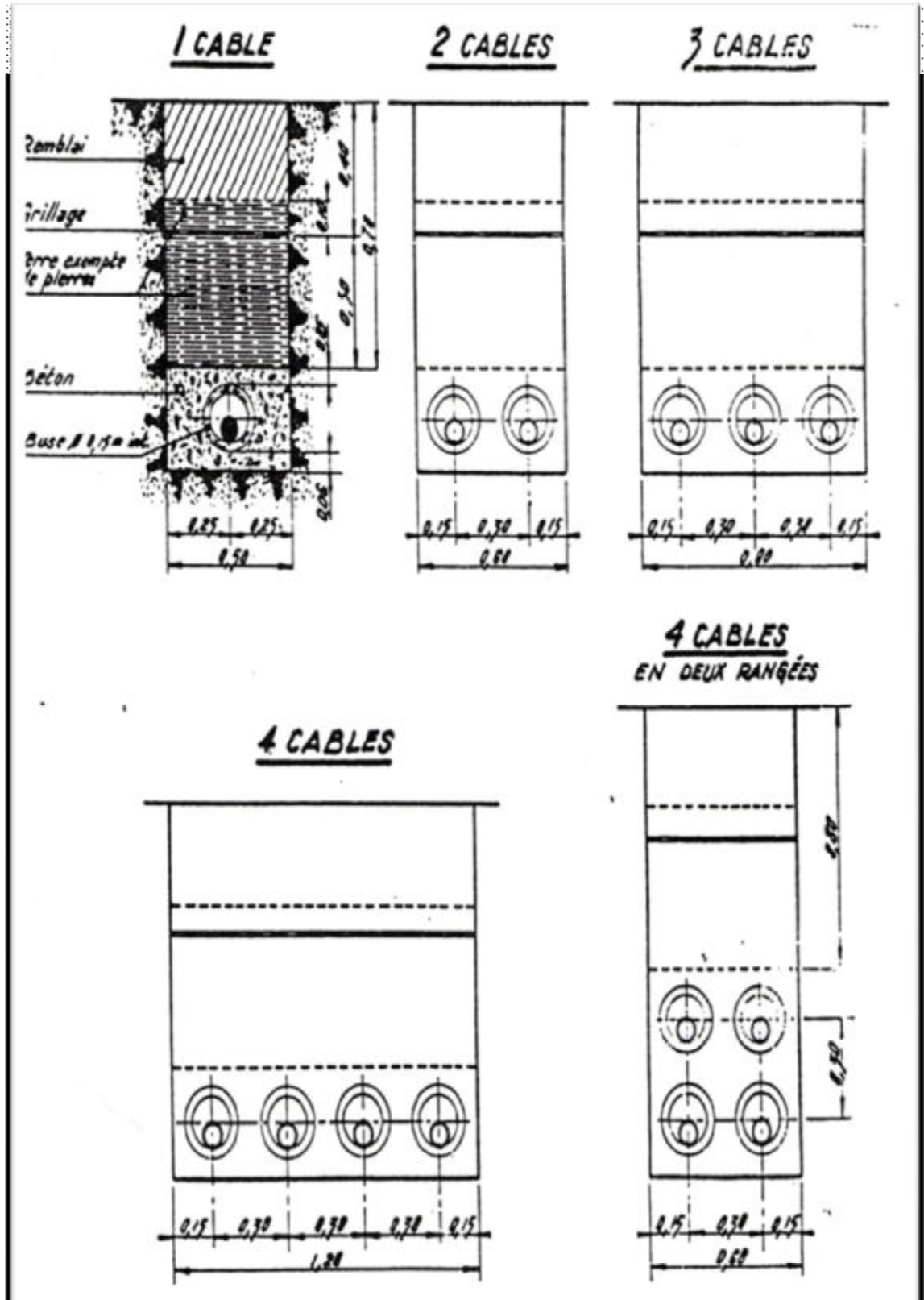


Figure 4-19- Norme de pose pour route ordinaire

4-6-6- Technique de pose

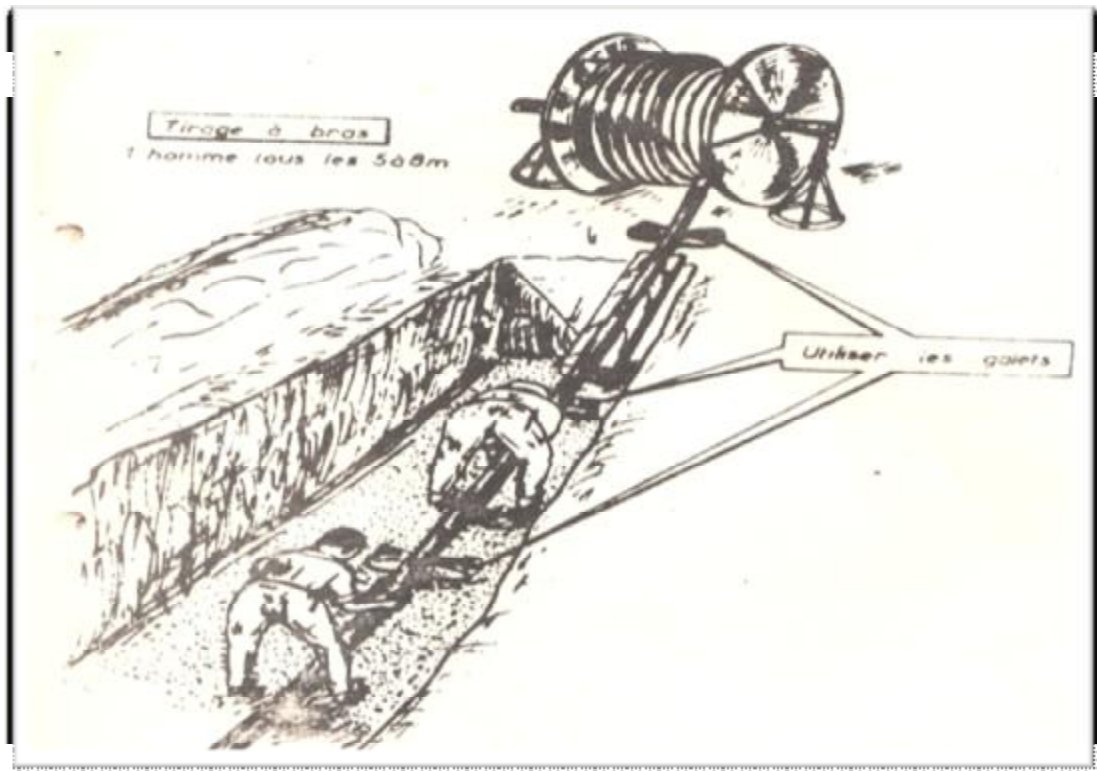


Figure 4-20- Technique de pose du câble

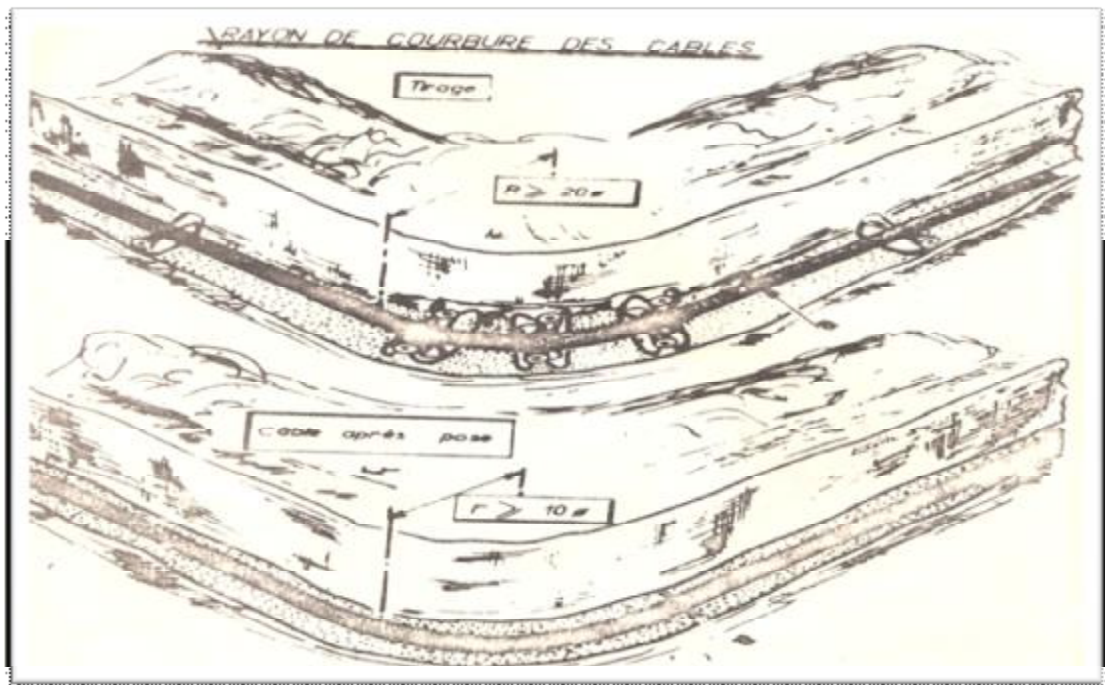


Figure 4-21- Rayon de courbure de la pose du câble

Le câble va traverser une chaussée sous une profondeur de 1m, sous un lit de sable selon la **Figure 4-18-**. Il traversera ensuite un terrain normal (câble posé en nappe) en respectant les normes dictées précédemment.

4-7- L'arrivée du câble

Une fois les câbles arrivés à la station OUIT SLID, ils seront dirigés vers des interrupteurs MT, puis dans des cellules de comptage et de protection TC, TP puis dans une cellule MT (SM6 Merlin Gerin 36kV).

4-7-1-Dimensionnement du disjoncteur MT à partir du compartiment MT

Suivant les règles CEI 60 694 le courant de court-circuit est donné par la formule suivante

$$I_{CC} = S_{CC} / (\sqrt{3} U)$$

Avec :

S_{CC} : Puissance de court-circuit [MVA] ;

U : Tension de service [kV] ;

I_{CC} : Courant de court-circuit [k A] ;

I_{CC} Est la valeur normalisée efficace du courant de court-circuit maximale admissible sur un réseau pendant une ou trois secondes.

Les valeurs du pouvoir de coupure assigné en court-circuit maximale (kA) sont :

6,3 – 8 – 10 – 12,5 – 16 – 20 – 25 – 31,5 – 40 – 50 (kA) [14]

Pour les différentes tensions, les puissances de court-circuit sont données par le tableau suivant :

Tension phase/phase U(kV)	Puissance de court-circuit S(MVA)
150	8000
70	2500
30	700
15	350
10	200
6	120

On à : $U = 30$ kV (tension de service).

D'après le tableau précédent la valeur de la puissance de court-circuit qui lui correspond est $S_{CC} = 700$ MVA donc on aura : $I_{CC} = 13,47$ kA

On choisira alors un disjoncteur de la gamme SM6 de calibre 630A, qui a un pouvoir de coupure de 16 kA.

4-7-2- Description de la cellule d'arrivée (SM6 36 kV)

Schneider Electric a proposé une protection, contrôle et une commande avec la cellule moyenne tension SM6-36. Les gammes de relais Sepam protègent les installations toute en assurant la continuité de l'alimentation électrique et réduisent les temps de coupure [14].

La cellule SM6-36 comporte :

- ü Un interrupteur à trois positions pour empêcher les fausses manœuvres ;
- ü Un plein pouvoir de fermeture du sectionneur de la mise à la terre ;
- ü Une coupure certaine des indicateurs de position ;
- ü Une tenue d'arc interne dans les compartiments câbles et appareillage ;

- ü Un synoptique claire et animé ;
- ü Un seul levier de manœuvre avec une fonction «anti réflexe » ;
- ü Des cellules compartimentées.

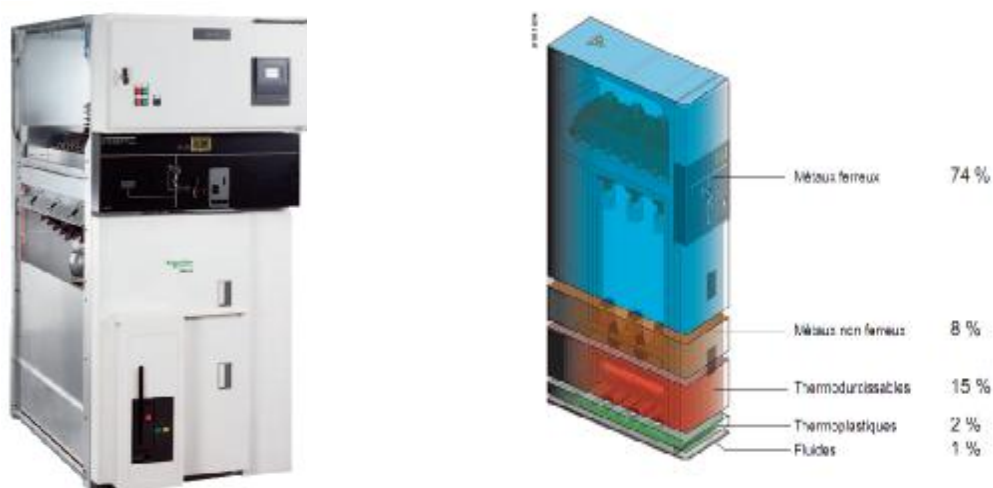


Figure 4-22- Cellule SM6 (30 à 36 kV)

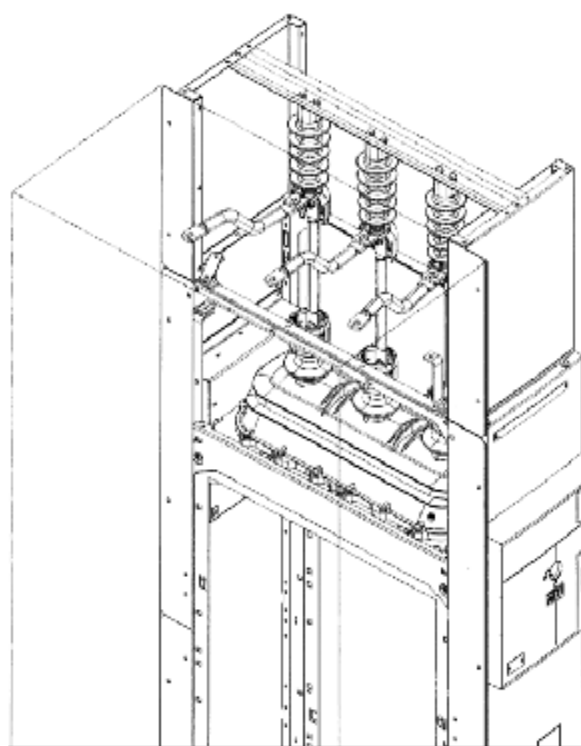


Figure 4-23- Raccordement des câbles aux jeux de barres dans la cellule SM6

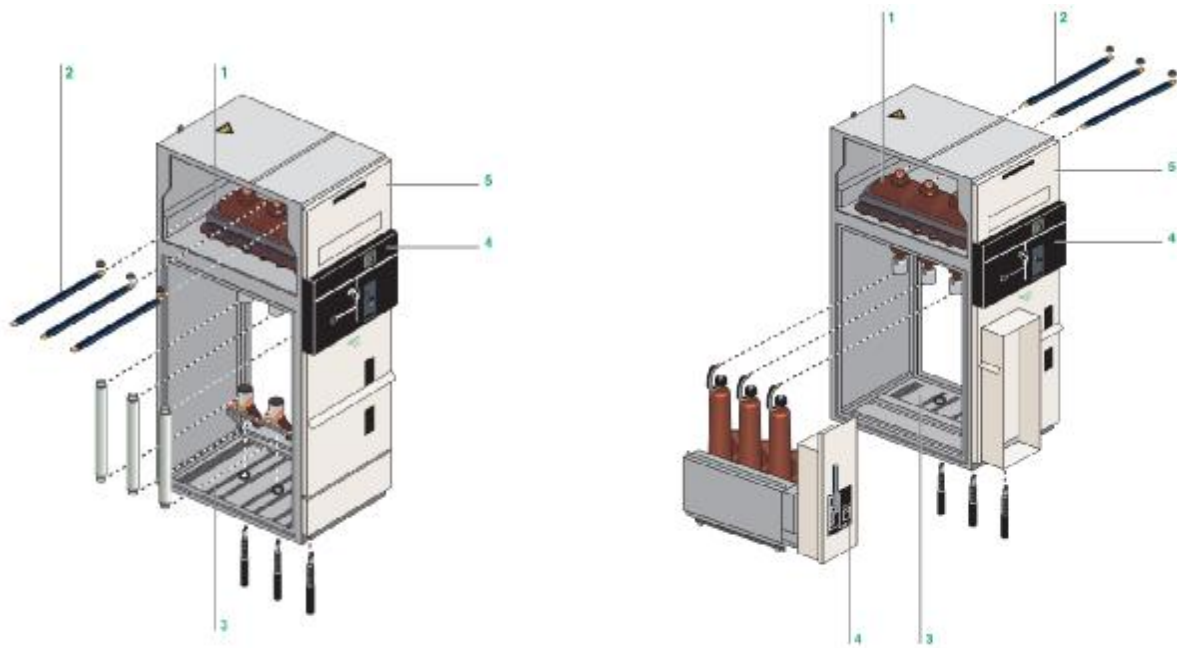


Figure 4-24- Raccordements dans la cellule SM6

L'étude du dimensionnement de la canalisation citée en haut est faite pour le premier tronçon de SR1 jusqu'à SR2, l'étude du deuxième tronçon sera similaire au premier et il n'y aura que la longueur L qui va changer soit $L = 5$ km.

Conclusion

Notre objectif principal est de dimensionner un câble MT souterrain 30 kV alimentant la chaîne de production de Souk el Djemaa, qui consiste à déterminer les paramètres de ce câble (bilan de puissance, section des conducteurs, chute de tension,...). Nous avons dimensionné le câble en étudiant les courants de court-circuit et les chutes de tension qui peuvent affecter un réseau électrique. Nous avons également choisi les appareils de protection. Nous avons montré l'utilité de calculer certains paramètres pour bien définir la section normalisée du câble. Enfin nous avons terminé par une application sur le site de Souk el Djemaa en précisant le câble à utiliser et la manière dont laquelle ce câble doit être posé en suivant les normes dictées par la SONELGAZ.

Ce travail, nous a permis d'approfondir nos connaissances en électrotechnique et de toucher de près à ce qui se fait sur le terrain.

Enfin, nous espérons que ce travail apportera un plus à l'entreprise ADE, et aux étudiants des autres promotions.

bibliographie

- [1] : M^{elle} Adli .M M^{elle} Nait djoudi. « Restructuration du réseau MT 30kV de la région de TIGZIRT » mémoire d'ingénieur UMMTO, 2009.
- [2] : Christophe Perré « les réseaux électriques industriels », édition Hermès Science 2005.
- [3]: M^R Feraani. R, M^F. Adan. Mr. Amrendi. Dj « restructuration du réseau MT 30KV du centre de T-O » mémoire d'ingénieur UMMTO 1999.
- [4] : M^{elle} Ait abdel. Mr. Bouali « restructuration du réseau MT 30KV de la ville de T-O » mémoire d'ingénieur UMMTO 1999.
- [5] : Henri Persoz, Gérard Santucci , Jean-Claud Lemoine « planification des réseaux électriques » EYROLLES 1984.
- [6] : THEODORE WILDI « Electrotechnique », édition4.2005.
- [7] : Cahier technique n°164 « ligne et réseaux électriques ».
- [8] :X. Ducouret « ligne aérienne, matériel » technique d'ingénieur D4423 ,2009.
- [9] : Mr Ait alioua, Mr.Djaber, Melle Chikhi « comportement électrique de deux isolateurs parallèles » mémoire d'ingénieur UMMTO 2009.
- [10] :Mr.Mamani. « Effet de l'humidité sur les propriétés électriques du PVC utilisé dans l'isolation des câbles à HT » magister ETH UMMTO 2010.
- [11] : Mr. Zarouki « effet des plastifications sur les propriétés du polychlorure de vinyle utilisé dans l'isolation des câbles HT » magister ETH UMMTO 2008.
- [12] : Mr Hocine bouazza, Mr. Aziz mousli « étude de l'effet du vieillissement électrique sur la conduction électrique du polypropylène et du PS », mémoire d'ingénieur UMMTO 2009.

[13] : Technique d'ingénieur D4446 « isolation des câbles ».2009.

[14] : Cahier technique « Schneider électrique ».

[15] : fichier internet. « Câbles électriques souterrains ».

[16] : Mémotech électrotechnique, 5^{ème} édition 1996.

[17] : Technique d'ingénieur D4521.2009.

[18] : fichier internet.

[20] : Guide technique SONELGAZ « réalisation des câbles souterrains « techniques de pose ».

[21] : Institut Schneider Formation.

amaze

Désignation de câbles et des conducteurs

Le code CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrique)

- Type de la série

H : série harmonisée

A : série national reconnue

FR-N : série national autre que reconnue

- Tension nominal

03 : 300/300V

05 : 300/500V

07 : 450/750V

1 : 0,6/1KV

- Isolant

R : caoutchouc vulcanisé

X : polyéthylène réticulé

V : PVC

- Revêtement métallique

D : ruban en acier ceinturant les conducteurs

224 : armure en feuillards acier

- Gaine extérieure

V : PVC

R : caoutchouc vulcanisé

N : élastomère chloré réticulé

- Forme du câble

Pas de lettre : câble rond

H : câble méplat divisible

H2 : câble méplat non divisible

- Nature de l'âme

Pas de lettre : Cuivre

A : Aluminium

- Souplesse de l'âme

U : rigide, massive, ronde

R : rigide, câblé, ronde

S : rigide, massive, rectorale

K : souple, classe 5 pour installation fixe

F : souple, classe 5

H : souple, classe 6

D : souple pour soudure

E : extra souple pour soudure

Remarque pour le câble à âme en Aluminium le tiret précédant le symbole est à supprimer.

Le code UTE

- Type de la série

U : câble faisant l'objet d'une norme UTE

- Tension nominal

250 :250 V

500 :500 V

1000 :1000 V

- Isolant

C : caoutchouc vulcanisé

R : polyéthylène réticulé

V : PVC

- Revêtement métallique

P : ruban en acier ceinturant les conducteurs

F : armure en feuillards acier

- Bourrage

G : gaine de bourrage

O : aucun bourrage

1 : gaine d'assemblage et de protection formant bourrage

- Gaine extérieure

2 : gaine de protection épaisse

V : PCV

C : caoutchouc vulcanisé

- Forme du câble

Pas de lettre : câble rond

M : câble méplat

- Nature de l'âme

Pas de lettre : Cuivre

A : Aluminium

- Souplesse de l'âme

Pas de lettre : âme rigide

S : âme souple