

11/621.750

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Elcctrotechnique
Spécialité : Réseaux électriques

Mémoire de fin d'études
pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Analyse des éléments de base d'un réseau HT à élaborer

Présenté par :
REGAIA BILAL
BARKIA ADEL

Sous la direction de :
Ph.D. BOUNAYA KAMEL

JUIN 2012





Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement mon promoteur Ph.Dr, Mr Bounaya Kamel qui m'a fait profiter de son expérience dans le domaine, qui m'a beaucoup aidé pendant tout au long de mon projet. Je lui remercie en cor de plus tout ce qu'il a fait durant ce projet.

Nous tenons ainsi remercie les membres du jury :

Nous tenons a remercier aussi tous les enseignants d'électrotechnique.

Enfin, à tous ceux qui m'ont aidé, dirigé, orienté et conseillé dans l'élaboration de ce mémoire de fin de cycle pour l'obtention d'un diplôme master.



Dédicace

Au nom d'allah le tout miséricordieux. Le très miséricordieux.

Louange à Allah, seigneur de l'univers.

Le tout miséricordieux, le très miséricordieux.

Maitre du jour de la rétribution.

C'est toi seul que nous adorons et c'est toi seul dont nous implorons secours.

Au prophète messager de Dieu : Que la paix, bénédiction et salut soit sur vous, a votre famille et a tout qui vous suivrons jusqu' au du jugement dernier Amen.

A mon père : MED ALI BARKIA

A ma mère : AICHA REGAIA

Je dédie particulièrement cet humble travail à mes frères et a tout la famille et tout les amis

BARKIA ADEL



Dédicace

Au nom d'allah le tout miséricordieux. Le très miséricordieux.

Louange à Allah, seigneur de l'univers.

Le tout miséricordieux, le très miséricordieux.

Maitre du jour de la rétribution.

C'est toi seul que nous adorons et c'est toi seul dont nous implorons secours.

Au prophète messenger de Dieu : Que la paix, bénédiction et salut soit sur vous, a votre famille et a tout qui vous suivrons jusqu' au du jugement dernier Amen.

A mon père : SALAH REGAIA

A ma mère : AICHA HASNAOUI

Je dédie particulièrement cet humble travail à mes frères et a tout la famille et tout les amis

REGAIA BILAL

Sommer

Introduction

Premier Chapitre : Notions sur les réseaux électriques.

| | |
|--|----|
| 1.1. Généralités sur les réseaux électriques..... | 1 |
| 1.2. Acheminement de l'énergie électrique..... | 2 |
| 1.3. Les niveaux de tension des réseaux | 5 |
| 1.4. Description des réseaux électriques..... | 6 |
| 1.5. Le réseau de transport 'THT' | 11 |
| 1.6. Le réseau de répartition HT..... | 12 |
| 1.7. Le réseau de distribution MT | 12 |
| 1.8. Les lignes électriques..... | 13 |
| 1.9. Type de ligne..... | 14 |
| 1.10. Les phénomènes électriques dans les réseaux..... | 20 |
| 1.11. Le système de protection..... | 22 |
| 1.12. Le centre de contrôle ou dispatching..... | 22 |
| 1.13. Éléments de protection..... | 24 |
| 1.14. Élimination des défauts..... | 26 |

Deuxième Chapitre : Elaboration d'un réseau électrique.

| | |
|---|----|
| 2.1. Données initiales du réseau..... | 27 |
| 2.2. Choix de la tension nominale..... | 29 |
| 2.3. Choix des variantes de configuration du réseau..... | 30 |
| 2.3.1. Fiabilité de fonctionnement..... | 30 |
| 2.3.2. Détermination des paramètres de différentes variantes..... | 31 |
| 2.4. Comparaison des variantes..... | 40 |
| 2.4.1. Choix des section des conducteurs..... | 40 |
| 2.4.2. Détermination des paramètres des lignes..... | 42 |
| 2.4.3. Les pertes de puissances..... | 45 |

Troisième Chapitre : Calcul des courants de court-circuit.

| | |
|--|----|
| 3.1. Généralités..... | 63 |
| 3.2. Types des courts-circuits..... | 64 |
| 3.3. Méthode du calcul des courants de court-circuit..... | 65 |
| 3.4. Courant de court-circuit triphasé symétrique..... | 67 |
| 3.4.1. Analyse descriptive du court-circuit en régime transitoire..... | 69 |
| 3.4.2. Calcul de court-circuit en régime permanent..... | 74 |
| 3.5. Paramètre des transformateurs..... | 75 |
| 3.6. Schéma équivalent de calcul du court-circuit..... | 79 |
| 3.7. Calcul des courants de court-circuit..... | 83 |

Introduction:

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et à un cout raisonnable. Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures dont le but est d'acheminer de l'énergie électrique à partir de centres de production vers les consommateurs d'électricité (charge).

Le transport d'énergie électrique sur de très grandes distances, est devenu plus avantageux en courant continu qu'en alternatif et ce, grâce au développement de l'électronique de puissance. Ainsi, il est plus économique de convertir la THT ou UHT de l'alternateur au continu, de transporter l'énergie électrique à l'aide de deux lignes et de la reconvertir à l'autre extrémité. Des études ont montré qu'il était avantageux de recourir au courant continu lorsqu'il s'agissait de transporter de l'énergie électrique sur des distances supérieures ou égales à 500 km.

Les lignes à courant continu n'ayant pas de réactance, sont donc capables de faire transiter plus de puissance que des lignes à courant alternatif avec des conducteurs de même section. L'utilisation du courant continu est particulièrement avantageuse, lorsqu'il s'agit d'interconnecter deux grands réseaux distants l'un des l'autre ou de traverser des cours d'eau ou mer (entre îles). La liaison en courant continu, agit alors, comme un lien asynchrone entre deux systèmes rigides, éliminant ainsi, les problèmes d'instabilité inhérent aux interconnexions réalisées an courant alternatif [2].

Premier Chapitre

Notions sur les réseaux électriques

1.1. Généralités sur les réseaux électriques:

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Un réseau est constitué 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 [2].

On appelle réseau électrique l'ensemble des infrastructures et ouvrages, permettant d'acheminer l'énergie électrique des centrales électriques (centres de production), vers les consommateurs d'électricité (charge).

Le réseau de transport électrique est divisé en lignes très haute, haute, moyenne et basse tension (distribution). La structure des réseaux varie d'un pays à un autre, mais on peut la représenter de la façon générale suivante [5]:

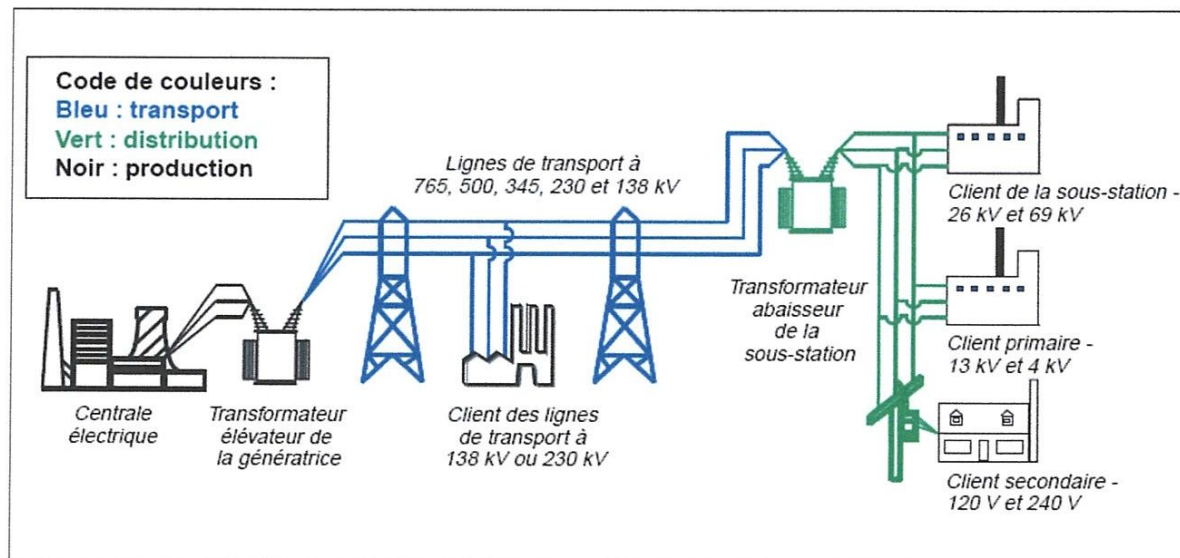


Fig. (1.1): Structure de base d'un réseau d'énergie électrique.

Remarque:

Tout calcul sur un réseau d'énergie électrique démarre à partir d'un point stable et ceci est assuré par le calcul d'écoulement de puissance.

Sous cette dimension, le calcul d'écoulement de puissance a son importance dans toute étude sur un réseau électrique [5].

1.2. Acheminement de l'énergie électrique :

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis les centrales de génération jusqu'aux maisons de campagne les plus éloignées (fig. 1).

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines...).

L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité) puis progressivement abaissées au niveau de la tension de l'utilisateur final [4].

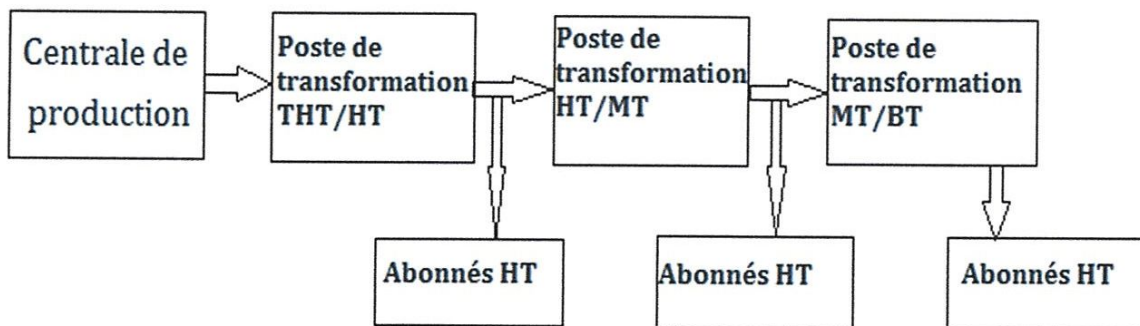


Fig. (1.2) : Schéma d'un réseau électrique.

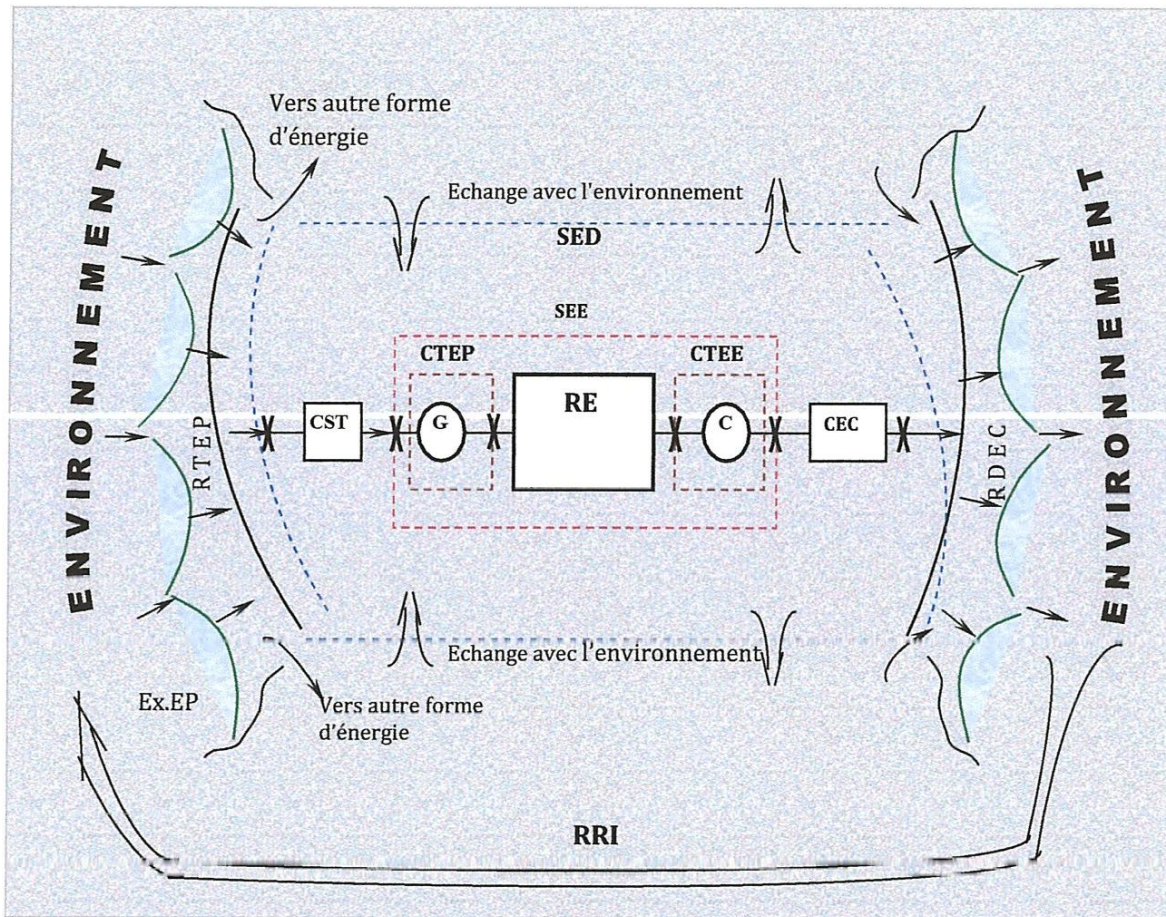


Fig. (1.3): Définition des sous-ensembles d'un système d'énergie (SE). EP- Energie primaire, Ex.EP- Extraction de EP, RTEP – Réseau de transport de EP, SED – Système d'énergie domestiquée, CST– Centre de stockage et de traitement de EP, SEE – Système d'énergie électrique, CTEP – Centres de transformation de EP, RE – Réseaux électriques, CTEE – Centres de transformation de l'énergie électrique, CEC – Collecteur de l'énergie consommée, RDEC – Réseau de diffusion de l'énergie consommée, G – Générateurs (Centrales), C – Consommateurs (Récepteurs), RRI – Réseau de réaction (ré injection) inverse du consommé dans l'environnement.

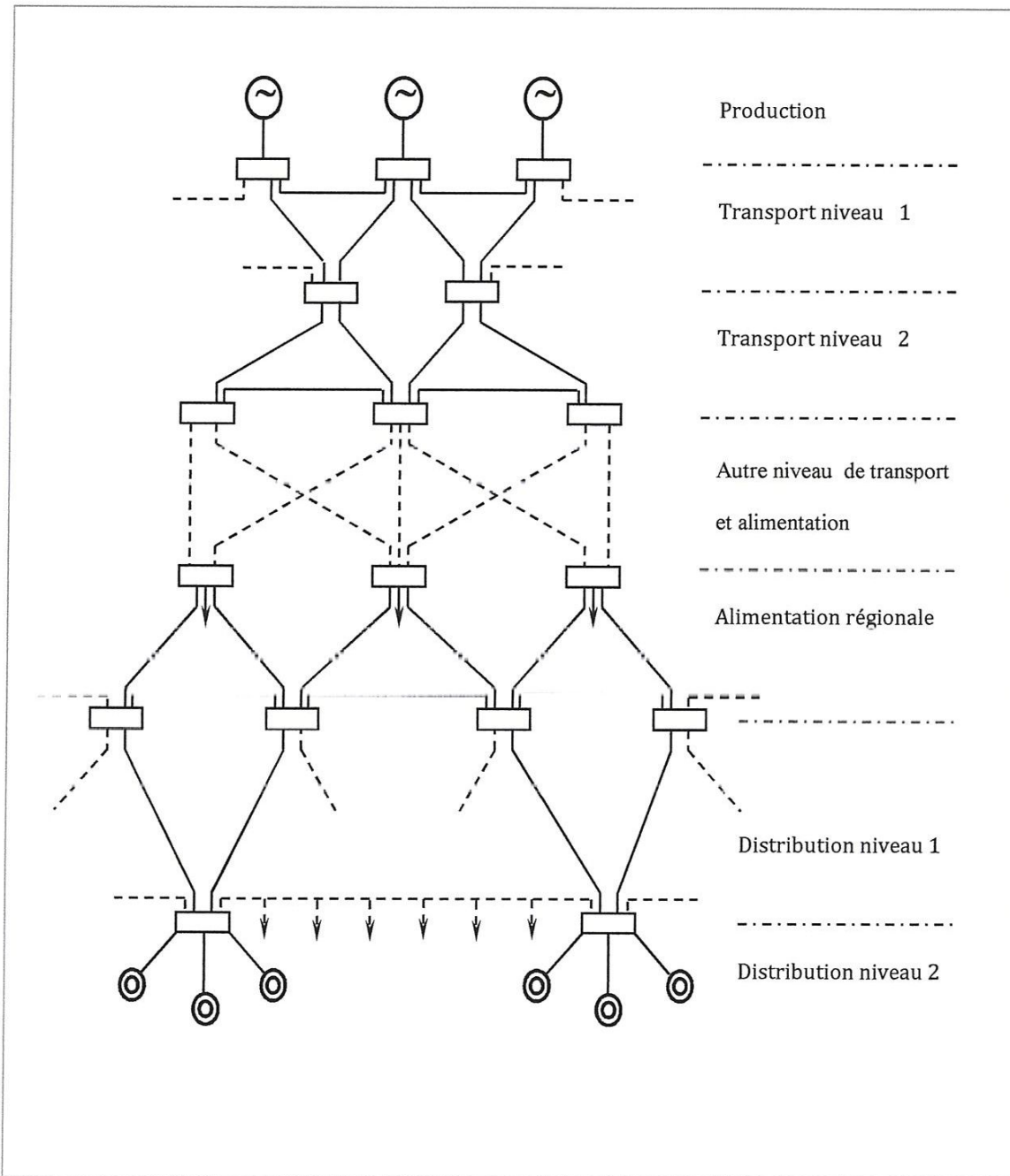


Fig. (1.4): Exemple de hiérarchie d'un système.

1.3. Les niveaux de tension des réseaux :

Les réseaux électriques sont hiérarchisés :

D'une façon générale, la plupart des pays mettent en œuvre :

- ✚ Un réseau de transport THT 220.....800 KV
- ✚ Un réseau de répartition HT 60.....170 KV
- ✚ Un réseau de distribution MT 5.....36 KV
- ✚ Un réseau de livraison de l'abonné BT 400/ 230 V

Cette hiérarchie, c'est-à-dire, les niveaux de tensions utilisés, varie considérablement d'un pays à l'autre en fonction des paramètres liés à l'histoire électrotechnique du pays, ses ressources énergétiques, sa surface et finalement des critères technico-économiques [4].

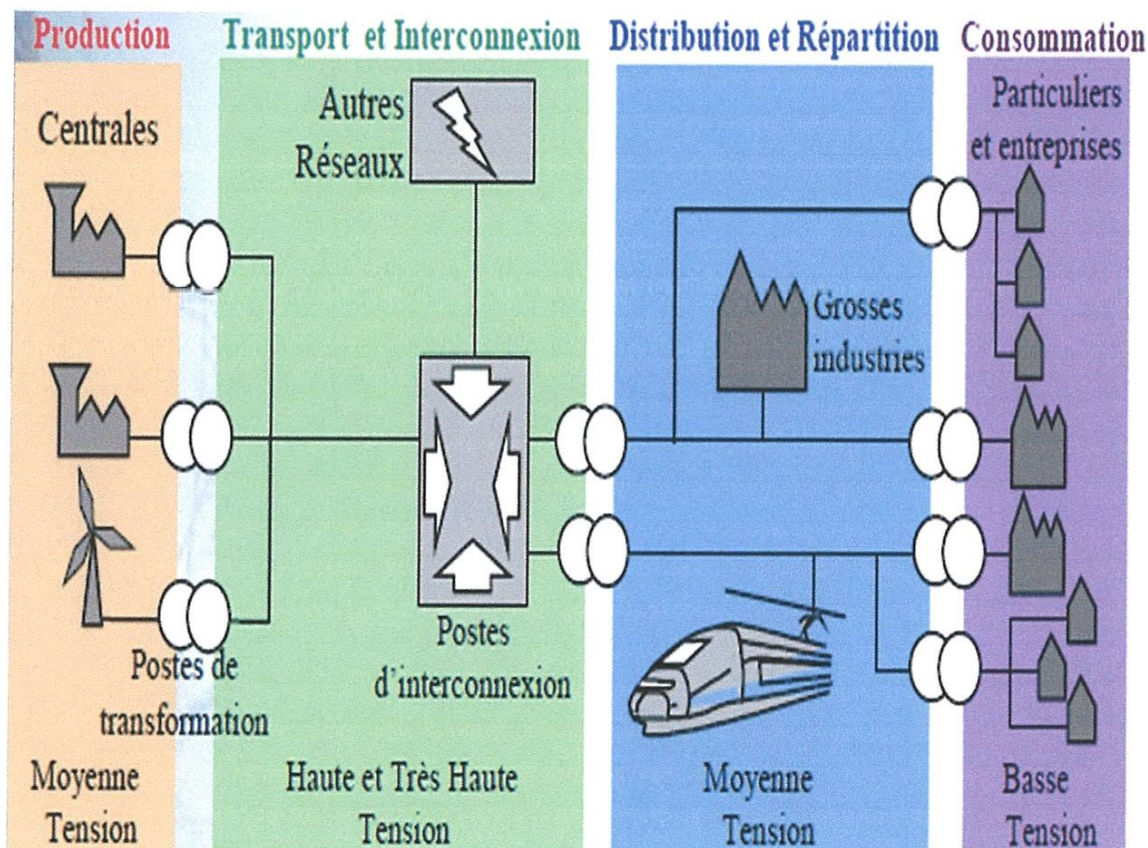


Fig. (1.5): Structure de base d'un réseau d'énergie électrique.

1.4. Description des réseaux électriques :

Un réseau d'énergie électrique est aujourd'hui un ensemble de circuits complexes interconnectés comme le montre le schéma de principe de la (fig. 1.5)

Le réseau électrique peut être subdivisé en quatre parties essentielles :

- ✓ La production d'énergie électrique.
- ✓ Le transport et la répartition.
- ✓ La distribution.
- ✓ Les charges.

❖ La production :

- **L'alternateur :**

L'un des composants majeurs des réseaux électriques est la génératrice à courant alternatif triphasé plus connue sous la dénomination de génératrice synchrone ou alternateur.

Les génératrices synchrones ont deux champs tournants en synchronisme. L'un est produit au niveau du rotor lorsqu'il est entraîné à la vitesse synchrone et est excité par du courant continu. L'autre, est produit par les enroulements du stator lorsqu'ils sont parcourus par le courant triphasé des charges. Le courant continu nécessaire aux enroulements du rotor pour créer le champ magnétique est fourni par le système d'excitation. Les anciens systèmes d'excitation étaient des génératrices à courant continu montées sur le même arbre. Elles alimentaient les enroulements du rotor de l'alternateur par le biais de contacts glissants sur des bagues. Aujourd'hui on utilise des génératrices à courant alternatif équipées de redresseurs tournants et connus sous le nom de système d'excitation «brushless». Le système d'excitation permet de maintenir et de contrôler le transit d'énergie réactive [2].

Du fait de la suppression de la commutation, les alternateurs sont en mesure de générer de grandes puissances à haute tension. Dans les centrales électriques, la puissance des alternateurs varie de 50 MW à 1500 MW.

La source d'énergie mécanique est, soit ;

- Une turbine hydraulique installée au niveau d'un barrage, d'un torrent, de la mer, de chutes d'eau,... etc ; d'où la centrale hydraulique.
- Une turbine thermique propulsée par de la vapeur d'eau ou par un gaz chaud et qui sont obtenus par la combustion de houille, charbon, fuel, gaz naturel et par la fusion ou fission nucléaire ; d'où les appellations de centrale à vapeur, centrale à gaz et centrale nucléaire.

Les turbines à vapeur fonctionnent relativement à grande vitesse 3000 ou 1500 tr/min pour une fréquence de 50 Hz et 3600 ou 1800 tr/min pour une fréquence 60 Hz. les alternateurs qui y sont couplés sont à pôles lisses, bipolaires (3600 – 3000 tr/min) ou quadripolaires (1800-1500tr/min). La relation liant la vitesse v de rotation de l'alternateur, exprimée en tr/min, en fonction de la fréquence f et du nombre de pôles p est la suivant :

$$V = f / 2p \text{ tr/min}$$

Les turbines hydrauliques fonctionnent par contre à de petites vitesses. Leurs alternateurs sont à pôles lisses avec un grand nombre de pôles.

Dans une centrale électrique, plusieurs alternateurs fonctionnent en parallèle pour contribuer à la satisfaction de la puissance appelée à cet instant précis, par toutes les charges reliées au réseau. Ils sont connectés entre eux en un point commun, communément appelé nœud [2].

Aujourd'hui, une importance particulière est accordée à la protection de l'environnement ainsi qu'à la préservation des sources fossiles d'énergie. C'est dans cette perspective que des recherches ont été orientées, vers les énergies renouvelables et vers le développement de nouveaux moyens, permettant l'utilisation de l'énergie du soleil et de la terre pour la production de l'énergie électrique. Parmi ces nouvelles énergies, nous citerons les plus importantes et qui ont trouvé un début d'application, à savoir : l'énergie solaire, éolienne, des marées, des biomasses et géothermique.

- **Le transformateur :**

Le second composant essentiel des réseaux électriques est le transformateur. Il permet le transfert de puissance avec un rendement élevé d'un niveau de tension vers un autre. La puissance transmise au secondaire est à peu près celle du primaire et en conséquence le produit VI au secondaire est approximativement égal à celui du primaire. Ainsi, dans un transformateur élévateur, toute élévation de tension au secondaire, s'accompagne d'une diminution dans le même rapport, du courant du secondaire, ce qui entraîne la diminution des pertes dans les lignes et rend possible l'acheminement de l'énergie électrique sur de grandes distances.

Des contraintes d'isolation, ainsi que d'autres liées à des problèmes techniques de conception ne permettent pas pour l'heure de générer au niveau des alternateurs, des tensions supérieures à 30 KV. Ainsi, un transformateur élévateur est nécessaire pour pouvoir transporter l'énergie électrique. Aux extrémités réceptrices des lignes, un transformateur abaisseur est utilisé pour ramener la tension à un niveau acceptable pour la distribution et l'utilisation [2].

- ❖ **Le transport et la répartition :**

Le rôle du réseau aérien de transport est d'acheminer l'énergie électrique à partir des centrales situées à différents endroits du territoire jusqu'au réseau de distribution qui en dernier lieu alimente les charges. Les lignes de transport assurent

l'interconnexion des réseaux régionaux, ce qui permet, non seulement d'assurer une répartition économique de l'énergie électrique dans les régions elles-mêmes dans les conditions normales d'exploitation, mais aussi, un transfert inter-régional de l'énergie, dans les situations d'urgence.

Les niveaux de tension utilisés pour le transport diffèrent d'un pays à un autre, mais une tendance à une normalisation existe. Font partie du réseau de transport toutes les lignes dont le niveau de tension est supérieur à 60 kV. En Algérie les tensions usitées pour le transport sont de 90 kV, 150 kV, 220 kV et en cours de réalisation 400 kV. Aux Etats-Unis, les tensions sont normalisées à 69 kV, 115 kV, 138 kV, 161 kV, 230 kV, 345 kV, 500 kV, et 756 kV. Les lignes de transport dont la tension est supérieure à 500 kV sont dites à ultra haute tension, celles dont la tension est supérieure à 150 kV, mais inférieure à 500 kV, sont dites à très haute tension (THT). Ces seuils varient d'un pays à un autre.

Les lignes de transport aboutissent toutes à des sources dites de répartition. Ces dernières permettent d'assurer la commutation des lignes d'une part, et d'abaisser la tension à des niveaux permettant la répartition de l'énergie électrique d'autre part. Il est à noter que de très grands centres de consommation industriels sont directement alimentés à partir du réseau de transport.

La portion de réseau reliant les postes sources de répartition aux postes sources de distribution, au travers de transformateurs abaisseurs est dite réseau de répartition. Nous remarquerons qu'il n'existe pas de délimitation franche des niveaux de tension entre les réseaux de transport et de répartition. Il est communément admis, que pour le réseau de répartition, les tensions situées sont comprises entre 60 kV et 150 kV. Notons aussi que, de grandes unités industrielles sont alimentées par le réseau de répartition [2].

1.6. Le réseau de répartition HT :

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT.
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT. Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie, la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire,...

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux.

1.7. Le réseau de distribution MT :

- Les utilisateurs peuvent être groupés d'une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les campagnes. Ils sont desservis par un réseau de distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l'énergie, provenant de centrales éloignées, par l'intermédiaire du réseau de transport.

Des lignes de distribution à moyenne tension (MT) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir, ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements [4].

1.8. Les lignes électriques :

Le genre de ligne utilisée est imposé par les facteurs suivants :

- ✚ Puissance active à transporter.
- ✚ Distance de transport.
- ✚ Coût.
- ✚ Esthétique, encombrement et facilité d'installation.

Nous distinguons quatre types de ligne :

- ✚ Ligne de distribution à basse tension.
- ✚ Ligne de distribution à moyenne tension.
- ✚ Ligne de transport à haute tension.
- ✚ Ligne de transport à très haute tension.

❖ Lignes de distribution BT :

Ce sont les lignes installées à l'intérieur des édifices, usines et maisons pour alimenter les moteurs, cuisinières, lampes, etc.

❖ Lignes de distribution MT :

Ce sont les lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie d'électricité.

❖ Lignes de transport HT :

Ce sont les lignes relient les postes de transformation principaux aux centrales de génération.

❖ Lignes de transport THT :

Ce sont les lignes qui relient les centrales éloignées aux centres d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000 km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 765 KV [4].

1.9. Type de ligne :

❖ Ligne souterraine :

Les lignes souterraines sont utilisées dans quelques cas particuliers : transport sous-marin, franchissement de sites protégés, alimentation de grandes villes, de métropoles ou autres zones à forte densité de population. Les lignes souterraines sont plus répandues en basse et moyenne tension, moins en haute tension du fait des coûts prohibitifs [6].

❖ Ligne aérienne :

La notion de ligne, comme prédéfini, renferme en soit un ensemble d'aspects relatifs aux éléments constitutifs, aux grandeurs descriptives et aux effets interactifs impliqués. En effet, on distingue les aspects:

- Mécanique, relatif à la construction de la ligne;
- Electrodynamique, relatif aux interactions entre parties conductrices de la ligne;
- électrique (électromagnétique), relatif aux processus de transmission de l'énergie pour lequel le conducteur (phase) est l'élément essentiel,
- D'échange mutuel, relatif aux interactions avec l'environnement...

Pour analyser le processus de transfert de l'énergie électrique la ligne est considérée dans son aspect électromagnétique et peut être représentée par le schéma unifilaire électrique puisque, par construction, les phases sont considérées symétriques et équilibrées [1].

• Composants des lignes aériennes :

Une ligne aérienne est un élément du réseau électrique destiné à transporter l'énergie électrique entre deux ou plusieurs de ses nœuds. La notion de ligne est

générale, aussi bien dans son utilisation que dans sa construction. Elle est utilisée pour le transport, l'alimentation et la distribution de l'énergie électrique ; ainsi que pour l'interconnexion des réseaux régionaux et inter territoriaux. Par ligne aérienne (ou en câble) on sous-entend une installation qui intègre dans sa construction un ensemble de composants.

En effet, une ligne aérienne est composée essentiellement par les éléments suivants:

- Le conducteur,
- L'isolateur (sous forme de guirlande),
- Fil de garde (protection contre la foudre),
- Les pylônes et leur fondation,
- Autres éléments comme poteaux intermédiaires, moyens de fixation et de suspension, installation de protection contre la foudre...

Le fonctionnement de la ligne est conditionné par des interactions électromagnétiques diverses, qui se trouvent à l'origine de tous les changements de son comportement et de ses paramètres. De ce fait, l'impact de ces interactions détermine, de manière fondamentale, aussi bien les caractéristiques du régime que ceux de construction. La détermination des paramètres de construction doit obéir à des considérations non seulement d'ordre technique et économique mais aussi à des considérations de sécurité préventive ; ayant trait à l'être humain et à l'environnement en général. Le niveau nominal de la tension utilisée est un facteur important dans le choix du dimensionnement de la ligne [1].

Les paramètres essentiels de dimensionnement sont (fig. 1. 7)

- La hauteur H du pylône,
- Les distances D et d entre l'axe du pylône et le conducteur et entre conducteurs,
- La longueur de la guirlande d'isolation,
- La portée p entre l'axe du pylône et celui de la guirlande d'isolation,
- La hauteur h entre le point le plus bas du conducteur et la terre,

- Distances L et l entre pylône et entre poteaux intermédiaires,
- La flèche de flexion du conducteur

Les effets interactifs électrodynamiques et électrostatique, engendrés par la propagation du champ électromagnétique le long de la ligne font que ces grandeurs sont normalisées en fonction du niveau de tension, Tab.1. à titre d'exemple. Les grandeurs telles que portée entre pylônes et poteaux intermédiaires, gabarits, consoles de suspension... sont déterminées à partir du traitement des questions relatives à la construction et la résistance mécaniques des lignes [1].

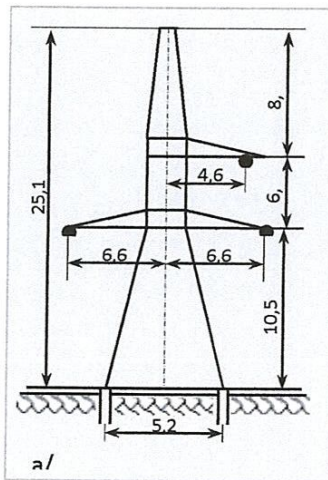
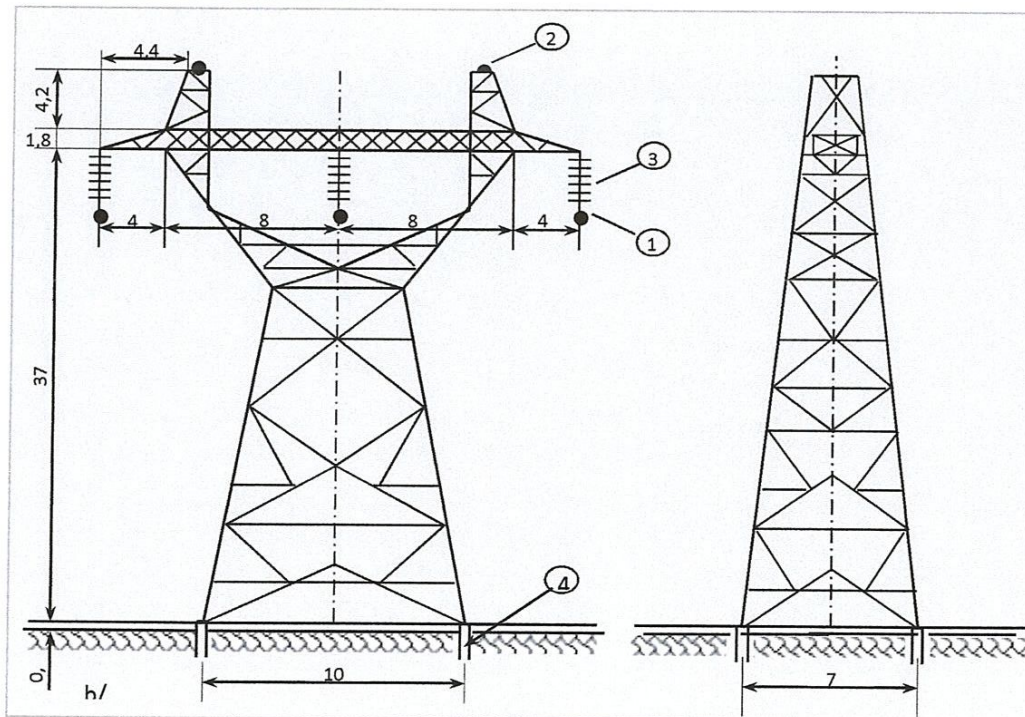


Fig.(1.7). Modèles de pylône de dimensions (m) réelles ; a. - $U_N = 220$ kV, b. - $U_N = 500$ kV, 1. - Conducteur (phase), 2. - Fil de garde, 3. - Isolateur, 4. - Fondations (mise à la terre).



Tb :1.1.

| | | | | |
|--------------|---------------|-----------|------------|------------|
| U, kV | 6 ÷ 10 | 35 | 110 | 220 |
| h, m | 6 ÷ 7 | 6 ÷ 7 | 6 ÷ 7 | 7 ÷ 8 |
| a, m | 0,8 ÷ 1 | 3 ÷ 3,5 | 4 ÷ 4,5 | 5 ÷ 7 |

Les lignes aériennes, dont la somme des longueurs pour un réseau donné se compte par centaines et milliers de kilomètres, subissent des efforts énormes de forces diverses ; auxquelles elles doivent nécessairement résister. Les poids énormes, qui se comptent également par centaines et milliers de tonnes, suspendus et soutenus par les pylônes et poteaux, posent un vrai problème pour l'analyse des comportements mécaniques des lignes. En effet, on distingue les efforts suivants :

- Le poids de la matière suspendue engendre le long du tracé de la ligne des effets de flexion, de flambage, de cisaillement, d'étirage, de fatigue...
- Le gèle et la neige ajoutent un poids supplémentaire et amplifient les effets sus cités,
- Les vibrations engendrées par la présence du vent soumettent les conducteurs à des effets de fatigue qui peuvent se cautionner par des ruptures,
- La variation de la température engendre des contraintes internes dont l'effet se répercute aussi bien sur les paramètres du régime que sur ceux de construction...

Ces aspects sont d'une importance capitale et leur prise en charge, pendant les projets, doit conduire à la fiabilité mécanique requise de fonctionnement de la ligne (du réseau) [1].

La variation de la température, la composition de l'atmosphère ainsi que la pollution environnante (humidité, sel, agent chimique, électrochimique...) introduisent, pendant les études, d'autres contraintes quant au choix des conducteurs. Ainsi, à partir de ces considérations et pour une fiabilité requise, le conducteur à utiliser doit répondre aux quatre propriétés essentielles suivantes :

- Une bonne conductibilité électrique,
- Une grande résistance mécanique,
- Une grande résistance aux effets chimiques et électrochimiques,
- Une disponibilité suffisante de la matière première.

Le conducteur est un élément principal de la ligne. Il est destiné à canaliser le champ électromagnétique, donc l'énergie électrique, suivant un tracé déterminé. Il découle qu'un plus grande capacité de transmettre de l'énergie électrique nécessite une plus grande conductibilité. Cette propriété est d'autant plus importante que les distances de transport sont plus grandes. Conformément à ces exigences, les matériaux généralement utilisés pour la réalisation des conducteurs aériens ;

- L'aluminium et ses alliages,
- Le cuivre et ses alliages,
- L'acier

Les questions relatives à la technologie de traitement et de fabrication des conducteurs sortent des limites de ce travail, mais on peut dire que les fils conducteurs sont obtenus par étirage à froid et doivent présenter une résistance mécanique suffisante.

- **Aluminium :**

On sait que l'aluminium a une bonne conductibilité électrique, mais présente une faible résistance mécanique à la fatigue (voir Tab . 2), ce que le rend, particulièrement, non convenable dans le cas d'apparition des vibrations dues au vent [1].

Les conducteurs à un fil sont généralement utilisés dans les réseaux de basse tension ($U \leq 1$ kV). Ceux à fibres présentent de grands avantages, tels que fiabilité, souplesse et flexibilité, d'où une meilleure interaction avec différentes perturbations mécaniques pendant l'exploitation des lignes. La combinaison de l'acier avec l'aluminium ou le cuivre permet d'atteindre les propriétés sus citées, exigées d'un conducteur pour une meilleure fiabilité dans le sens général. L'acier est installé justement dans la partie centrale du conducteur pour une raison déduite et dictée par les propriétés fondamentales du champ électromagnétique ; en fait, pour les réseaux à courant alternatif, la partie centrale du conducteur n'est pas vraiment conductrice et le matériau y inséré, non chargé alors par la conductibilité, doit assurer la résistance mécanique requise [1].

1.10. Les phénomènes électriques dans les réseaux :

Un réseau électrique est un système composé de différents éléments constituant un support physique d'interaction mutuelles et de transmission de l'énergie électrique. Le fonctionnement de système dans le temps et dans l'espace est le résultat de toutes les interactions, conformément aux lois de l'électricité. Celles-ci sont décrites par des équations qui mettent en relations des paramètres fondamentaux descriptifs et quantitatifs des processus énergétiques, tels primaires comme les tensions, les impédances, le temps et secondaires comme les différents d'onde et autres caractéristiques [3].

Le fonctionnement des systèmes électrique est caractérisé par différentes perturbations (ou phénomènes) qui peuvent être classées, par différents paramètres. En fonction de l'aspect temporelle des réactions du système, on distingue les comportements suivants :

- Discontinuité : suspension momentanée d'alimentation,

- Dynamique rapide : variations brusques et importantes des régimes au niveau des centrales et des consommateurs et au niveau de la structure de de réseau (perturbation fort),
- Dynamique lente : variations lentes des régimes, suite aux variations des graphiques de charge (perturbation faible),
- Stationnaire : régime stable, permanent,
- Electromagnétique conduit : influence de la propagation des ondes Electromagnétiques le long de la ligne,
- Electromagnétique rayonné : manifestation du rayonnement.

Les effets de ces événements (perturbations) se représentent de manière diverses aussi bien sur le réseau que sur les processus ;

- Interruption et coupure de la fourniture d'énergie électrique,
- Creux et variation de tension,
- Courants transitoires,
- Harmonique,
- Courts-circuits,
- Oscillations électromécanique,
- Surtension de manœuvre, de commutation, d'arc et de rétablissement,
- Surtension de foudre,
- Couplage entre courant fort et courant faible.

Les effets listés se manifestent quantitativement en fonction de la nature des réseaux et des exigences d'exploitations [3].

1.11. Le système de protection :

A l'instar des alternateurs, des transformateurs et des lignes, d'autres dispositifs existent, pour assurer, non seulement un fonctionnement normal, mais aussi la protection des équipements et du personnel d'exploitation du réseau. Cela englobe, les transformateurs de mesures, les disjoncteurs, les interrupteurs, les sectionneurs, les fusibles, les éclateurs et sont directement reliés au réseau. Ces dispositifs permettent d'interrompre volontairement, et à tout moment, la fourniture d'énergie électrique, mais aussi, automatiquement à la survenance d'une quelconque perturbation (défaut). Les équipements de contrôle associés à ces dispositifs ainsi que les relais de protection sont installés dans des salles de contrôle.

1.12. Le centre de contrôle ou dispatching :

Pour un fonctionnement fiable et économique d'un réseau d'énergie électrique, il est indispensable de surveiller, contrôler le réseau, dans sa globalité à partir d'un centre de contrôle ou centre de conduite ou encore dispatching (Fig. 8). Les dispatchings modernes sont dits centre de contrôle de l'énergie. Ces derniers sont équipés d'ordinateurs traitant en temps réel les signaux provenant d'un dispositif d'acquisition de données. Ces ordinateurs effectuent leurs traitements de données selon une structure hiérarchique permettant de coordonner, et de répondre, aux différentes exigences, liées aussi bien au fonctionnement normal du réseau, qu'aux situations d'urgences, Ils alertent les opérateurs, dès que toute situation anormale de fonctionnement est décelée, leur permettant ainsi, d'apprécier l'événement, et de prendre les mesures adéquates, en agissant par l'intermédiaire de leur console sur les éléments du réseau et ainsi remédier à cette situation. Des outils de simulation ainsi qu'un ensemble de logiciels, écrit dans un langage de haut niveau, sont implémentés pour assurer un fonctionnement efficace et un contrôle fiable du réseau [2].

Figure 1

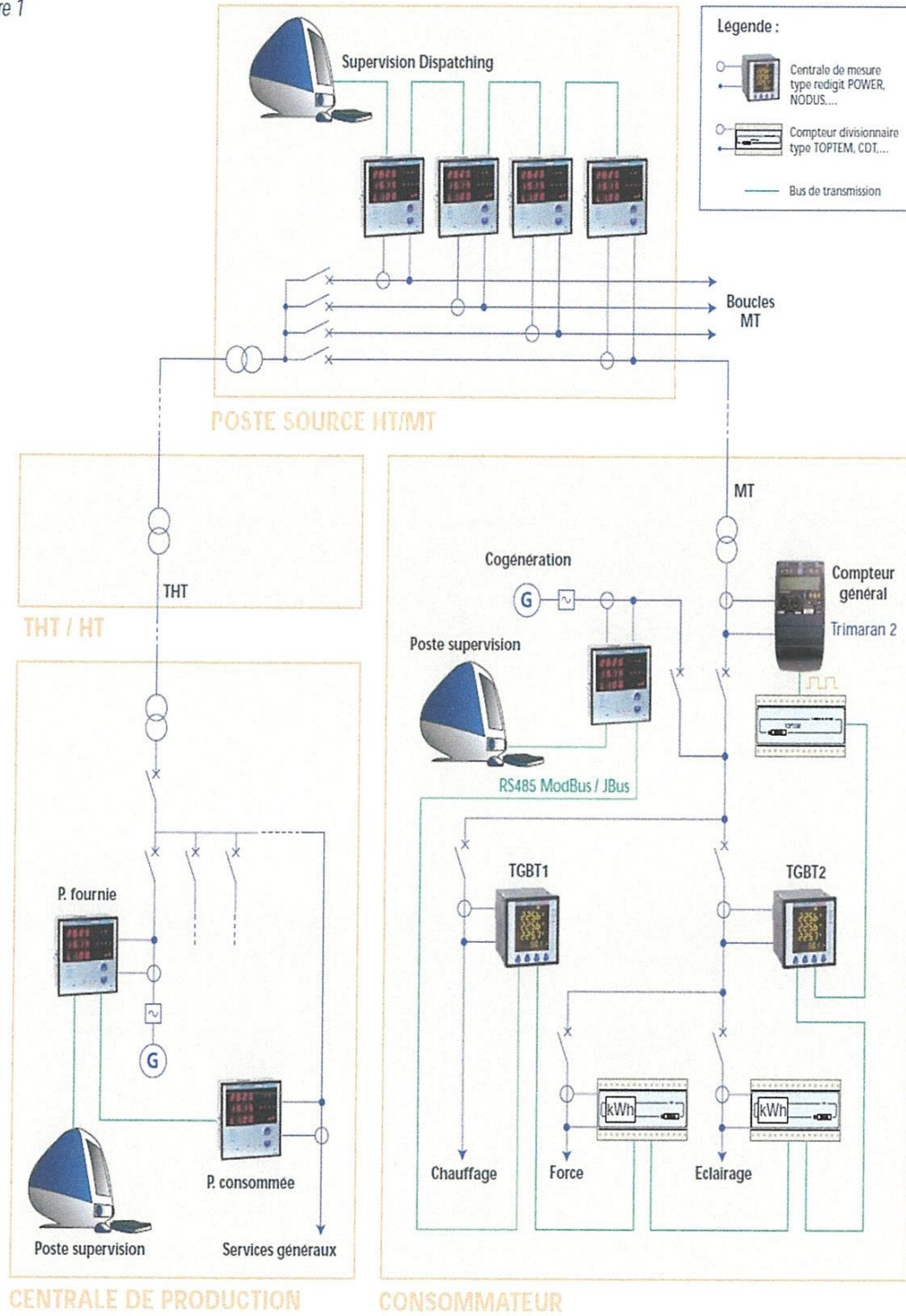


Fig. (1.8) : Centre de contrôle Dispatching.

1.13. Éléments de protection :

❖ Composants des réseaux électriques :

Les réseaux comportent des nœuds électriques où se raccordent les ouvrages : ce sont les postes électriques.

Dans un poste, les ouvrages sont connectés à un jeu de barres. Suivant sa fonction dans le réseau, un poste peut comporter un ou plusieurs jeux de barres. Le raccordement des ouvrages aux jeux de barres se fait au moyen de sectionneurs ; l'établissement ainsi que l'interruption du courant sont réalisés par l'intermédiaire de disjoncteurs.

Enfin, des transformateurs de mesure, transformateurs de courant et transformateurs de tension, équipent les différents ouvrages ; leur rôle est de réduire les courants et tensions réels des réseaux à des valeurs utilisables par les protections.

Les différents composants des réseaux sont conçus, construits et entretenus de façon à réaliser le meilleur compromis entre coût et risque de défaillance. Ce risque n'est donc pas nul et des incidents ou défauts viennent perturber le fonctionnement des installation :

- ✚ **Les lignes aériennes** sont soumises aux perturbations atmosphériques (foudre, tempêtes, etc.). Certaines régions, régions montagneuses par exemple, sont beaucoup plus exposées que d'autres à la foudre ; selon les niveaux de tension, celle-ci est responsable de 60 à plus de 80 % des défauts.
- ✚ **Les câbles souterrains** sont exposés aux agressions extérieures (d'engins mécaniques de terrassement par exemple) qui entraînent systématiquement des défauts permanents.
- ✚ **Les matériels de réseaux et de postes** comportent des isolants (solides, liquides ou gaz) constitués d'assemblages plus ou moins complexes placés entre parties sous tension et masse [2].

❖ Conséquences des défauts :

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à redouter sur les réseaux HT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance.

Les courts-circuits, surtout lorsqu'ils sont polyphasés et proches des centrales, entraînent une rupture de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur ; s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme préjudiciables aux matériels.

Des temps d'élimination des courts-circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont en général considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux HT.

❖ Tenue des matériels :

Les courts-circuits provoquent des surintensités violentes qui, dans le cas de défauts triphasés, peuvent dépasser 20 à 30 fois le courant de service normal. Ces surintensités amènent deux types de contraintes :

- ✚ Des contraintes thermiques dues au dégagement de chaleur par effet Joule dans les conducteurs ;
- ✚ Des contraintes mécaniques dues aux efforts électrodynamiques ; ceux-ci entraînent notamment le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs ; ces efforts, s'ils dépassent les limites admises lors de la construction, sont souvent à l'origine d'avaries graves. De plus, l'arc électrique consécutif à un court-circuit met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer des dégâts importants aux matériels et même être dangereux pour le personnel travaillant à proximité. C'est le cas, par exemple, des matériels sous enveloppe métallique sur lesquels les courts-circuits internes sont susceptibles d'entraîner le percement des enveloppes [2].

❖ Qualité de la fourniture :

Dans la plupart des cas, les courts-circuits se traduisent pour les utilisateurs par des chutes de tension dont l'amplitude et la durée sont fonction de différents facteurs tels que nature du court-circuit, structure du réseau affecté, mode d'exploitation du réseau, mode de mise à la terre du neutre, performances des protections, etc.; ces perturbations peuvent aller du creux de tension ou de la microcoupure jusqu'à l'interruption complète de fourniture.

1.14. Élimination des défauts :

Pour remplir leur rôle, les protections doivent :

- ✚ Détecter la présence d'un défaut ;
- ✚ Identifier l'ouvrage atteint ;
- ✚ Commander les organes de coupure, dont l'ouverture conduira à l'isolement de cet ouvrage (seulement celui-là) par rapport au reste du réseau [2].

Deuxième Chapitre

Elaboration d'un réseau électrique

2.1. Données initiales du réseau :

Le réseau à élaborer doit assurer l'interconnexion de cinq (5) centres de consommation. Ces derniers sont représentés par les charges de puissance S_1, S_2, S_3, S_4 et S_5

Dans ce chapitre, le travail consiste à déterminer le schéma le plus adéquat pour l'alimentation des 5 centres de charge à partir d'une source donnée. Les conditions du choix de ce schéma doivent se conformer à des critères technico-économiques. Le lieu d'implantation de la source d'énergie donnée peut ne pas répondre à ces critères. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'installer un poste local dans le lieu le plus adéquat, défini comme centre "de gravité" des charges. Ce lieu est généralement déterminé dans une étape préliminaire à partir de l'équilibre des moments électriques de toutes les charges en interaction. La procédure consiste donc à représenter les charges par leurs coordonnées dans un repère orthogonal; ensuite à partir d'un plan d'implantation réel des charges et en utilisant une échelle convenable, on représente le plan des charges comme montré sur la figure (2.1). Sur cette figure la source S_A est donc donnée par ces coordonnées ($x_A=$, $y_A=$). Pour plus de possibilités, il est nécessaire de considérer le cas ($y_a=$) installation d'un poste local dans le centre des charges. Le traitement et l'étude du projet exigent les données initiales suivantes [3].

Tb :2.1

| S_i (MVA) | P_i (PW) | Q_i (MVAR) | X_i (Km) | Y_i (Km) |
|-------------|------------|--------------|------------|------------|
| S_1 | 80 | 60 | 86 | 236 |
| S_2 | 50 | 50 | 42 | 78 |
| S_3 | 60 | 40 | 68 | 276 |
| S_4 | 60 | 50 | 158 | 38 |
| S_5 | 60 | 70 | 350 | 174 |

Données initiales du réseau à étudier.

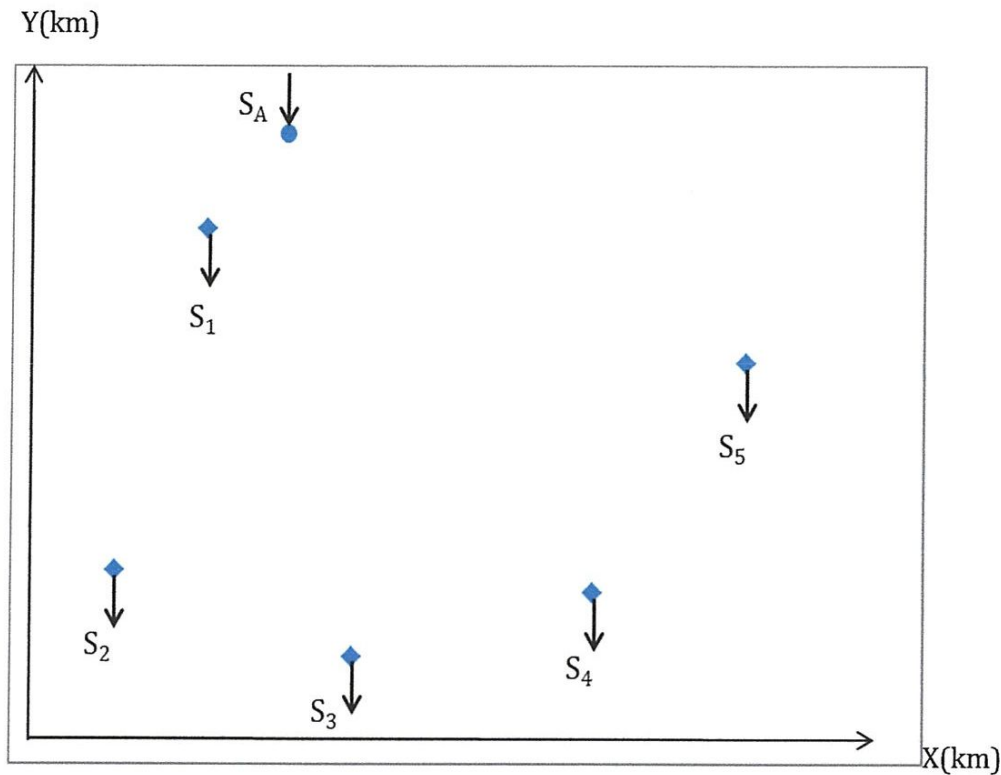


Fig. (2.1) : plan de charge

Le centre des charges peut être déterminé par la notion des moments électriques comme suit.

$$X_S = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i} = \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3 + P_4 X_4 + P_5 X_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5}$$

$$Y_S = \frac{\sum P_i Y_i}{\sum P_i} = \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + P_3 Y_3 + P_4 Y_4 + P_5 Y_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5}$$

L'application numérique donne :

$$X_S = 140,45 \text{ Km}$$

$$Y_S = 167,93 \text{ Km}$$

$$(x_s, y_s) = (7,02, 8,39) \text{ cm}$$

On détermine ainsi le lieu du poste local (S_B) du centre des charges de coordonnées $(x_B, y_B) = (140,45, 167,93)$ Km. Mais pour rendre commode la formation des variantes de schéma, le lieu peut être déplacé de manière plus convenable. Dans le cas traité on retient le lieu déterminé [3].

Y(km)

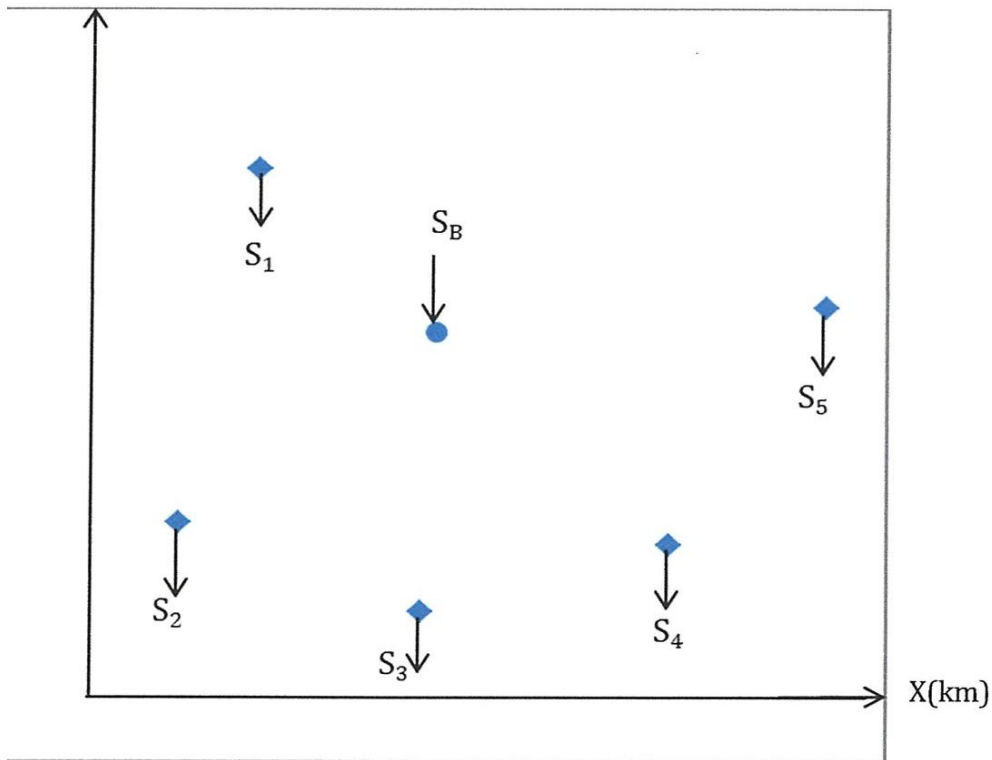


Fig. (2.1) : plan de charge

2.2. choix de la tension nominal :

Le niveau de tension à utiliser dépend de la puissance à transmettre et de la longueur de transmission. Pour une longueur et une puissance données, la tension ne doit pas être inférieure à une valeur déterminée.

Le choix de la tension nominale est effectué à partir d'une analyse technico-économique [7].

En pratique le choix de la tension peut s'effectuer par les expressions suivantes : dans lesquelles on tient compte de ce dernier critère ;

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{L(Km) + 0,016 \cdot P(KW)}$$

Pour $L \leq 250$ Km

$$P \leq 60 \text{ MW}$$

$$U = \sqrt{P(KW) \cdot [0,1 + 0,015 \cdot \sqrt{L(Km)}]}$$

Pour $L \leq 1000$ Km

$$P > 60 \text{ MW}$$

Tb :2.2.

| | L _{A1} | L _{A2} | L _{A3} | L _{A4} | L _{A5} |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| P (MW) | 80 | 50 | 60 | 60 | 60 |
| L (Km) | 30 | 216 | 242 | 248 | 144 |
| U (KV) | 157,08 | 138,33 | 150,46 | 150,84 | 144,20 |

On choisit alors la tension nominal juste supérieure aux valeurs calculées :

$$U_N = 220 \text{ KV}$$

2.3. Choix des variantes de configuration du réseau :

Le choix de la configuration du réseau de transport doit répondre essentiellement aux conditions suivantes ;

- Dépense réduites minimales (critère technico-économique).
- Continuité du service des récepteurs en cas d'incidents au niveau du réseau.
Exemple (coupure de ligne, court-circuit...) [8].

2.3.1 Fiabilité de fonctionnement :

Une procédure, généralement usitée, consiste à déterminer un certain nombre de variantes équivalentes du point de vue continuité de service et fiabilité ; ensuite à opérer une analyse comparative par rapport aux dépenses, réduites minimales (critère techno-économique) pour arrêter le choix final du modèle à élaborer.

Cette procédure se particularise par sa simplicité et donne des résultats largement satisfaisants.

Il existe d'autres méthodes de détermination de la configuration optimale du réseau et d'autres conditions complémentaires pour renforcer sa fiabilité.

Dans le soucis de recherché le modèle, éventuellement le plus adéquat ; on se propose d'étudier et de comparer des deux possibilités offertes :

- Le réseau régional est alimenté à parti du réseau de transport passant à proximité de la région, (source S_A).
- Le réseau en question et alimenté à parti d'une source locale (S_B), installée au centre des charges; laquelle est alimentée par la source "A".

Dans cette deuxième possibilité, il est nécessaire d'adjoindre et de soumettre à l'analyse comparative l'étude du réseau de liaison entre les deux sources.

2.3.2. Détermination des paramètres des différents variantes :

Du fait qui le réseau est au stade de l'étude les paramètres du système sont à choisir à partir du choix de la section ; laquelle doit-être déterminé à partir des puissances de circulation dans les lignes.

Dans ces conditions, il est d'usage que le puissance de ligne soient calculées en supposant que dans cette première étape d'étude, la tension des nœuds est en moyenne égale à la tension nominale et que toutes les branches ont la même section et sont données simplement par leurs longueurs. Ces condition font également que les pertes de puissance respective des lignes ne sont prises en compte qu'après la détermination des paramètre des lignes [9].

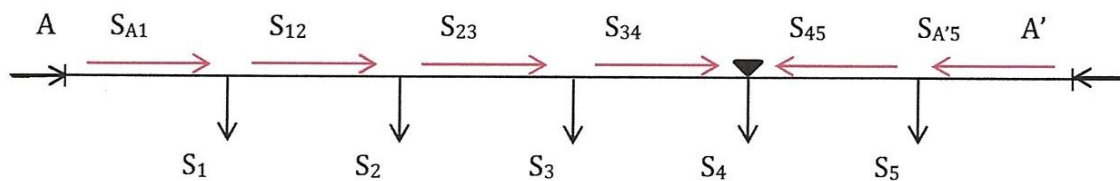
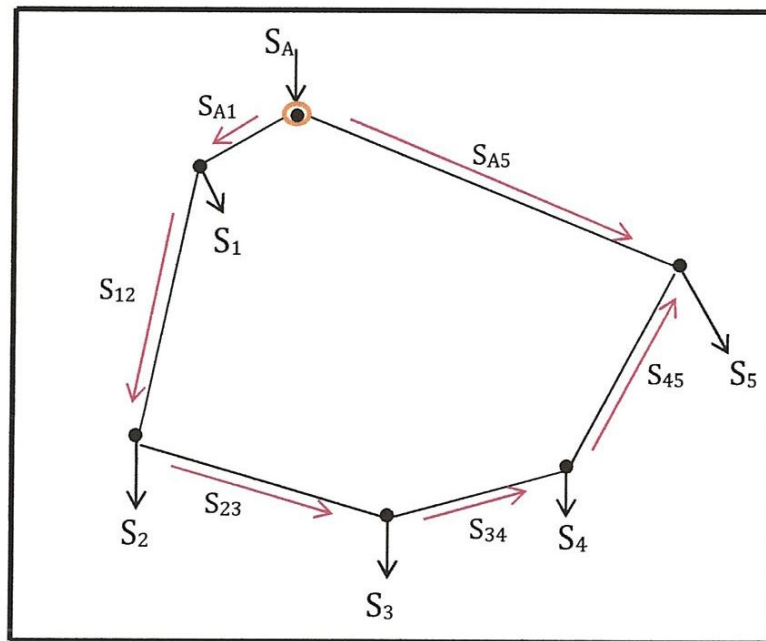
❖ Premier cas :

Il est proposé à l'étude, aux calculs et à la comparaison trois configurations du réseau général.

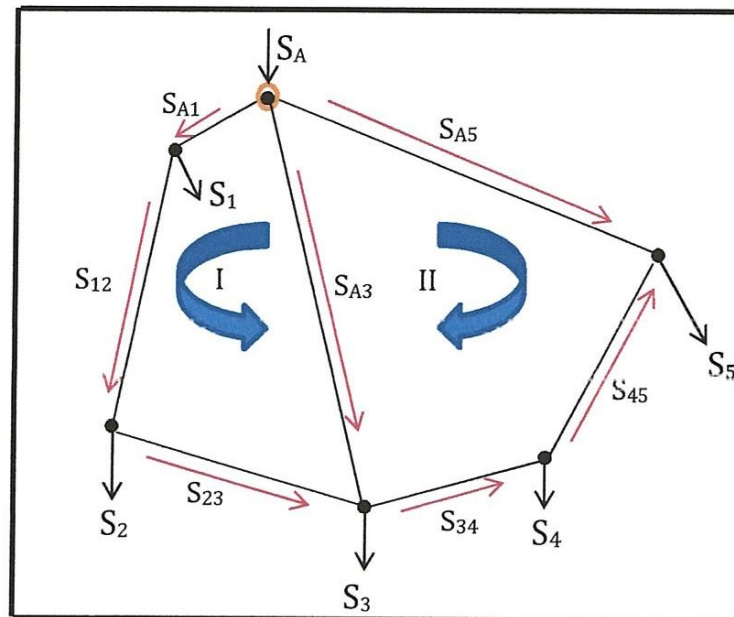
Tb :2.3.

| | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | L_{A1} | L_{12} | L_{23} | L_{34} | L_{45} | L_{A5} | L_{A4} | L_{A2} | L_{A3} |
| | 30 | 164 | 124 | 120 | 130 | 250 | 220 | 184 | 240 |

Premier variante :



Deuxième variante :



En se propose d'utiliser la méthode des puissances de contour. Pour déterminer ce nombre de contour un dépendants on doit déterminer d'abord le nombre de ligne (N_L) et nombre de nœud (N_n).

Pour chaque contour choisi on donne une inconnue à déterminer ; soit S_x et S_y . Les autres puissances de ligne s'expriment(voir le schéma) ;

$$N_C = N_L - N_N$$

$$N_L = 3, N_N = 1$$

$$\Rightarrow N_C = 2$$

$$S_{12} = S_x - S_1 \quad (1)$$

$$S_{23} = S_x - S_1 - S_2 \quad (2)$$

$$S_{45} = S_y + S_4 \quad (3)$$

$$S_{A5} = S_y + S_4 + S_5 \quad (4)$$

$$S_{A3} = S_3 - S_y - S_x + S_1 + S_2 \quad (5)$$

Pour chaque contour on définit une équation :

$$\text{Contour I : } S_x I_{A1} + S_{12} I_{12} + S_{23} I_{23} - S_{A3} I_{A3} = 0 \quad (6)$$

$$\text{Contour II : } S_{A5} I_{A5} + S_{45} I_{45} + S_y I_{34} - S_{A3} I_{A3} = 0 \quad (7)$$

en remplacer (1), (2) et (5) dans (6)

$$\text{On a : } S_x I_{A1} + (S_x - S_1) I_{12} + (S_x - S_1 - S_2) I_{23} - (S_1 + S_2 + S_3 - S_y - S_x) I_{A3} = 0$$

$$\Rightarrow S_x (I_{A1} + I_{23} + I_{12} + I_{A3}) + S_y I_{A3} - S_1 (I_{12} + I_{23} + I_{A3}) - S_2 (I_{23} + I_{A3}) - S_3 I_{A3} = 0$$

$$S_x (558) + S_y (240) - (80 + j 60) 528 - (50 + j 50) 364 - (60 + j 50) 240 = 0$$

$$(558) S_x + (240) S_y = 74840 + j 59480 \quad (8)$$

en remplacer (4), (3) et (5) dans (7)

$$\text{On a : } S_y I_{34} + (S_y + S_4 + S_5) I_{A5} + (S_y + S_4) I_{45} - (S_3 + S_1 + S_2 - S_y - S_x) I_{A3} = 0$$

$$\Rightarrow S_x I_{A3} + S_y (I_{34} + I_{A5} + I_{45} + I_{A3}) - S_1 I_{A3} - S_2 I_{A3} + (I_{A5} + I_{45}) S_4 + S_5 I_{A5} = 0$$

$$S_x (240) + S_y (740) - (80 + j 60) 240 - (50 + j 50) 240 + (60 + j 50) 380 + (60 + j 70) = 0$$

$$(240) S_x + (740) S_y = -6600 - j 10100 \quad (9)$$

$$\begin{cases} (558) S_x + (240) S_y = 74840 + j 59480 \\ (240) S_x + (740) S_y = -6600 - j 10100 \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_x + (0,430) S_y = 134,121 + j 106,594 \\ S_x + (3,0833) S_y = -27,5 - j 42,083 \end{cases}$$

$$S_x = \frac{\Delta x}{\Delta} \quad , \quad S_y = \frac{\Delta y}{\Delta}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0,430 \\ 1 & 3,083 \end{vmatrix} = 2,61$$

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} 134,121 + j 106,594 & 0,430 \\ -27,50 - j 42,083 & 3,083 \end{vmatrix} = 425,320 + j 346,720$$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} 1 & 134,121 + j 106,594 \\ 1 & -27,50 - j 42,083 \end{vmatrix} = -161,621 - j 148,677$$

$$S_x = \frac{\Delta_x}{\Delta} = \frac{425,320 + j 346,720}{2,61} = 162,957 + j 132,842$$

$$S_y = \frac{\Delta_y}{\Delta} = \frac{-161,621 - j 148,677}{2,61} = -61,923 - j 56,964$$

Les grandeurs S_x et S_y permettent ensuite, de calculs toutes les autres puissances de ligne.

$$S_{12} = S_x - S_1 = 162,957 + j 132,842 - 80 - j 60 = 82,957 + j 72,842$$

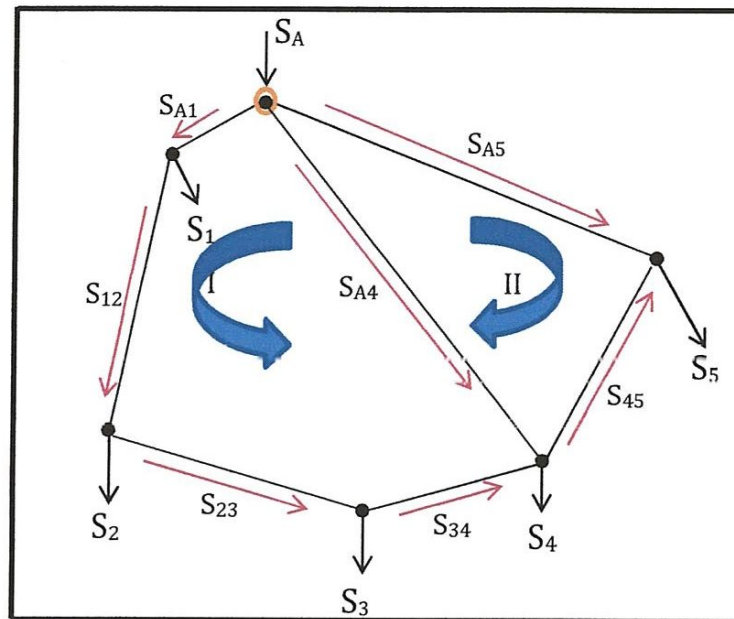
$$S_{23} = S_x - S_1 - S_2 = 32,957 + j 22,842$$

$$S_{45} = -61,923 - j 56,964 + 60 + j 50 = -1,923 - j 6,964$$

$$S_{A5} = S_y + S_4 + S_5 = 58,068 + j 63,036$$

$$S_{A3} = S_3 + S_2 + S_1 - S_x - S_y = 88,966 + j 74,122$$

Troisième variante :



$$N_C = N_L - N_n$$

$$N_L = 3, \quad N_n = 1$$

$$\Rightarrow N_C = 2$$

$$S_{12} = S_x - S_1 \quad (1)$$

$$S_{23} = S_x - S_1 - S_2 \quad (2)$$

$$S_{34} = S_x - S_1 - S_2 - S_3 \quad (3)$$

$$S_{A5} = S_y + S_5 \quad (4)$$

$$S_{A4} = S_4 + S_1 + S_2 + S_3 - S_x - S_y \quad (5)$$

Pour chaque contour on définit une équation :

$$\text{Contour I : } S_x l_{A1} + S_{12} l_{12} + S_{23} l_{23} + S_{34} l_{34} - S_{A4} l_{A4} = 0 \quad (6)$$

$$\text{Contour II : } S_{A5} l_{A5} + S_y l_{45} - S_{A4} l_{A4} = 0 \quad (7)$$

en remplacer (1), (2), (3) et (5) dans (6)

$$\text{On a : } S_x I_{A1} + (S_x - S_1) I_{12} + (S_x - S_1 - S_2) I_{23} + (S_x - S_1 - S_2 - S_3) I_{34} - (S_4 + S_1 + S_2 + S_3 - S_x - S_y) I_{A4} = 0$$

$$\Rightarrow S_x (I_{A1} + I_{12} + I_{23} + I_{34} + I_{A4}) + S_y I_{A4} - S_1 (I_{12} + I_{23} + I_{34} + I_{A4}) - S_2 (I_{23} + I_{34} + I_{A4}) - S_3 (I_{34} + I_{A4}) - S_4 I_{A4} = 0$$

$$S_x (658) + S_y (220) - (80 + j 60) 628 - (50 + j 50) 464 - (60 + j 40) 340 - (60 + j 50) 220 = 0$$

$$(658) S_x + (220) S_y = 107040 + j 85480 \quad (8)$$

en remplacer (4) et (5) dans (7)

$$\text{On a : } (S_y + S_5) I_{A5} + S_y I_{45} - (S_4 + S_1 + S_2 + S_3 + S_x - S_y) I_{A4} = 0$$

$$\Rightarrow S_x I_{A4} + S_y (I_{A5} + I_{45} + I_{A4}) - (S_4 + S_1 + S_2 + S_3) I_{A4} + S_5 I_{A5} = 0$$

$$S_x (220) + S_y (600) - 40600 + j 26500 = 0 \quad (9)$$

$$\begin{cases} (658) S_x + (220) S_y = 107040 + j 85480 \\ (220) S_x + (600) S_y = 40800 + j 26500 \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_x + (0,334) S_y = 126,674 + j 129,808 \\ S_x + (2,727) S_y = 184,545 + j 120,454 \end{cases}$$

$$S_x = \frac{\Delta x}{\Delta} \quad , \quad S_y = \frac{\Delta y}{\Delta}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0,334 \\ 1 & 2,727 \end{vmatrix} = 2,393$$

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} 126,674 + j 129,808 & 0,334 \\ 184,545 + j 120,454 & 2,727 \end{vmatrix} = 283,801 + j 313,754$$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} 1 & 184,545 + j 120,454 \\ 1 & 126,674 + j 129,808 \end{vmatrix} = -138,485 - j 22,384$$

$$S_x = \frac{\Delta_x}{\Delta} = \frac{283,801 + j 113,754}{2,393} = 118,596 + j 131,113$$

$$S_y = \frac{\Delta_y}{\Delta} = \frac{-138,485 - j 22,384}{2,393} = -57,871 - j 9,354$$

$$S_{A1} = 118,596 + j 131,113$$

$$S_{12} = 38,596 + j 71,113$$

$$S_{23} = -11,404 + j 21,113$$

$$S_{34} = -71,404 - j 18,887$$

$$S_{45} = -57,871 - j 9,354$$

$$S_{A4} = 189,275 + j 78,241$$

$$S_{A5} = 2,129 + j 60,646$$

2.4. Comparaison des variantes :

2.4.1 Choix des sections des conducteurs :

Les choix de la section des conducteurs doit être fait conformément à un critère techno-économique. Pour cela on doit développer une analyse techno-économique basée sur les dépenses réduites annuelles (D_r) pour laquelle on doit rechercher le minimum ($D_r = \min$).

La section économique calculée à partir de D_r doit répondre aux conditions limites admissibles concernant les effets suivants :

- Echauffement.
- Effet couronne.
- Chute de tension admissible (pertes de tension).

On peut faire le choix le section des conducteurs d'après la densité économique du courant selon la formule suivante :

$$F = \frac{I_{\max}}{J_{\text{eco}}}$$

Ou :

I_{\max} : courant de ligne correspondant au régime maximal de charge définie par :

$$I_{\max} = \frac{S}{\sqrt{3} U_n}$$

J_{eco} : densité économique A/m².

F : section du conducteur m².

La valeur de la densité économique doit être déterminée conformément au minimum des dépenses réduites du réseau.

Cette dernière dépend de plusieurs facteurs.

- Le temps d'utilisation de la charge maximale T_{\max} .
- Le type du réseau électrique. Pour un réseau de transport amant le graphique de charge est plus rempli que celui d'un réseau de distribution [8].

Ces considérations permettent de choisir $J = 1$ A/m².

Ainsi le calcul des puissances de ligne permet de choisir les sections des conducteurs de toutes les variantes :

➤ **Première proposition :**

Tb :2.4.

| Première variante | | | | |
|---------------------------|---------------------|--------------|----------------------------|-------------|
| La ligne | S (MVA) | I (A) | F (m m²) | Type |
| A - 1 | 198,092 + j 165,012 | 676,595 | 676,595 | ACO-700 |
| 1 - 2 | 118,092 + j 105,012 | 414,720 | 414,720 | ACO-500 |
| 2 - 3 | 68,092 + j 55,012 | 229,727 | 229,727 | ACO-240 |
| 3 - 4 | 8,092 + j 15,012 | 44,755 | 44,755 | ACO-240 |
| 4 - 5 | 51,907 + j 34,987 | 164,275 | 164,275 | ACO-240 |
| 5 - A' | 111,907 + j 104,987 | 402,690 | 402,690 | ACO-400 |
| Deuxième variante | | | | |
| A - 1 | 162,957 + j 132,842 | 551,745 | 551,745 | ACO-600 |
| 1 - 2 | 82,957 + j 72,842 | 289,721 | 289,721 | ACO-300 |
| 2 - 3 | 32,957 + j 22,842 | 105,232 | 105,232 | ACO-240 |
| 3 - 4 | -61,923 - j 56,964 | 220,825 | 220,825 | ACO-240 |
| 4 - 5 | -101,923 - j 06,964 | 268,102 | 268,102 | ACO-300 |
| 5 - A | 58,068 + j 63,036 | 224,919 | 224,919 | ACO-240 |
| A - 3 | 88,966 + j 74,122 | 303,890 | 303,890 | ACO-300 |
| Troisième variante | | | | |
| A - 1 | 118,596 + j 131,113 | 463,961 | 463,961 | ACO-500 |
| 1 - 2 | 38,596 + j 71,113 | 212,338 | 212,338 | ACO-240 |
| 2 - 3 | -11,404 + j 21,113 | 62,973 | 62,973 | ACO-240 |
| 3 - 4 | -71,404 - j 18,887 | 193,831 | 193,831 | ACO-240 |
| 4 - 5 | -57,871 - j 9,354 | 153,843 | 153,843 | ACO-240 |
| 4 - A | 189,275 + j 78,241 | 537,485 | 537,485 | ACO-600 |
| 5 - A | 2,129 + j 60,646 | 159,253 | 159,253 | ACO240 |

2.4.2 Détermination des paramètres des lignes :

D'après le tableau des résultats du choix des section et à l'aide des abaques des paramètres linéiques normalisés on obtient les tableaux suivants :

Tb :2.5.

| Première variante | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|---------|---|--------------------------|--------------------------|---|-------------------|-------------------|--|
| Ligne | L(K m) | Type | n | r_0 (Ω /Km) | x_0 (Ω /Km) | $b_0 \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1} /Km) | r (Ω) | x (Ω) | $b \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1}) |
| A - 1 | 30 | ACO-700 | 1 | 0,16 | 0,828 | 1,365 | 4,8 | 24,84 | 40,95 |
| | | | 2 | 0,08 | 0,602 | 1,88 | 2,4 | 18,06 | 56,40 |
| 1 - 2 | 164 | ACO-500 | 1 | 0,065 | 0,410 | 2,79 | 10,66 | 67,24 | 457,56 |
| | | | 2 | 0,032 | 0,305 | 3,70 | 5,24 | 50,02 | 606,80 |
| 2 - 3 | 124 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,12 | 53,32 | 329,84 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,06 | 38,31 | 451,36 |
| 3 - 4 | 120 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 15,60 | 51,60 | 436,20 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 7,80 | 37,08 | 352,30 |
| 4 - 5 | 130 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,90 | 55,90 | 345,80 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,45 | 40,17 | 472,20 |
| 5 - A | 250 | ACO-400 | 1 | 0,080 | 0,414 | 2,73 | 20 | 103,50 | 682,50 |
| | | | 2 | 0,040 | 0,301 | 3,76 | 10 | 75,25 | 940,00 |

2.4.3 Les pertes de puissances :

Les pertes de puissances dans les lignes peuvent être calculés comme suit :

$$\Delta S = \frac{S^2}{U_N^2} (r + jx) = \frac{S^2}{U_N^2} r + j \frac{S^2}{U_N^2} x \quad \text{MVA}$$

Ce qui implique :

$$\Delta P = \frac{S^2}{U_N^2} r \quad \Delta Q = \frac{S^2}{U_N^2} x$$

Tb :2.8.

| Première variante | | | | | | | |
|-------------------|---|---------------------|-------|--------|--------|---------|--------------------|
| Ligne | n | S (MVA) | r (Ω) | x (Ω) | ΔP(MW) | ΔQ(MVA) | ΔS (MVA) |
| A - 1 | 1 | 198,092 + j 165,012 | 4,8 | 24,84 | 6,592 | 34,113 | 6,592 + j 34,113 |
| | 2 | | 2,4 | 18,06 | 3,296 | 24,802 | 3,296 + j 24,802 |
| 1 - 2 | 1 | 118,092 + j 105,012 | 10,66 | 67,24 | 5,500 | 34,694 | 5,500 + j 34,694 |
| | 2 | | 5,24 | 50,02 | 2,707 | 25,809 | 2,707 + j 25,809 |
| 2 - 3 | 1 | 68,092 + j 55,012 | 16,12 | 53,32 | 2,552 | 8,441 | 2,552 + j 8,441 |
| | 2 | | 8,06 | 38,31 | 1,276 | 6,066 | 1,276 + j 6,066 |
| 3 - 4 | 1 | 08,092 + j 15,012 | 15,60 | 51,60 | 0,093 | 0,310 | 0,093 + j 0,310 |
| | 2 | | 7,80 | 37,08 | 0,046 | 0,222 | 0,046 + j 0,222 |
| 4 - 5 | 1 | 51,907 + j 34,987 | 16,90 | 55,90 | 1,368 | 4,525 | 1,368 + j 4,525 |
| | 2 | | 8,45 | 40,17 | 0,684 | 3,252 | 0,684 + j 3,252 |
| 5 - A | 1 | 111,907 + j 104,987 | 20 | 103,50 | 9,729 | 50,350 | 9,729 + j 50,350 |
| | 2 | | 10 | 75,25 | 4,864 | 36,607 | 4,864 + j 36,607 |
| Total | 1 | | | | 25,834 | 132,433 | 25,834 + j 132,433 |
| | 2 | | | | 12,873 | 97,031 | 12,873 + j 97,031 |

Tb :2.9.

| Deuxième variante | | | | | | | |
|-------------------|---|---------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Ligne | n | S (MVA) | r (Ω) | x (Ω) | ΔP (MW) | ΔQ (MVA) | ΔS (MVA) |
| A - 1 | | 162,957 + j 132,842 | 1,59 | 12,09 | 1,452 | 11,041 | 1,452 + j11,041 |
| 1 - 2 | 1 | 82,957 + j 72,842 | 17,71 | 69,20 | 4,460 | 17,427 | 4,460 + j17,427 |
| | 2 | | 8,85 | 50,18 | 2,230 | 12,637 | 2,230 + j12,637 |
| 2 - 3 | 1 | 32,957 + j 22,842 | 16,12 | 53,32 | 0,535 | 1,771 | 0,535 + j1,771 |
| | 2 | | 8,06 | 38,31 | 0,276 | 1,272 | 0,276 + j1,272 |
| 3 - 4 | | -61,923 - j 56,964 | 15,60 | 51,60 | 2,281 | 7,547 | 2,281 + j7,547 |
| | 2 | | 7,80 | 37,08 | 1,140 | 5,423 | 1,140 + j5,423 |
| 4 - 5 | 1 | -101,923 - j 06,964 | 14,04 | 54,86 | 3,027 | 11,829 | 3,027 + j11,829 |
| | 2 | | 7,02 | 39,78 | 1,513 | 8,578 | 1,513 + j8,578 |
| 5 - A | 1 | 58,068 + j 63,036 | 32,50 | 107,50 | 4,932 | 16,314 | 4,932 + j16,314 |
| | 2 | | 16,25 | 77,25 | 2,466 | 11,723 | 2,466 + j11,723 |
| A - 3 | 1 | 88,966 + j 74,122 | 25,92 | 101,28 | 7,181 | 28,059 | 7,181 + j28,059 |
| | 2 | | 12,96 | 73,44 | 3,590 | 20,346 | 3,590 + j20,346 |
| Total | 1 | | | | 23,868 | 93,988 | 23,868 + j93,988 |
| | 2 | | | | 12,658 | 71,02 | 12,658 + j71,02 |

Tb :2.10.

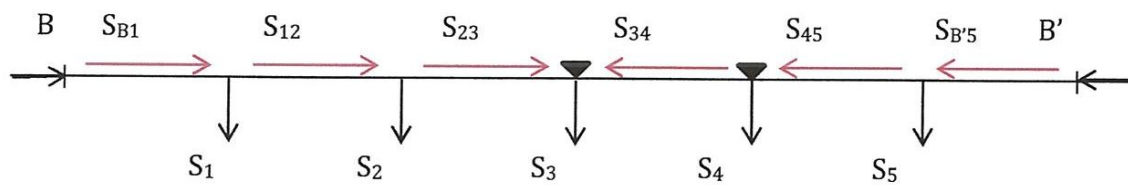
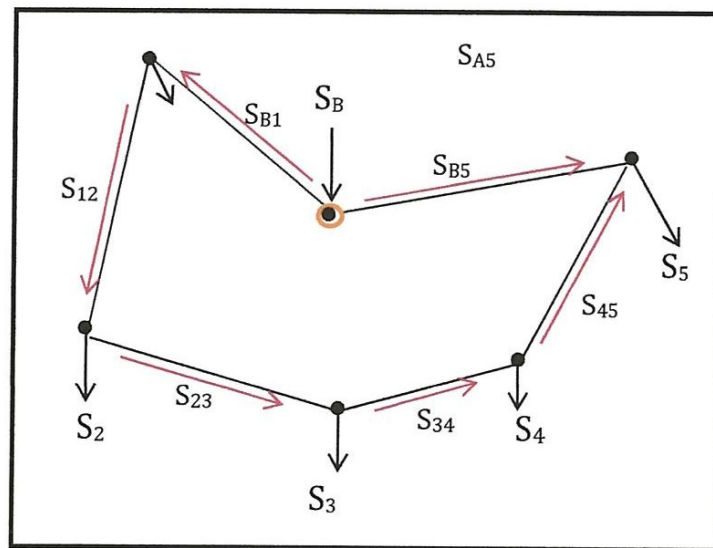
| Troisième variante | | | | | | | |
|--------------------|---|---------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Ligne | n | S (MVA) | r (Ω) | x (Ω) | ΔP (MW) | ΔQ (MVA) | ΔS (MVA) |
| A - 1 | 1 | 38,596 + j 71,113 | 1,95 | 12,30 | 0,263 | 1,533 | 0,263 + j 1,533 |
| | 2 | | 0,96 | 9,15 | 0,198 | 1,140 | 0,198 + j 1,140 |
| 1 - 2 | 1 | 118,596 + j 131,113 | 21,32 | 70,52 | 13,767 | 45,669 | 13,767 + j 45,669 |
| | 2 | | 10,66 | 50,67 | 6,883 | 32,725 | 6,883 + j 32,725 |
| 2 - 3 | 1 | -11,404 + j 21,113 | 16,12 | 53,32 | 0,191 | 0,634 | 0,191 + j 0,634 |
| | 2 | | 8,06 | 38,31 | 0,095 | 0,455 | 0,095 + j 0,455 |
| 3 - 4 | 1 | -71,404 - j 18,887 | 15,60 | 51,60 | 1,758 | 5,815 | 1,758 + j 5,815 |
| | 2 | | 7,80 | 37,08 | 0,879 | 4,179 | 0,879 + j 4,179 |
| 4 - 5 | 1 | -57,871 - j 9,354 | 16,90 | 55,90 | 1,199 | 3,969 | 1,199 + j 3,969 |
| | 2 | | 8,45 | 40,17 | 0,599 | 2,852 | 0,599 + j 2,852 |
| 5 - A | 1 | 2,129 + j 60,646 | 32,50 | 107,50 | 2,472 | 8,179 | 2,472 + j 8,179 |
| | 2 | | 16,25 | 77,25 | 1,236 | 5,877 | 1,236 + j 5,877 |
| 4 - A | 1 | 189,275 + j 78,241 | 11,66 | 88,66 | 10,067 | 76,553 | 10,067 + j 76,553 |
| Total | 1 | | | | 29,717 | 142,352 | 29,717 + j 142,352 |
| | 2 | | | | 19,957 | 123,781 | 19,957 + j 123,781 |

❖ Deuxième cas :

Tb :2.11.

| Ligne | L_{B1} | L_{12} | L_{23} | L_{34} | L_{45} | L_{B5} | L_{B3} | L_{B4} | L_{B2} |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| L(km) | 90 | 164 | 124 | 120 | 130 | 210 | 130 | 170 | 134 |

Première variante :



$$S_{B1} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \hat{Z}_{iB'}}{\hat{Z}_{BB'}} + \frac{(\hat{U}_B + \hat{U}_{B'})}{\hat{Z}_{BB'}} U_N$$

Et comme : $U_B = U_{B'}$ et $r_0 + x_0 = \text{cts}$

On aura :

$$S_{B1} = \frac{S_1 l_{1B'} + S_2 l_{2B'} + S_3 l_{3B'} + S_4 l_{4B'} + S_5 l_{B'5}}{l_{BB'}}$$

$$S_{B1} = \frac{(80 + j60)748 + (50 + j50)584 + (60 + j40)460 + (60 + j50)340 + (60 + j70)210}{838}$$

$$S_{B1} = 178,568 + j148,186 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{B'5} = \frac{(60 + j70)628 + (60 + j50)498 + (60 + j40)378 + (50 + j50)254 + (80 + j60)90}{838}$$

$$S_{B'5} = 131,431 + j121,813 \quad (\text{MVA})$$

On obtient :

$$S_{B1} = 178,568 + j148,186 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{12} = 98,568 + j88,186 \quad (\text{MVA})$$

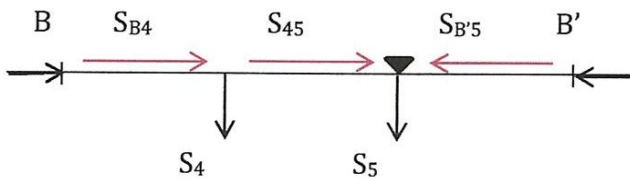
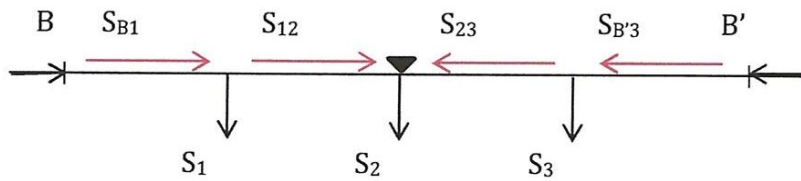
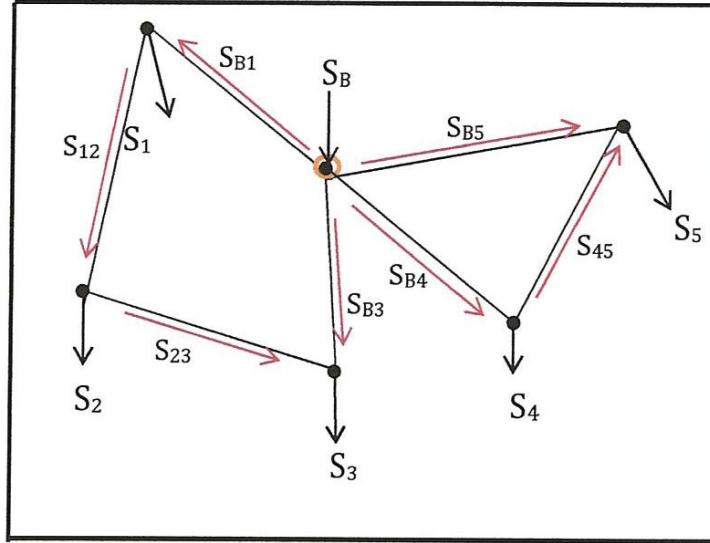
$$S_{23} = 38,568 + j38,186 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{34} = 11,431 - j1,813 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{45} = 71,431 + j51,813 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{B'5} = 131,431 + j121,813 \quad (\text{MVA})$$

Deuxième variante :



$$S_{B1} = \frac{S_1 l_{1B'} + S_2 l_{2B'} + S_3 l_{3B'}}{l_{BB'}}$$

$$S_{12} = S_{B1} - S_1$$

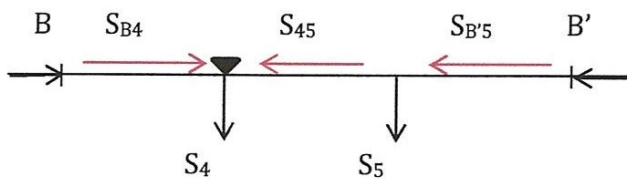
$$S_{23} = S_2 - S_{12}$$

$$S_{3B'} = S_{23} + S_3$$

$$S_{B4} = \frac{S_4 l_{4B'} + S_5 l_{5B'}}{l_{BB'}}$$

$$S_{45} = S_{B4} - S_4$$

$$S_{5B'} = S_5 - S_{45}$$



$$S_{B1} = \frac{S_1 l_{1B'} + S_2 l_{2B'}}{l_{BB'}}$$

$$S_{12} = S_1 - S_{B1}$$

$$S_{B'2} = S_2 + S_{12}$$

$$S_{B4} = \frac{S_4 l_{4B'} + S_5 l_{5B'}}{l_{BB'}}$$

$$S_{45} = S_4 - S_{B4}$$

$$S_{5B'} = S_5 + S_{45}$$

On obtient :

$$S_{B1} = 78,711 + j 63,350 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{12} = -01,288 + j 03,350 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{B'2} = 51,288 + j 46,649 \quad (\text{MVA})$$

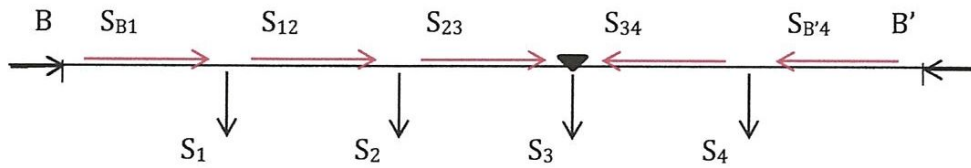
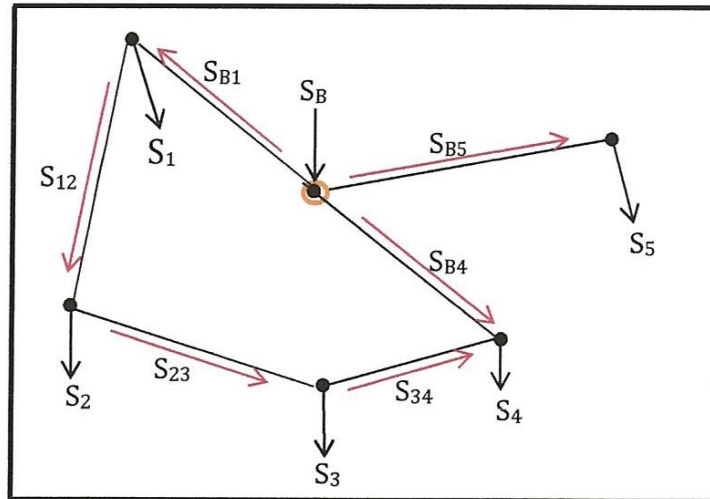
$$S_3 = 60 + j 40 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{B4} = 81,294 + j 62,156 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{45} = 21,294 + j 12,156 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{5B'} = 38,706 + j 57,844 \quad (\text{MVA})$$

Quatrième variante:



$$S_{B1} = \frac{S_1 l_{1B'} + S_2 l_{2B'} + S_3 l_{3B'} + S_4 l_{4B'}}{l_{BB'}}$$

$$S_{12} = S_{B1} - S_1$$

$$S_{23} = S_{12} - S_2$$

$$S_{34} = S_3 - S_{23}$$

$$S_{B'4} = S_4 + S_{34}$$

On obtient :

$$S_{B1} = 141,526 + j112,994 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{12} = 61,526 + j52,994 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{23} = 11,526 + j02,994 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{34} = 48,447 + j37,006 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{B'4} = 108,447 + j87,006 \quad (\text{MVA})$$

$$S_{B5} = 60 + j70 \quad (\text{MVA})$$

➤ Deuxième proposition :

• Sections des conducteurs :

Tb :2.12.

| Première variante | | | | |
|--------------------|--------------------|---------|-----------------------|---------|
| La ligne | S (MVA) | I (A) | F (m m ²) | Type |
| B - 1 | 178,568 + j148,186 | 608,966 | 608,966 | ACO-600 |
| 1 - 2 | 98,568 + j88,186 | 347,090 | 347,090 | ACO-400 |
| 2 - 3 | 38,568 + j38,186 | 142,454 | 142,454 | ACO-240 |
| 3 - 4 | 11,431 - j1,813 | 30,373 | 30,373 | ACO-240 |
| 4 - 5 | 71,431 + j51,813 | 231,580 | 231,580 | ACO-240 |
| B' - 5 | 131,431 + j121,813 | 470,278 | 470,278 | ACO-500 |
| Deuxième variante | | | | |
| B - 1 | 105,787 + j 84,212 | 354,843 | 354,843 | ACO-400 |
| 1 - 2 | 25,787 + j 24,212 | 92,828 | 92,828 | ACO-240 |
| 2 - 3 | 24,213 + j 25,788 | 92,831 | 92,831 | ACO-240 |
| B' - 3 | 84,213 + j 65,788 | 280,445 | 280,445 | ACO-300 |
| 4 - B | 81,294 + j 62,156 | 268,555 | 268,555 | ACO-300 |
| 4 - 5 | 21,294 + j 12,156 | 64,347 | 64,347 | ACO-240 |
| B' - 5 | 38,706 + j 57,844 | 182,651 | 182,651 | ACO-240 |
| Troisième variante | | | | |
| B - 1 | 78,711 + j 63,350 | 265,156 | 265,156 | ACO-300 |
| 1 - 2 | -01,288 + j 03,350 | 09,418 | 09,418 | ACO-240 |
| B' - 2 | 51,288 + j 46,649 | 181,943 | 181,943 | ACO-240 |
| B - 3 | 60 + j 40 | 189,242 | 189,242 | ACO-240 |
| B - 4 | 81,294 + j 62,156 | 268,55 | 268,55 | ACO-300 |
| 4 - 5 | 21,294 + j 12,156 | 64,347 | 64,347 | ACO-240 |
| B' - 5 | 38,706 + j 57,844 | 182,651 | 182,651 | ACO-240 |
| Quatrième variante | | | | |
| B - 1 | 141,526 + j112,994 | 475,266 | 475,266 | ACO-500 |
| 1 - 2 | 61,526 + j52,994 | 213,101 | 213,101 | ACO-240 |
| 2 - 3 | 11,526 + j02,994 | 31,251 | 31,251 | ACO-240 |
| 3 - 4 | 48,447 + j37,006 | 159,988 | 159,988 | ACO-240 |
| B' - 4 | 108,447 + j 87,006 | 364,873 | 364,873 | ACO-400 |
| B - 5 | 60 + j 70 | 241,951 | 241,951 | ACO-240 |

- Paramètres des lignes :

Tb:2.13.

| Première variante | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|---------|---|--------------------------|--------------------------|---|-------------------|-------------------|--|
| Ligne | L (Km) | Type | n | r_0 (Ω /Km) | x_0 (Ω /Km) | $b_0 \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1} /Km) | r (Ω) | x (Ω) | $b \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1}) |
| B - 1 | 90 | ACO-600 | 1 | 0,053 | 0,403 | 2,84 | 4,77 | 36,27 | 255,60 |
| 1 - 2 | 164 | ACO-400 | 1 | 0,080 | 0,414 | 2,73 | 13,12 | 67,89 | 447,72 |
| | | | 2 | 0,040 | 0,301 | 3,76 | 6,56 | 49,36 | 616,64 |
| 2 - 3 | 124 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,12 | 53,32 | 329,84 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,06 | 38,31 | 451,36 |
| 3 - 4 | 120 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 15,60 | 51,60 | 319,20 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 7,80 | 37,08 | 436,80 |
| 4 - 5 | 130 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,90 | 55,90 | 345,80 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,45 | 40,17 | 473,20 |
| B' - 5 | 210 | ACO-500 | 1 | 0,065 | 0,410 | 2,79 | 13,65 | 86,10 | 585,90 |
| | | | 2 | 0,032 | 0,305 | 3,70 | 6,72 | 64,05 | 777,00 |

Tb:2.14.

| Deuxième variante | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|---------|---|--------------------------|--------------------------|---|-------------------|-------------------|--|
| Ligne | L (Km) | Type | n | r_0 (Ω /Km) | x_0 (Ω /Km) | $b_0 \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1} /Km) | r (Ω) | x (Ω) | $b \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1}) |
| B - 1 | 90 | ACO-400 | 1 | 0,080 | 0,414 | 2,73 | 7,20 | 37,26 | 245,70 |
| | | | 2 | 0,040 | 0,301 | 3,76 | 3,60 | 27,09 | 324,00 |
| 1 - 2 | 164 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 21,32 | 70,52 | 436,24 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 10,66 | 50,67 | 596,96 |
| 2 - 3 | 124 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,12 | 53,32 | 329,84 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,06 | 38,31 | 451,36 |
| B' - 3 | 120 | ACO-300 | 1 | 0,108 | 0,422 | 2,71 | 12,96 | 50,64 | 325,20 |
| | | | 2 | 0,054 | 0,306 | 3,70 | 6,48 | 36,72 | 444,00 |
| 4 - 5 | 130 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,90 | 55,90 | 345,80 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,45 | 40,17 | 473,20 |
| 4 - B | 170 | ACO-300 | 1 | 0,108 | 0,422 | 2,71 | 18,36 | 71,74 | 460,70 |
| | | | 2 | 0,054 | 0,306 | 3,70 | 9,18 | 52,02 | 629,00 |
| B' - 5 | 210 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 27,30 | 90,30 | 558,60 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 13,65 | 64,89 | 764,40 |

Tb:2.15.

| Troisième variante | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|---|--------------------------|--------------------------|---|-------------------|-------------------|--|
| Ligne | L (Km) | Type | n | r_0 (Ω /Km) | x_0 (Ω /Km) | $b_0 \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1} /Km) | r (Ω) | x (Ω) | $b \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1}) |
| B - 1 | 90 | ACO-300 | 1 | 0,108 | 0,422 | 2,71 | 9,72 | 37,98 | 243,90 |
| | | | 2 | 0,054 | 0,306 | 3,70 | 4,86 | 27,54 | 333,00 |
| 1 - 2 | 164 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 21,32 | 70,52 | 436,24 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 10,66 | 50,67 | 596,96 |
| B' - 2 | 134 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 17,42 | 57,62 | 356,44 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,71 | 41,40 | 487,76 |
| 3 - B | 130 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,90 | 55,90 | 345,80 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,45 | 40,17 | 473,20 |
| 4 - 5 | 130 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,90 | 55,90 | 345,80 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,45 | 40,17 | 473,20 |
| B - 4 | 170 | ACO-300 | 1 | 0,108 | 0,422 | 2,71 | 18,36 | 71,74 | 460,70 |
| | | | 2 | 0,054 | 0,306 | 3,70 | 9,18 | 52,02 | 629,00 |
| B' - 5 | 210 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 27,30 | 90,30 | 558,60 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 13,65 | 64,89 | 764,40 |

Tb:2.16.

| Quatrième variante | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|---|--------------------------|--------------------------|---|-------------------|-------------------|--|
| Ligne | L (Km) | Type | n | r_0 (Ω /Km) | x_0 (Ω /Km) | $b_0 \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1} /Km) | r (Ω) | x (Ω) | $b \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1}) |
| B - 1 | 90 | ACO-300 | 1 | 0,065 | 0,410 | 2,79 | 5,85 | 36,90 | 251,10 |
| | | | 2 | 0,032 | 0,305 | 3,70 | 2,88 | 27,54 | 333,00 |
| 1 - 2 | 164 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 21,32 | 70,52 | 436,24 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 10,66 | 50,67 | 596,96 |
| 2 - 3 | 124 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 16,12 | 53,32 | 329,84 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 8,06 | 38,31 | 451,36 |
| 3 - 4 | 120 | ACO-240 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 15,60 | 51,60 | 319,20 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 7,80 | 37,08 | 436,80 |
| B' - 4 | 170 | ACO-240 | 1 | 0,080 | 0,414 | 2,73 | 13,60 | 70,38 | 464,10 |
| | | | 2 | 0,040 | 0,301 | 3,76 | 6,80 | 51,17 | 639,20 |
| B - 5 | 210 | ACO-300 | 1 | 0,130 | 0,430 | 2,66 | 27,30 | 90,30 | 558,60 |
| | | | 2 | 0,065 | 0,309 | 3,64 | 13,65 | 64,89 | 764,40 |

- Pertes des puissances :

Tb:2.17.

| Première variante | | | | | | | |
|-------------------|---|---------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Ligne | n | S (MVA) | r (Ω) | x (Ω) | ΔP (MW) | ΔQ (MVA) | ΔS (MVA) |
| B - 1 | 1 | 178,568 + j 148,186 | 4,77 | 36,27 | 5,306 | 40,350 | 5,306 + j 40,350 |
| 1 - 2 | 1 | 98,568 + j 88,186 | 13,12 | 67,89 | 4,741 | 24,538 | 4,741+ j 24,538 |
| | 2 | | 6,56 | 49,36 | 2,370 | 17,840 | 2,370+ j 17,840 |
| 2 - 3 | 1 | 38,568 + j 38,186 | 16,12 | 53,32 | 0,981 | 3,245 | 0,981+ j 3,245 |
| | 2 | | 8,06 | 38,31 | 0,490 | 2,331 | 0,490+ j 2,331 |
| 3 - 4 | 1 | 11,431 - j 01,813 | 15,60 | 51,60 | 0,043 | 0,142 | 0,043+ j 0,142 |
| | 2 | | 7,80 | 37,08 | 0,021 | 0,102 | 0,021+ j 0,102 |
| 4 - 5 | 1 | 71,431 + j 51,813 | 16,90 | 55,90 | 2,719 | 8,993 | 2,719+ j 8,993 |
| | 2 | | 8,45 | 40,17 | 1,359 | 6,462 | 1,359+ j 6,462 |
| 5 - B' | 1 | 131,431 + j 121,813 | 13,65 | 86,10 | 9,056 | 57,125 | 9,056+ j 57,125 |
| | 2 | | 6,72 | 64,05 | 4,458 | 42,496 | 4,458+ j 42,496 |
| Total | 1 | | | | 22,864 | 134,393 | 22,864+j134,393 |
| | 2 | | | | 14,004 | 109,581 | 14,004+ j109,581 |

Tb:2.19.

| Troisième variante | | | | | | | |
|--------------------|---|-------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Ligne | n | S (MVA) | r (Ω) | x (Ω) | ΔP (MW) | ΔQ (MVA) | ΔS (MVA) |
| B - 1 | 1 | 78,711 + j 63,350 | 9,72 | 37,98 | 2,050 | 8,010 | 2,050 + j 8,010 |
| | 2 | | 4,86 | 27,54 | 1,025 | 5,808 | 1,025 + j 5,808 |
| 1 - 2 | 1 | -1,288 + j 3,350 | 21,32 | 70,52 | 0,005 | 0,018 | 0,005 + j 0,018 |
| | 2 | | 10,66 | 50,67 | 0,002 | 0,013 | 0,002 + j 0,013 |
| B' - 2 | 1 | 51,288 + j 46,649 | 17,42 | 57,62 | 1,729 | 5,722 | 1,729 + j 5,722 |
| | 2 | | 8,71 | 41,40 | 0,864 | 4,112 | 0,864 + j 4,112 |
| B - 3 | 1 | 60 + j 40 | 16,90 | 55,90 | 1,815 | 6,005 | 1,815 + j 6,005 |
| | 2 | | 8,45 | 40,17 | 0,907 | 4,315 | 0,907 + j 4,315 |
| 4 - 5 | 1 | 81,294 + j 62,156 | 16,90 | 55,90 | 3,656 | 12,094 | 3,656 + j 12,094 |
| | 2 | | 8,45 | 40,17 | 1,828 | 8,691 | 1,828 + j 8,691 |
| B - 4 | 1 | 38,706 + j 57,844 | 18,36 | 71,74 | 1,837 | 7,180 | 1,837 + j 7,180 |
| | 2 | | 9,18 | 52,02 | 0,918 | 5,206 | 0,918 + j 5,206 |
| B' - 5 | 1 | 21,294 + j 12,156 | 27,30 | 90,30 | 0,339 | 1,121 | 0,339 + j 1,121 |
| | 2 | | 13,65 | 64,89 | 0,169 | 0,806 | 0,169 + j 0,806 |
| Total | 1 | | | | 11,431 | 40,150 | 11,431 + j 40,150 |
| | 2 | | | | 5,713 | 28,951 | 5,713 + j 28,951 |

Tb:2.20.

| Quatrième variante | | | | | | | |
|--------------------|---|---------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Ligne | n | S (MVA) | r (Ω) | x (Ω) | ΔP (MW) | ΔQ (MVA) | ΔS (MVA) |
| B - 1 | 1 | 141,526 + j 112,994 | 5,85 | 36,90 | 3,964 | 25,004 | 3,964 + j 25,004 |
| | 2 | | 2,82 | 27,45 | 1,951 | 18,600 | 1,951 + j 18,600 |
| 1 - 2 | 1 | 61,526 + j 52,994 | 21,32 | 70,52 | 2,904 | 9,607 | 2,904 + j 9,607 |
| | 2 | | 10,66 | 50,67 | 1,452 | 6,903 | 1,452 + j 6,903 |
| 2 - 3 | 1 | 11,526 + j 2,994 | 16,12 | 53,32 | 0,047 | 0,156 | 0,047 + j 0,156 |
| | 2 | | 8,06 | 38,31 | 0,023 | 0,112 | 0,023 + j 0,112 |
| 3 - 4 | 1 | 48,447 + j 37,006 | 15,60 | 51,60 | 1,197 | 3,962 | 1,197 + j 3,962 |
| | 2 | | 7,80 | 37,08 | 0,598 | 2,847 | 0,598 + j 2,847 |
| B' - 4 | 1 | 108,447 + j 87,006 | 27,30 | 90,30 | 10,903 | 36,065 | 10,903 + j 36,065 |
| | 2 | | 13,65 | 64,89 | 5,451 | 25,916 | 5,451 + j 25,916 |
| B - 5 | 1 | 60 + j 70 | 13,60 | 70,38 | 2,388 | 12,360 | 2,388 + j 12,360 |
| | 2 | | 6,80 | 51,17 | 1,194 | 8,986 | 1,194 + j 8,986 |
| Total | 1 | | | | 21,403 | 87,154 | 21,403 + j 87,154 |
| | 2 | | | | 10,669 | 63,364 | 10,669 + j 63,364 |

Troisième Chapitre

Calcul des courants de court-circuit

3.1. Généralités :

Les courts-circuits sont un cas particulier des conditions anormales de fonctionnement des réseaux électriques.

Un court-circuit présente une forte diminution de l'impédance aux forces électromotrices et il s'ensuit une augmentation des courants dans tous les éléments du réseau. Cette augmentation est sur tout ressentie par les éléments proches au défaut.

L'augmentation des courants des courts-circuit a des effets négatifs et souvent néfastes sur la durée de vie des éléments du réseau et la sécurité.

Les conducteurs, les appareils et les machines électriques doivent être construits pour supporter sans détériorations l'échauffement par les courants de court-circuit pendant le temps bien déterminé.

Les courts-circuits sont aussi accompagnés de l'abaissement du niveau de la tension dans un réseau électrique. Cette diminution de tension est surtout ressentie par les éléments proches du défaut, surtout les moteurs électrique puisque on sait que le couple de rotation du moteur dépend du carré de tension et il peut diminuer jusqu'aux grandeurs inférieures au couple résistant. Le moteur se freîne, alors son courant consommé augmente et la chute de tension augmente encore plus. Pour assurer la sureté de fonctionnement du système, il est nécessaire de débrancher le tronçon endommagé le plus vite possible et de le mettre hors tension.

La durée de court-circuit est définie par le temps de son déclenchement, qui dépend à son tour, du temps de l'action de la protection par relais et du temps de déclenchement du disjoncteur. Donc pour assurer le fonctionnement normale du réseau d'interconnexion, il faut réaliser les mesures suivantes ;

- 1- Débrancher et mettre hors tension, l'élément avarié le plus vite possible, c-à-dire automatiquement,
- 2- Mettre en marche les réserves prévues,
- 3- Appliquer les régulateurs d'excitation automatiques des alternateurs.

Il ya donc lieu de chercher à diminuer l'importance des courants de court-circuit et de savoir en calculer leur valeur et leur caractère de variation en fonction du temps [3].

3.2. Types des courts-circuits :

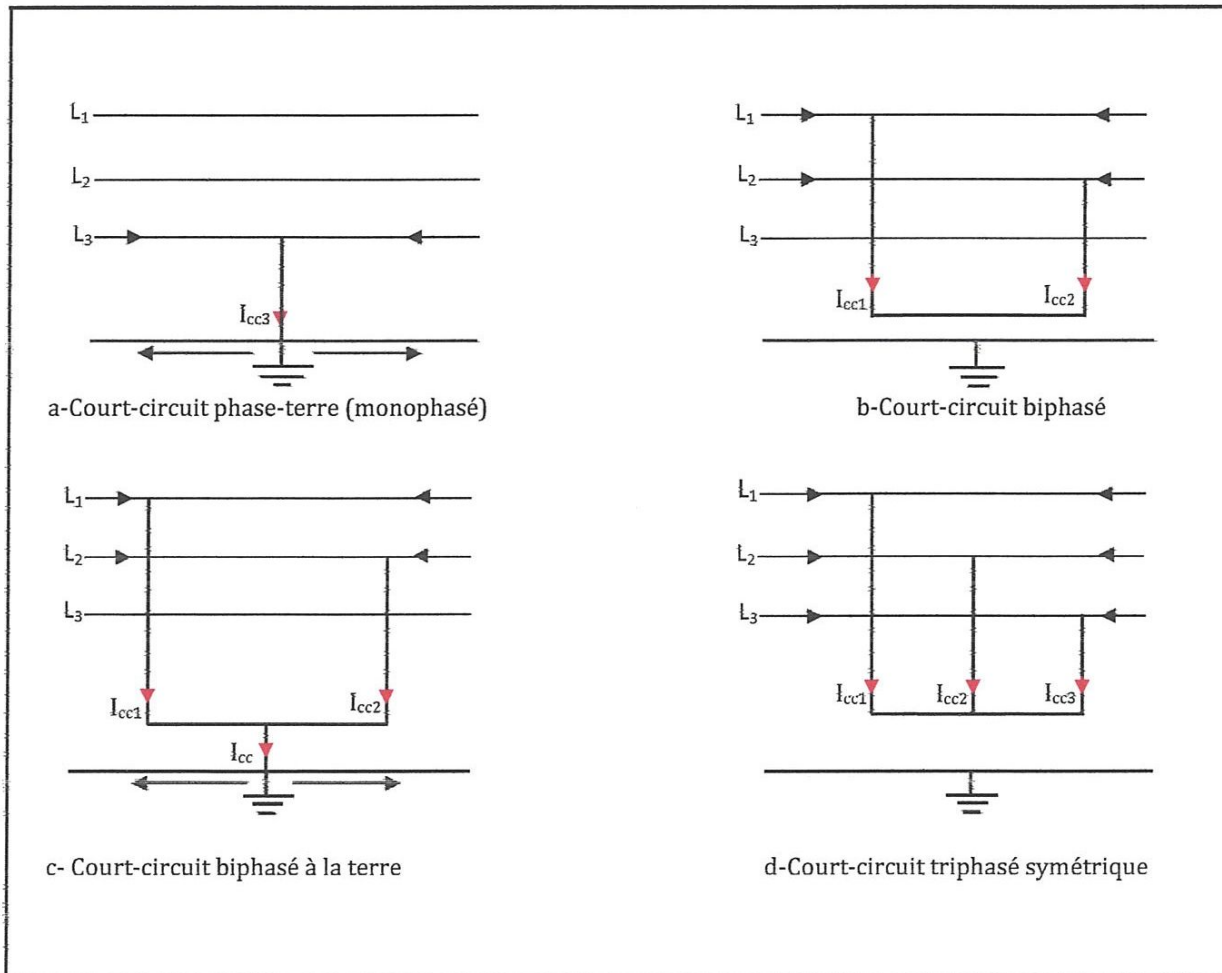
1-Court-circuit monophasé (80% des cas) : contact accidentel entre une phase a la terre.

2- Court-circuit biphasé (15% des cas) : contact accidentel entre deux phases sans contact à la terre. Ils sont beaucoup plus fréquents, de 60 et 92 .

3- Court-circuit biphasé à la terre : contact accidentel entre deux phases à la terre .

4- Court-circuit triphasé (5% des cas) : contact accidentel entre trois phases (avec au sans la terre). Les courts-circuits triphasés symétriques ont lieu souvent, suite à des coups de foudre direct qui frappent les trois conducteurs [3].

La figure (3.1) montre les différents types de court-circuit.



Remarque :

→ : Courant de court-circuit.

→ : Courant de court-circuit partiels dans les conducteur et la terre.

3.3. Méthode du calcul des courants de court-circuit :

Pour le calcul des courants de court-circuit, il existe plusieurs méthode. La plus couramment utilisée est celle faisons appel aux composantes symétriques des courants et des tensions.

- **Méthode des composantes symétriques :**

Le calcul à l'aide des composantes symétriques est particulièrement utile lorsqu'un réseau triphasé et déséquilibré. Pour le calcul est l'analyse des paramètres du régime de court-circuit on se base, en général, su les données caractéristiques de ce dernier, sur les schémas équivalents et les diagrammes vectoriels. D'une manière plus générale on utilise cette méthode, qui consiste à remplacer le système réel asymétrique par une superposition de trois systèmes symétriques dits ; respectivement composante directe, composante inverse et composante homopolaire. La méthode des composantes symétriques est applicable à tous types des réseaux à distribution radiale et quelque soit leur tension [3].

Pour plus d'explication, le système est définie par rapport à une phase référence. Par exemple, si on fond la phase a comme referens, on peut définir par le courant ;

$I_{A.1} = I_1$ Comme composantes directe,

$I_{A.2} = I_2$ Composantes inverse,

$I_{A.0} = I_0$ Composantes homopolaire.

De même que le théorème Leblanc dit qu'un champ alternatif rectiligne à amplitude sinusoidale est équivalent à deux champ tournants en sens inverse, la définition des composantes symétriques repose sur l'équivalence entre un système triphasé asymétrique, et la somme de trois systèmes symétriques : direct, inverse, et homopolaire [3].

Ce principe appliqué à un système de courant se vérifie par construction graphique (fig. 3.2) ;

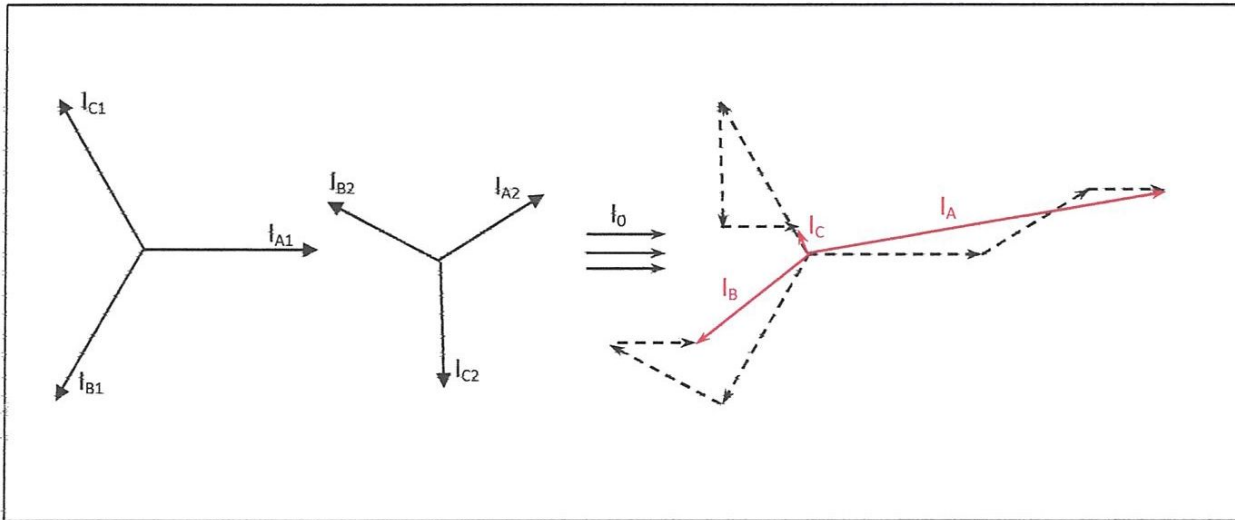


Fig. (3.2) : représentation des systèmes.

En utilisant l'opérateur de phase ; $a = e^{j2\pi/3} = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ entre \vec{I}_A , \vec{I}_B , \vec{I}_C ,

on aura :

$$\begin{aligned}\vec{I}_A &= \vec{I}_{A1} + \vec{I}_{A2} + \vec{I}_{A0} \\ \vec{I}_B &= a^2 \cdot \vec{I}_{B1} + a \cdot \vec{I}_{B2} + \vec{I}_{B0} \\ \vec{I}_C &= a \cdot \vec{I}_{C1} + a^2 \cdot \vec{I}_{C2} + \vec{I}_{C0}\end{aligned}$$

3.4. Courant de court-circuit triphasé symétrique :

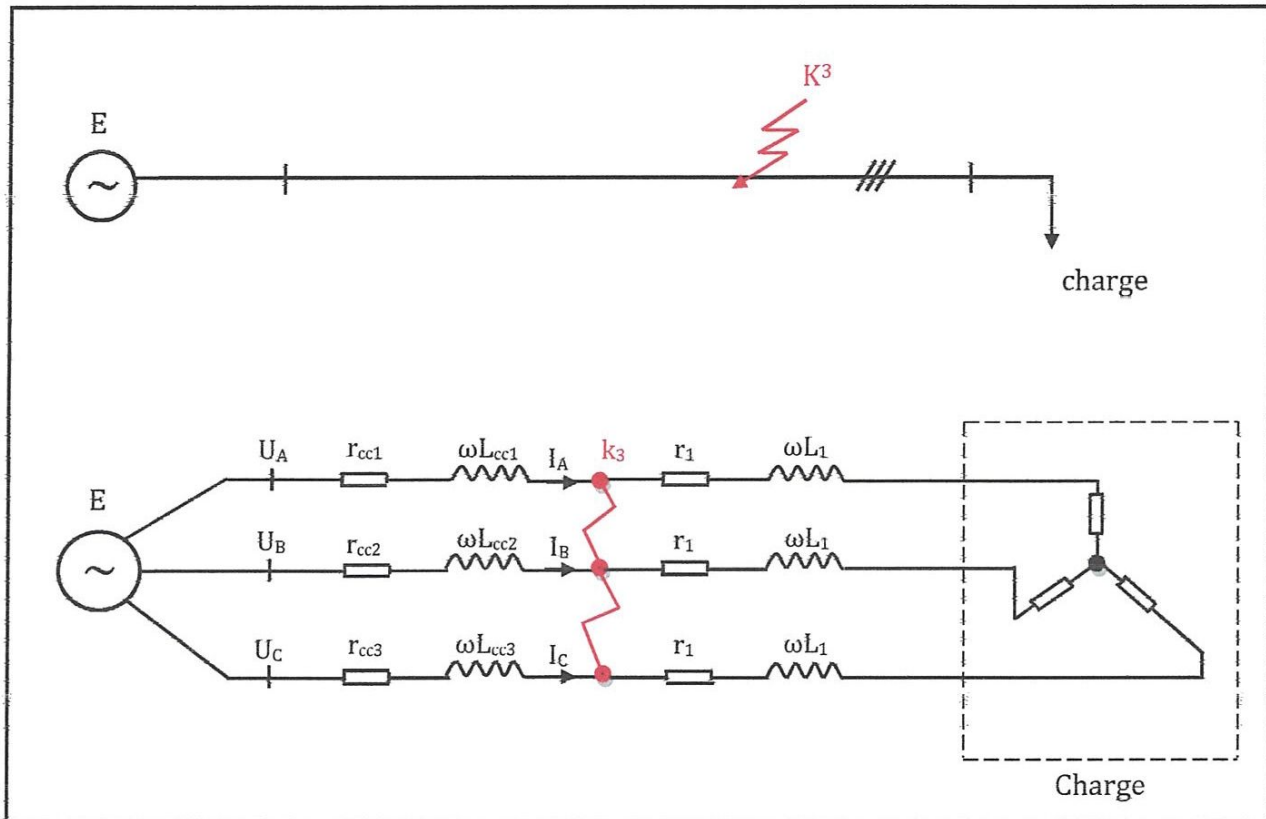


Fig.(3.3) circuit triphasé symétrique alimenté par une source infiniment puissance (tension des jeux de barres constante).

$$U_A = U_m \cdot \sin(\omega t + \alpha)$$

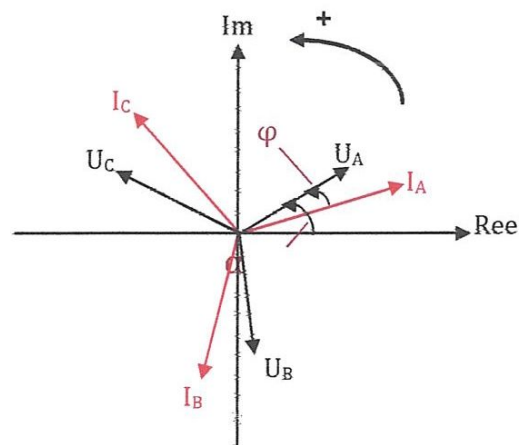
$$U_B = U_m \cdot \sin(\omega t + \alpha - \frac{2\pi}{3})$$

$$U_C = U_m \cdot \sin(\omega t + \alpha - \frac{4\pi}{3})$$

$$I_A = \frac{U_m}{Z} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$$

$$I_B = \frac{U_m}{Z} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \frac{2\pi}{3} - \varphi)$$

$$I_C = \frac{U_m}{Z} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \frac{4\pi}{3} - \varphi)$$



U_m : Valeur maximale de la tension de phase,
 α : Phase initiale de la tension,
 Z : L'impédance résultante du modèle,
 φ : déphasage entre le courant et la tension.

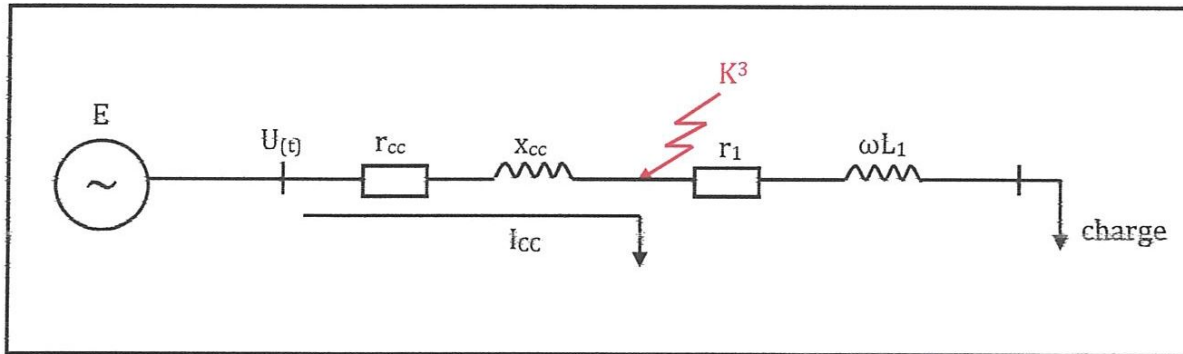


Fig. (3.4) : schéma équivalent de court-circuit triphasé symétrique.

On suppose que le circuit est alimenté par une source de tensions triphasées symétriques et équilibrées indépendamment de défaut.

Le court-circuit sépare le circuit en deux parties indépendantes :

- La partie droite avec la résistance (r_1) et la réactance ($x_1 = \omega L_1$) dans chaque phase.
- La partie gauche contenant la source d'alimentation, la résistance de court-circuit (r_{cc}) et la réactance de court-circuit ($x_{cc} = \omega L_{cc}$).

Les processus s'écoulent indépendamment dans les deux parties du schéma du court-circuit [3].

La partie droite du circuit est shuntée par le court-circuit pour cette raison le courant de circuit s'y maintient jusqu'à ce que l'énergie du champ magnétique qui est accumulée dans l'inductance x_1 s'évacue. Ce courant ne dépasse pas le courant du régime normale, en s'amortissant progressivement, ne présente pas de danger pour l'équipement.

Le court-circuit de ligne engendre les régimes suivants.

- 1- Un régime transitoire.
- 2- Un régime permanent en court-circuit.

3.4.1. Analyse descriptive du court-circuit en régime transitoire :

Dans le régime transitoire l'équation d'équilibre s'exprime comme

$$u(t) = i(t).r_{cc} + L_{cc} \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

$U(t)$ et $i(t)$ Respectivement, Valeur instantanée de la tension et du courant de la phase de referme [3].

Cette équation définit le régime transitoire et celui après transitoire. C'est une équation différentielle dont la solution donne le courant instantané à l'instant arbitraire (t) , lequel est défini par ses composantes, respectivement, forcée (i_f) et (i_h).

$$I_f = \frac{U(t)}{Z_{cc}} = \frac{U_m}{Z_{cc}} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{cc}) \quad (2)$$

Le courant libre est déterminé à partir de la solution de l'équation différentielle; en remplaçant, $\frac{d}{dt} = p$;

$$i(t) \cdot (r_{cc} + L_{cc} \cdot p) = 0$$

Ce qui donne :

$$p = \frac{r_{cc}}{L_{cc}} = \frac{-1}{T_a}$$

Ou;

$$T_a = \frac{L_{cc}}{r_{cc}} = \frac{x_{cc}}{\omega r_{cc}} \text{ -Constante de tension.}$$

La solution s'impr,

$$i(t) = A \cdot e^{-pt} = A \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

Ou;

A- Constante définie par les conditions initiales.

$$\text{Soit pour } t=0, \quad i(0) = A \cdot e^{-\frac{0}{T_a}} = I_0.$$

Donc :

$$i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

$$i(t) \cdot r_{cc} + L_{cc} \cdot \frac{di(t)}{dt} = 0$$

Ou ;

L_{cc} : Inductance du court-circuit,

$Z_{cc} = r_{cc} + jL_{cc}$: L'impédance de court-circuit

Φ_{cc} : Déphasage entre le courant et la tension de court-circuit.

I_0 : courant initial au moment du court-circuit.

Le courant sommaire aura, alors, pour la forme ;

$$i(t) = \frac{U_m}{Z_{cc}} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{cc}) + I_0 \cdot e^{-t/T_a}$$

Pour $t=0$, on point arui

$$i(0) = \frac{U_m}{Z_{cc}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_{cc}) + I_0$$

Ce qui donne,

$$I_0 = i(0) - \frac{U_m}{Z_{cc}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_{cc})$$

Ce qui permet d'écrire ;

$$i(t) = \frac{Um}{Z_{cc}} \cdot \sin (\omega t + \alpha - \varphi_{cc}) + [i(0) - \frac{Um}{Z_{cc}} \cdot \sin (\alpha - \varphi_{cc})] e^{-t/Ta}$$

Mais le courant $i(0)$ est en même temps égal courant préexistant au court-circuit et il peut être donc déterminé par les conditions de fonctionnement du réseau avant le défaut.

En effet, a l'instant $t=t_0=0$ le courant dans le circuit était égale a :

$$i(0) = \frac{Um}{Z_{cc}} \cdot \sin (+\alpha - \varphi_{cc})$$

Ce que donne en définitif ;

$$i(t) = \frac{Um}{Z_{cc}} \cdot \sin (\omega t + \alpha - \varphi_{cc}) + \frac{Um}{Z} \cdot \sin (\alpha - \varphi) - \frac{Um}{Z_{cc}} \cdot \sin (\alpha - \varphi_{cc}) e^{-t/Ta}$$

On obtient ainsi le courant transitoire instantané de la phase A.

Pour des raisons de fiabilité de protection de contrôle des réseaux électrique, il est indispensable de savoir quelle sont les conditions d'apparition du court-circuit qui engendrent le courant maximal. L'analyse de ces régimes a permis de définir les conditions, suivantes [3];

$$\text{Pour } \alpha = 0 \text{ et } \varphi = \frac{\pi}{2}$$

1- Le régime préexistant est un régime à vide. Si le courant de court-circuit, a lieu quand la tension instantanée passe par zéro et que le circuit est purement inductif, dans ce cas le courant forcé par cette tension est maximal possible.

2-La résistance active est négligeable devant la réactance. A l'instant de court-circuit, la présence de l'inductance (L) de la ligne ne laisse pas le courant varier spontanément et le courant garde sa valeur initiale.

3-Le courant a lieu au passage par la valeur nulle de la tension instantanée; si cette valeur initiale est nul (régime à vide), dans ce cas le courant maximal injecté par la source à l'instant $t=0$ s'équilibre avec le courant de l'inductance pour donner la valeur zéro [3].

Ces conditions s'expriment analytiquement comme suit;

$$\varphi_{cc} = \arctan \frac{X_{cc}}{r_{cc}} = 90^\circ$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$I(0) = 0$$

En tenant compte de ces conditions, et après quelque transformation, on peut écrire;

$$i(t) = \frac{U_m}{Z_{cc}} \cdot \cos(\omega t) + \frac{U_m}{Z_{cc}} \cdot e^{-t/T_a}$$

Ou bien;

$$i(t) = I_{mp} \cdot \cos(\omega t) + I_{mp} \cdot e^{-t/T_a}$$

Ou;

I_{mp} : Amplitude du courant périodique.

La représentation graphique qualitative de cette dernière expression est donnée sur la figure (fig.(3.5)).

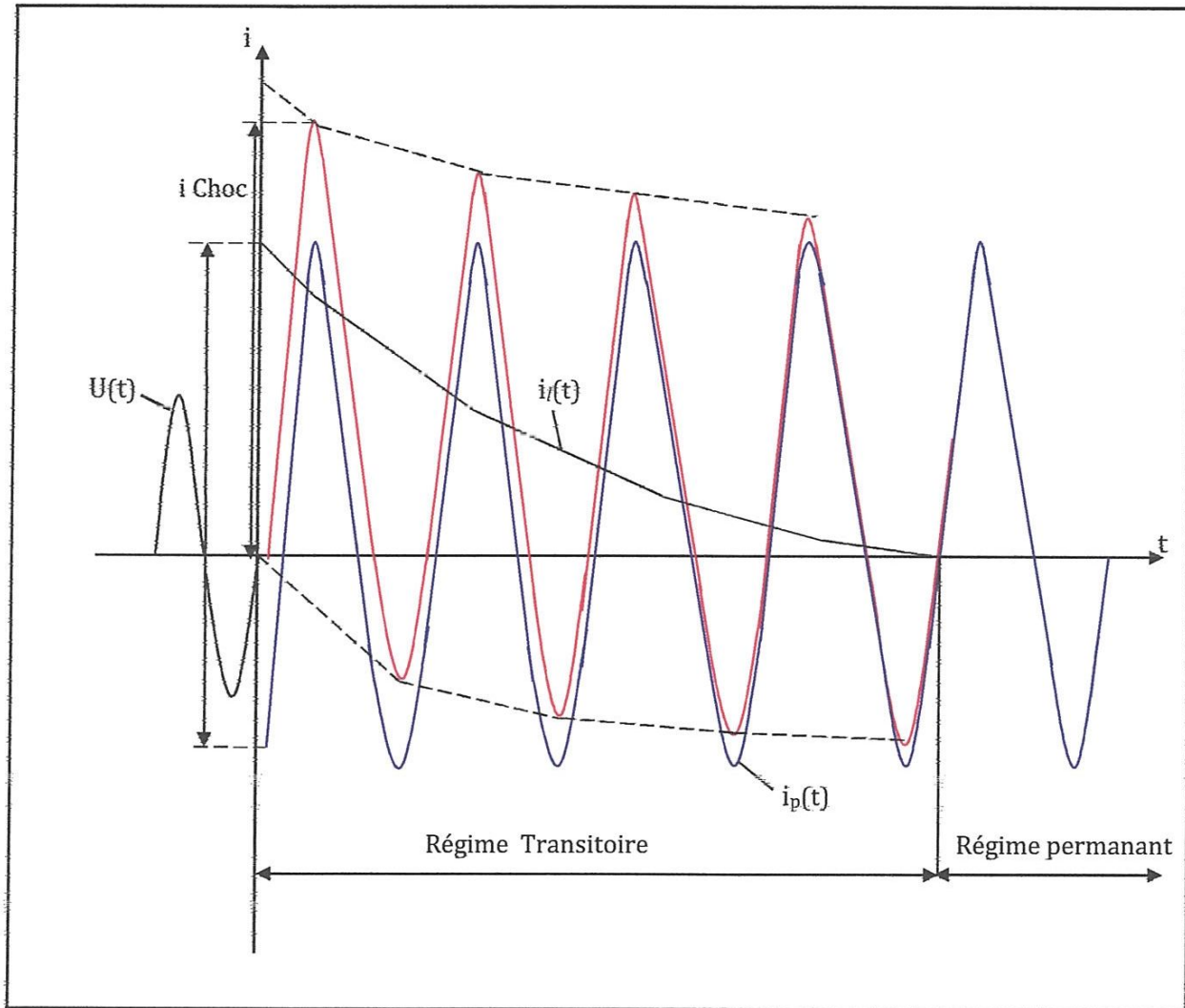


Fig. (3.5).

L'analyse de la dernière équation permet de déterminer les caractéristiques du régime du court-circuit dans sa période transitoire et dans sa partie permanent [3].

On définit, ainsi le courant de choc, qui représente la valeur du court-circuit transitoire et qui atteint à $t = t_{ch} = \frac{T}{2} = 0,01 \text{ s}$;

$$I_{choc} = I_{mp} \cdot (1 + e^{-t/Ta}) = \sqrt{2} \cdot I_p \cdot (1 + e^{-t/Ta}) = \sqrt{2} \cdot I_p \cdot K_{choc}.$$

Le courant de choc est particulièrement important pour la vérification tenue électrodynamique des équipements électriques.

Le courant de court-circuit permanent est particulièrement important pendant l'analyse et la vérification des effets thermique.

3.4.2. Calcul de court-circuit en régime permanent :

Pour les calculs des courant de court-circuit en régime permanent, en par rapport aux grandeurs nominales ou bien par rapport à des grandeurs de base choisies arbitrairement.

A : Par rapport à des grandeurs nominales.

$$S_{(N)}^* = \frac{S}{S_N} \quad , \quad U_{(N)}^* = \frac{U}{U_N}$$

$$S_{(N)}^* = \frac{S}{S_N} = \frac{UI}{\sqrt{3}U_N I_N} = \frac{UI}{U_N I_N} = U^* \cdot I^*$$

$$U_{(c)}^* = \frac{U_c}{U_{Nc}} = \frac{\sqrt{3} U_s}{\sqrt{3} U_{N,S}} = \frac{U_s}{U_{N,S}} = U_{(s)}^*$$

Ou ;

$U_{(c)}^*$ – tension compose, $U_{(s)}^*$ -tension simple.

B : Par rapport à des grandeurs de base.

Soit choisies S_b, U_b quelconques, on définit ensuite,

$$Z_b = \frac{U_b^2}{S_b}$$

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b}$$

Tout les grandeurs réelles du système peuvent être réduites au niveau de base choisi et exprimées par unités de grandeur de base arbitrairement [3].

3.5. Paramètre des transformateurs :

- **Puissance nominale.** Il est nécessaire de choisir le type et le nombre de transformateur que l'on doit installer dans les postes de transformateur interconnectant les réseaux de différents niveaux de tension afin de conduire l'énergie électrique jusqu'aux consommateurs dans des conditions convenables.

Les consommateurs de première catégorie doivent être alimentés au moins par deux (2) sources indépendantes la rupture de leur alimentation n'est admissible que pendant le temps de réenclenchement automatique de l'alimentation de secours. Pour les consommateurs de la deuxième catégorie. L'interruption de l'alimentation est admissible pendant le temps de branchement de l'alimentation de secours par le personnel de surveillance.

Dans les postes de transformation de réseau (HT) ou installés d'habitude deux (2) transformateurs. Puisque les consommateurs sont de la première catégorie. La puissance de chacun d'eux est choisie conformément à la formule suivante [10] :

$$S_{ch} = n(0.65 \div 0.7) S_N$$

c - a - dire

$$S_N = \frac{S_{ch}}{n(0.65 \div 0.7)}$$

S_{ch} - puissance de calcul maximale de poste. S_N - puissance nominale du transformateur

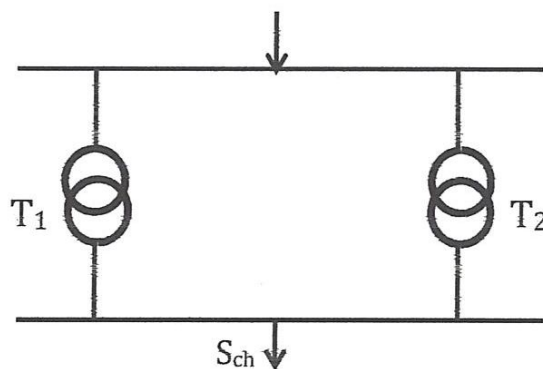


Fig. (3.6).

En cas de panne d'un transformateur, l'autre peut assurer l'alimentation de tous les consommateurs pendant le temps de réparation et avec une surcharge admissible ($S_{ch} \leq 1,4 S_N$).

Le fonctionnement optimal ; du point de vue pertes, dans le transformateur est tel qu'en régime normal de la charge de transit pendant le choix de la puissance nominal, on teinte compte de la croissance augmentations de la charge [10].

- La condition du choix des transformateurs est :

$$S_N \geq \frac{S_{ch}}{n \cdot 0,7}$$

Où S_N -puissance de transformateurs à installer. S_{cal} -puissance du calcul du poste.

- La vérification est faite d'après le coefficient de charge maximale en régime nominal :

$$K_{ch} = \frac{S_{ch}}{n S_N} \leq 0,7$$

n - nombre de transformateur a installer n= 1, 2, 3 ...

En régime après avarie :

$$K_{ch} = \frac{S_{ch}}{(n-1) S_N} \leq 1,4$$

Poste N° 01 :

$$S_N = \frac{Sch}{2 \cdot 0,65} = \frac{\sqrt{80^2 + 60^2}}{2 \cdot 0,65} = 76,92 \text{ MVA}$$

Les références concernant les grandeurs normalisées donnent $S_N=80\text{MVA}$

Verification:

- Régime normal : $K_{ch} = \frac{Sch}{n S_N} = \frac{100}{2 \times 80} = 0,625 < 0,7$
- Régime après avarie : $K_{ch} = \frac{Sch}{(n-1) S_N} = \frac{100}{80} = 1,25 \leq 1,4$

Poste N° 02

$$S_N = \frac{Sch}{2 \cdot 0,65} = \frac{\sqrt{50^2 + 50^2}}{2 \cdot 0,65} = 54,39 \text{ MVA}$$

Ce qui permet de déterminer $S_N=60 \text{ MVA}$

Verification:

- Régime normal : $K_{ch} = \frac{Sch}{n S_N} = \frac{70,71}{2 \times 60} = 0,589 < 0,7$
- Régime après avarie : $K_{ch} = \frac{Sch}{(n-1) S_N} = \frac{70,71}{60} = 1,178 \leq 1,4$

Poste N° 03

$$S_N = \frac{Sch}{2 \cdot 0,65} = \frac{\sqrt{60^2 + 40^2}}{2 \cdot 0,65} = 55,47 \text{ MVA}$$

Ce qui donne $S_N= 60 \text{ MVA}$

Verification:

- Régime normal : $K_{ch} = \frac{Sch}{n S_N} = \frac{72,11}{2 \times 60} = 0,600 < 0,7$
- Régime après avarie : $K_{ch} = \frac{Sch}{(n-1) S_N} = \frac{72,11}{60} = 1,200 \leq 1,4$

Poste N° 04

$$S_N = \frac{Sch}{2 \cdot 0,65} = \frac{\sqrt{60^2 + 50^2}}{2 \cdot 0,65} = 60,07 \text{ MVA}$$

Ce qui donne $S_N = 70 \text{ MVA}$

Verification:

- Régime normal : $K_{ch} = \frac{Sch}{n S_N} = \frac{78,10}{2 \times 70} = 0,557 < 0,7$
- Régime après avarie : $K_{ch} = \frac{Sch}{(n-1) S_N} = \frac{78,10}{70} = 1,114 \leq 1,4$

Poste N° 05

$$S_N = \frac{Sch}{2 \cdot 0,65} = \frac{\sqrt{60^2 + 70^2}}{2 \cdot 0,65} = 70,919 \text{ MVA}$$

Ce qui donne $S_N = 80 \text{ MVA}$

Verification:

- Régime normal : $K_{ch} = \frac{Sch}{n S_N} = \frac{92,19}{2 \times 80} = 0,576 < 0,7$
- Régime après avarie : $K_{ch} = \frac{Sch}{(n-1) S_N} = \frac{92,19}{80} = 1,152 \leq 1,4$

3.6. Schéma équivalent de calcul du court-circuit.

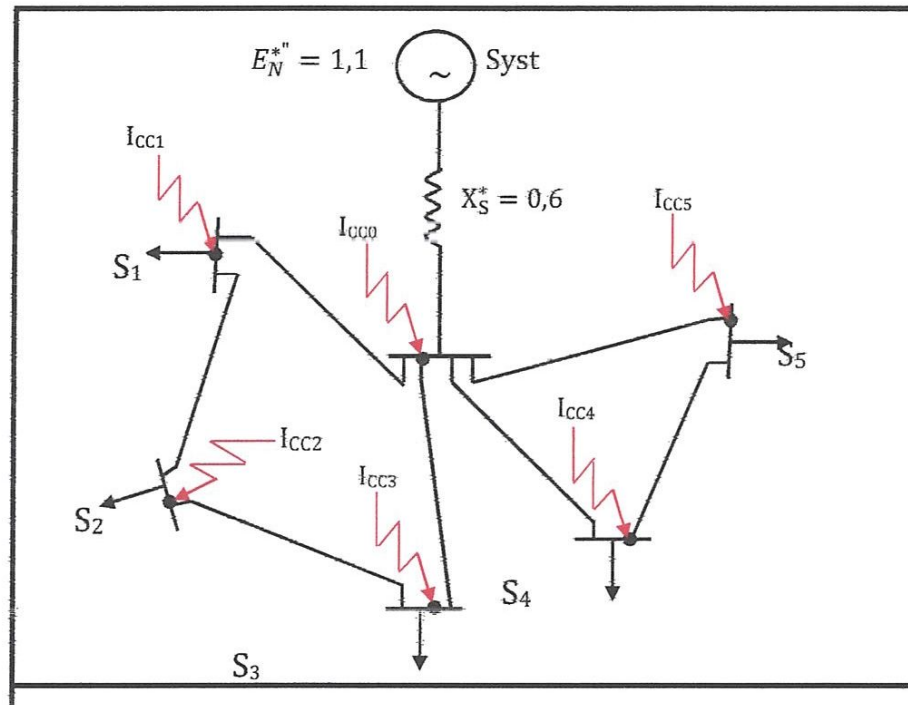


Fig. (3.7) : Schéma équivalent de réseau électrique considéré.

Dans ce travail les paramètres du système et des courants de court-circuit sont calculés dans des unités relative au la puissance de base $S_b = 300\text{MVA}$.

Puisque l'ensemble des cas de court-circuit a lieu au niveau potentiel $U_N = 220\text{KV}$, il est plus simple de comme valeur du potentiel de base $U_s = U_N$.

La puissance et la tension de base (S_b, U_b) étant arbitrairement choisies, ou définir.

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} \Rightarrow I_b = \frac{300 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3} = 787.2958 = 0.7872 \text{ KA.}$$

- Calcul des réactances des éléments du réseau

a- Système

$$X_{d(b)}^* = X_{d(N)}^* \cdot \frac{S_b}{S_N} = 0.4 \frac{300}{1000} = 1.2 \Omega$$

b- Ligne aérienne

On a

$$X_{l(b)}^* = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U^2}$$

$$X_1 = X_0 \cdot l_{B1} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.414 \times 90 \times \frac{300}{220^2} = 0.2309 \Omega$$

$$X_2 = X_0 \cdot l_{12} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.430 \times 164 \times \frac{300}{220^2} = 0.4371 \Omega$$

$$X_3 = X_0 \cdot l_{23} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.430 \times 123 \times \frac{300}{220^2} = 0.3278 \Omega$$

$$X_4 = X_0 \cdot l_{B3} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.422 \times 130 \times \frac{300}{220^2} = 0.3400 \Omega$$

$$X_5 = X_0 \cdot l_{B5} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.430 \times 170 \times \frac{300}{220^2} = 0.4530 \Omega$$

$$X_6 = X_0 \cdot l_{45} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.430 \times 130 \times \frac{300}{220^2} = 0.3464 \Omega$$

$$X_7 = X_0 \cdot l_{5B} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.422 \times 210 \times \frac{300}{220^2} = 0.5492 \Omega$$

$$\text{On a } r_{l(b)}^* = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U^2}$$

$$r_1 = r_0 \cdot l_{B1} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.08 \times 90 \times \frac{300}{220^2} = 0.0446 \Omega$$

$$r_2 = r_0 \cdot l_{12} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.13 \times 164 \times \frac{300}{220^2} = 0.1321 \Omega$$

$$r_3 = r_0 \cdot l_{23} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.13 \times 123 \times \frac{300}{220^2} = 0.0991 \Omega$$

$$r_4 = r_0 \cdot l_{3B} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.108 \times 130 \times \frac{300}{220^2} = 0.0870 \Omega$$

$$r_5 = r_0 \cdot l_{B4} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.13 \times 170 \times \frac{300}{220^2} = 0.1369 \Omega$$

$$r_6 = r_0 \cdot l_{45} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.13 \times 130 \times \frac{300}{220^2} = 0.1047 \Omega$$

$$r_7 = r_0 \cdot l_{5B} \cdot \frac{S_b}{U^2} = 0.108 \times 210 \times \frac{300}{220^2} = 0.1405 \Omega$$

Calcul T_a :

$$T_a = \frac{x}{\omega \cdot r} = \frac{x_s}{\omega \cdot r_s}$$

$$x_s = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) \parallel (x_5 + x_6 + x_7) = 0.6710 \Omega$$

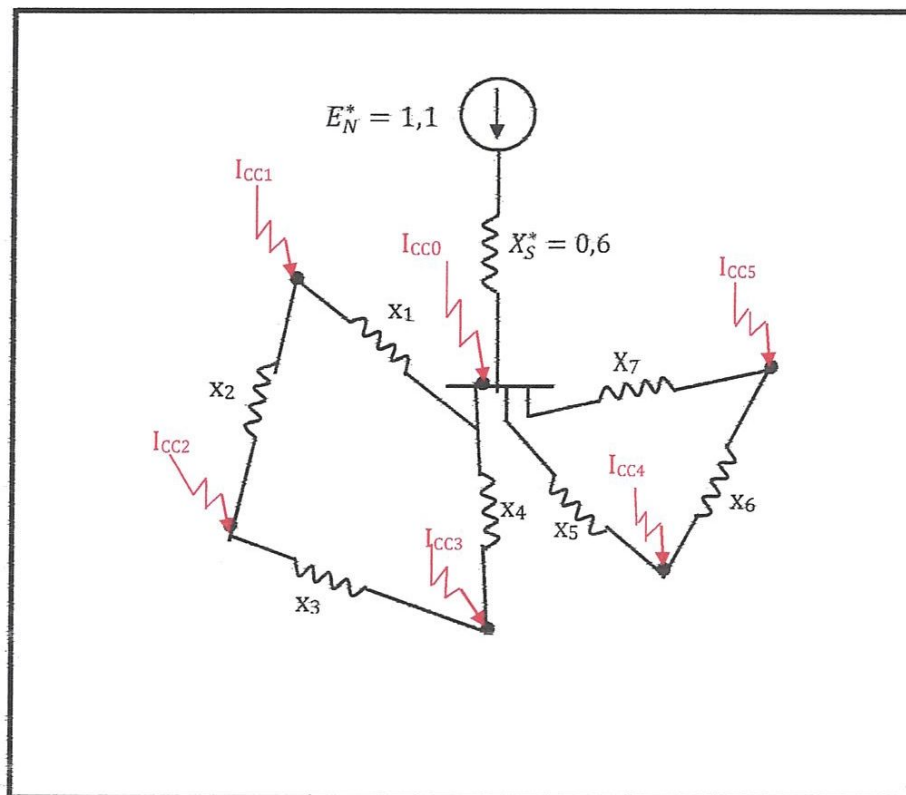
$$r_s = (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) \parallel (r_5 + r_6 + r_7) = 0.1860 \Omega$$

$$\omega = 2 \pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314$$

$$T_a = \frac{0.6710}{314 \times 0.1860} = 0.011 \text{ s}$$

Donc on aura le schéma équivalent suivant :

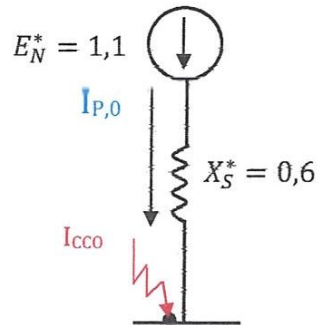
- 2^{ème} Schéma équivalent :



3.7. Calcul des courants de court-circuit :

- Calcul du courant de court-circuit I_{cc0} .

On le schéma équivalent suivant :



D'où :

$$I_{CC0(n)} = I_{P,0}^* = \frac{E_N^*}{X_S^*} = \frac{1,1}{0,6} = 1,8333 \quad (\text{KA})$$

$$I_{CC0} = 1,8333 \quad (\text{KA})$$

$$I_{CC0(\text{réel})} = I_{CC0}^* \cdot I_{(b)} = 1,8333 \cdot 0,7872 = 1,4432 \quad (\text{KA})$$

$$I_{CC0(\text{réel})} = 1,4432 \quad (\text{KA})$$

- Calcul du courant de choc I_{choc}

$$I_{choc} = K_{choc} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{(P)}$$

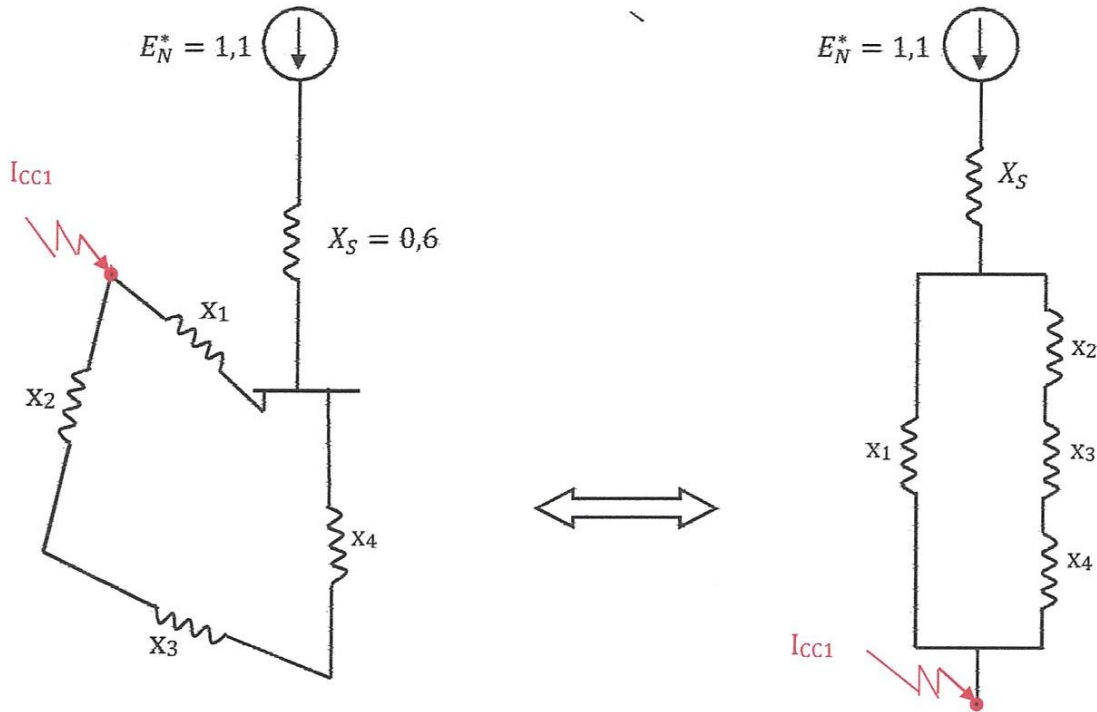
Avec :

$$K_{choc} = 1 + e^{\frac{-0,01}{Ta}} = 1,4028 \quad / \quad Ta = 0,011 \text{ s}$$

$$I_{choc} = \sqrt{2} \cdot (1,4028) \cdot (1,4432)$$

$$I_{choc} = 2,8631 \quad (\text{KA})$$

- Calcul du courant de court-circuit I_{cc1} .



$$X_{23} = X_S + (X_1) \parallel (X_2 + X_3 + X_4)$$

$$X_{23} = X_S + \frac{x_1(x_2+x_3+x_4)}{x_1+x_2+x_3+x_4} = 0,7909$$

$$I_{cc1}^* = \frac{E_N^*}{X_{23}} = \frac{1,1}{0,7909} = 1,3908 \quad (\text{KA})$$

$$I_{cc1} = 1,3908 \quad (\text{KA})$$

$$I_{cc1(\text{réel})} = I_{cc1}^* \cdot I_{(b)} = 1,3908 \cdot 0,7872 = 1,0948 \quad (\text{KA})$$

$$I_{cc1(\text{réel})} = 1,0948 \quad (\text{KA})$$

- Calcul du courant de choc I_{choc}

$$I_{choc} = K_{choc} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{(P)}$$

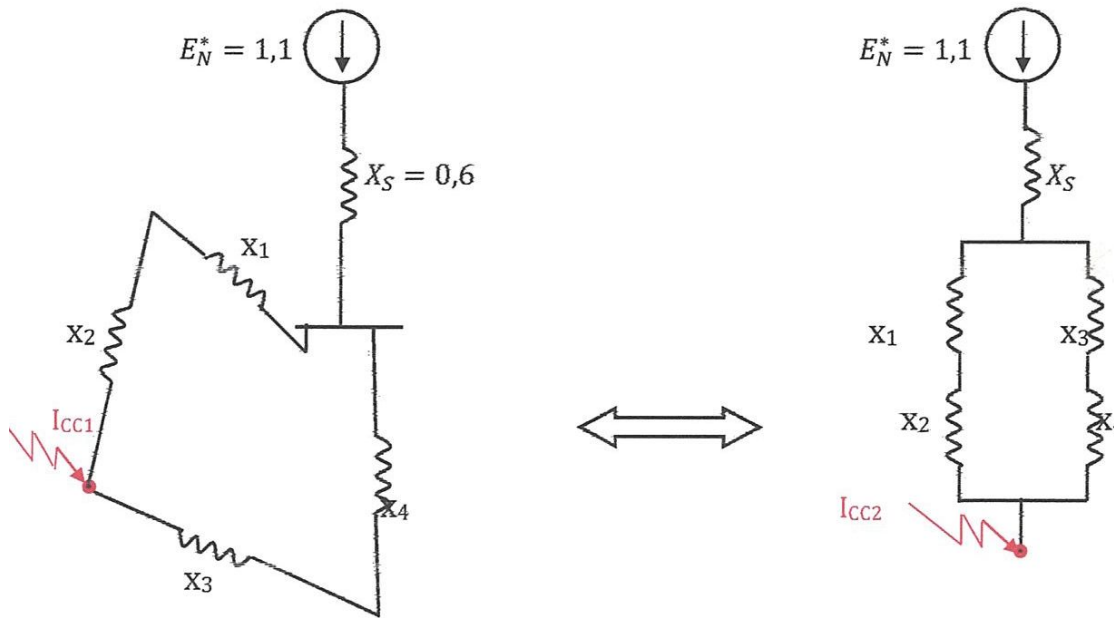
Avec :

$$K_{choc} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1,4028 \quad / T_a = 0,011 \text{ s}$$

$$I_{choc} = \sqrt{2} \cdot (1,4028) \cdot (1,0948)$$

$$I_{choc} = 2,1719 \text{ (KA)}$$

• Calcul du courant de court-circuit I_{cc2} .



$$X_{24} = X_S + (X_1 + X_2) \parallel (X_3 + X_4)$$

$$X_{24} = X_S + \frac{(X_1 + X_2)(X_3 + X_4)}{X_1 + X_2 + X_3 + X_4} = 0,9339$$

$$I_{cc2}^* = \frac{E_N^*}{X_{24}} = \frac{1,1}{0,9339} = 1,1778 \text{ (KA)}$$

$$I_{cc2} = 1,1778 \text{ (KA)}$$

$$I_{cc2(\text{réel})} = I_{cc2}^* \cdot I_{(b)} = 1,1778 \cdot 0,7872 = 0,9271 \text{ (KA)}$$

$$I_{cc2(\text{réel})} = 0,9271 \text{ (KA)}$$

- Calcul du courant de choc I_{choc}

$$I_{choc} = K_{choc} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{(P)}$$

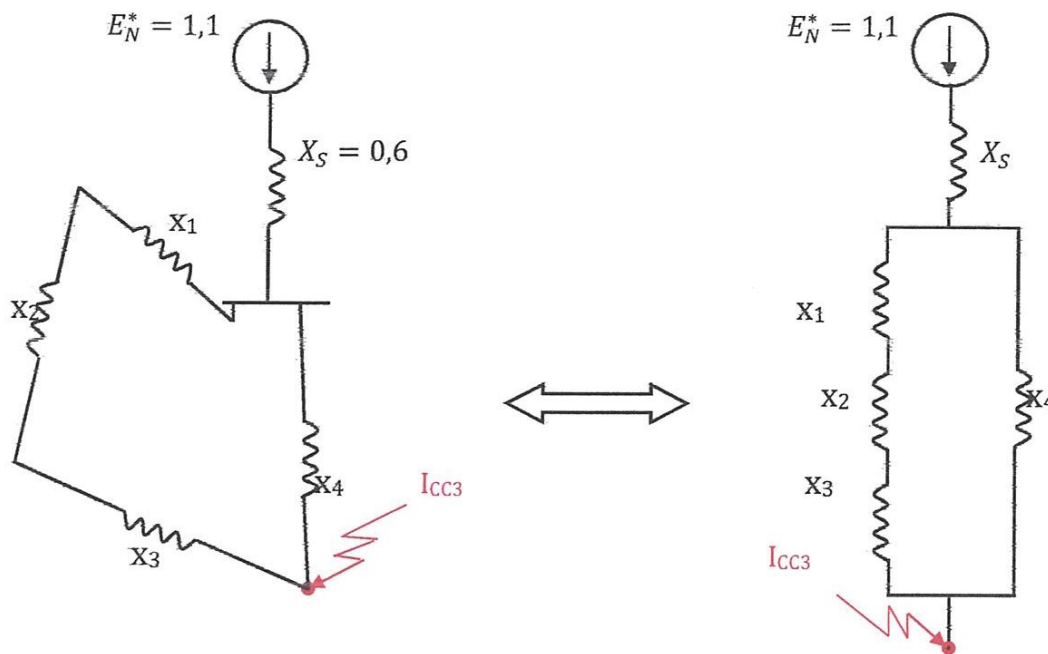
Avec :

$$K_{choc} = 1 + e^{\frac{-0,01}{\tau a}} = 1,4028 \quad / \tau a = 0,011 \text{ s}$$

$$I_{choc} = \sqrt{2} \cdot (1,4028) \cdot (0,9271)$$

$$I_{choc} = 1,8392 \text{ (KA)}$$

- Calcul du courant de court-circuit I_{cc3} .



$$X_{25} = X_S + (X_1 + X_2 + X_3) \parallel (X_4)$$

$$X_{25} = X_S + \frac{(X_1 + X_2 + X_3)(X_4)}{X_1 + X_2 + X_3 + X_4} = 0,8534$$

$$I_{CC3}^* = \frac{E_N^*}{X_{25}^*} = \frac{1,1}{0,8534} = 1,2889 \text{ (KA)}$$

$$I_{CC3} = 1,2889 \text{ (KA)}$$

$$I_{CC3(\text{réel})} = I_{CC3}^* \cdot I_{(b)} = 1,2889 \cdot 0,7872 = 1,0146 \text{ (KA)}$$

$$I_{CC3(\text{réel})} = 1,0146 \text{ (KA)}$$

- **Calcul du courant de choc I_{choc}**

$$I_{choc} = K_{choc} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{(P)}$$

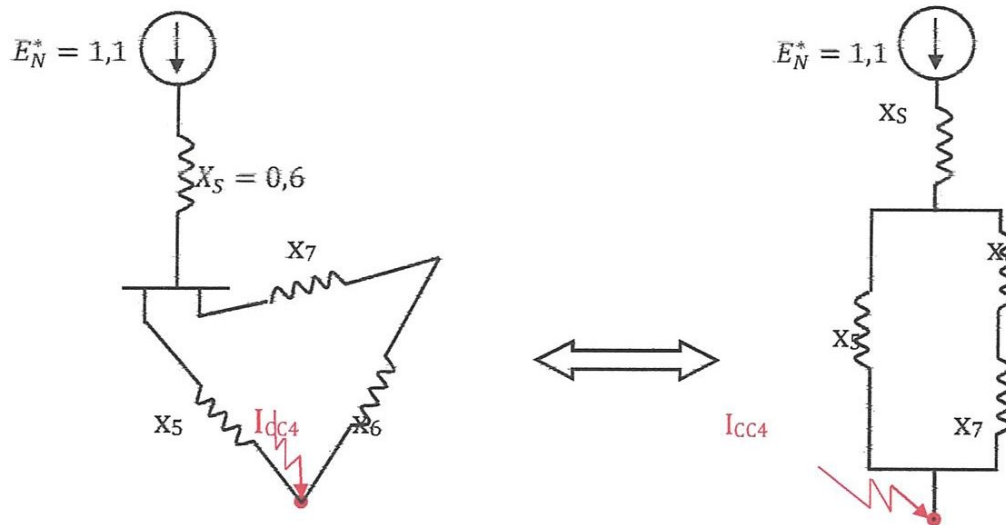
Avec :

$$K_{choc} = 1 + e^{\frac{-0,01}{\tau a}} = 1,4028 \quad / \tau a = 0,011 \text{ s}$$

$$I_{choc} = \sqrt{2} \cdot (1,4028) \cdot (1,0146)$$

$$I_{choc} = 2,0128 \text{ (KA)}$$

- **Calcul du courant de court-circuit I_{CC4} .**



$$X_{26} = X_s + (X_7 + X_6) \parallel X_5$$

$$X_{26} = X_s + \frac{(X_7 + X_6)X_5}{X_7 + X_6 + X_5} = 0,9008$$

$$I_{CC4}^* = \frac{E_N^*}{X_{26}^*} = \frac{1,1}{0,9008} = 1,2211 \quad (\text{KA})$$

$$I_{CC4} = 1,2211 \quad (\text{KA})$$

$$I_{CC4(\text{réel})} = I_{CC4}^* \cdot I_{(b)} = 1,2211 \cdot 0,7872 = 0,9612 \quad (\text{KA})$$

$$I_{CC4(\text{réel})} = 0,9612 \quad (\text{KA})$$

- Calcul du courant de choc I_{choc}

$$I_{\text{choc}} = K_{\text{choc}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{(P)}$$

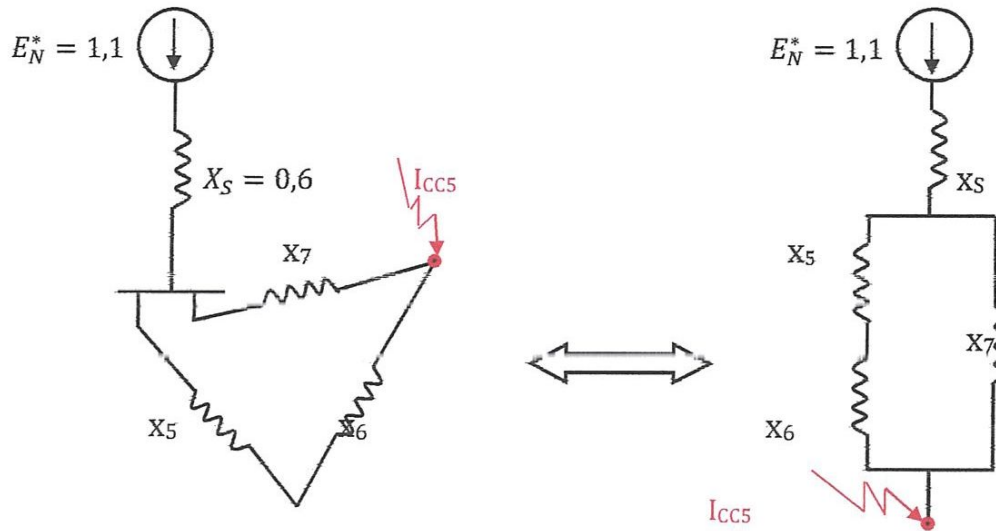
Avec :

$$K_{\text{choc}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{\tau_a}} = 1,4028 \quad / \tau_a = 0,011 \text{ s}$$

$$I_{\text{choc}} = \sqrt{2} \cdot (1,4028) \cdot (0,9612)$$

$$I_{\text{choc}} = 1,9068 \quad (\text{KA})$$

• Calcul du courant de court-circuit I_{cc5} .



$$X_{27} = X_s + (X_5 + X_6) \parallel (X_7)$$

$$X_{27} = X_s + \frac{(X_5 + X_6)(X_7)}{X_7 + X_6 + X_5} = 0,9255$$

$$I_{cc5}^* = \frac{E_N^*}{X_{27}} = \frac{1,1}{0,9255} = 1,1885 \quad (\text{KA})$$

$$I_{cc5} = 1,1885 \quad (\text{KA})$$

$$I_{cc5(\text{réel})} = I_{cc5}^* \cdot I_{(b)} = 1,1885 \cdot 0,7872 = 0,9355 \quad (\text{KA})$$

$$I_{cc5(\text{réel})} = 0,9355 \quad (\text{KA})$$

• Calcul du courant de choc I_{choc}

$$I_{choc} = K_{choc} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{(p)}$$

Avec :

$$K_{choc} = 1 + e^{\frac{-0,01}{\tau_a}} = 1,4028 \quad / \tau_a = 0,011 \text{ s}$$

$$I_{choc} = \sqrt{2} \cdot (1,4028) \cdot (0,9355)$$

$$I_{choc} = 1,8558 \quad (\text{KA})$$

Les courants de court-circuit ainsi déterminés permettent de vérifier les tenues thermiques et électrodynamiques des divers équipements, insérés dans le circuit de force. En effet, la tenue thermique des équipements est vérifiée au passage du courant de court-circuit forcé d'intensité, en règle générale, considérable. Dans cette vérification, on doit tenir compte aussi bien de la valeur efficace du courant que de la durée de sa circulation dans les équipements, du fait que la montée en température obéit à une inertie déterminée. De même, l'apparition du courant de crête (ou de choc) peut entraîner un dégât irréversible de l'équipement, d'où la nécessité de vérifier la réponse de l'équipement au choc électrodynamique correspondant.

Conclusion générale

A partir du travail réalisé dans ce mémoire de fin de cycle, on conclut que l'élaboration et le choix des éléments d'un réseau électrique ainsi que sa structure, obéissent à des critères technico-économiques déterminés.

- ❖ Choix d'une variante technico-économiquement avantageuse,
- ❖ Calcul du courant de court-circuit pour protéger notre réseau électrique contre ce courant de défaut.

Les courants de court-circuit ont des effets négatifs, accompagnés de l'abaissement du niveau de la tension et souvent néfastes sur la durée de vie des éléments du réseau et la sécurité. D'où la nécessité d'étudier et d'analyser les courants de court-circuit pour, essentiellement, maintenir le réseau dans un régime normal requis.

Le sujet de notre travail est très vaste, nous nous sommes limités à ce qui a été fait. Mais il nécessite encore plus de développement.

En terminant ce mémoire, nous souhaitons que notre étude puisse retenir l'attention des gens cherchant à réaliser ou prévoir un meilleur transport de l'énergie électrique.

Bibliographie

- [1] Réseaux électriques (PH, D, Mr Kamel Bounaya)
- [2] Génie Electrique: Réseaux électriques–Fondamentaux et concepts de base
(PH, D, Mr Abdelhafid Hellal)
(PH, D, Mr Mohamed Boudour)
- [3] Mémoire de fin d'étude: Réaliser par (Zitoun, Kerdoussi) (Elaboration d'un réseau électrique et calcul des courants de court-circuit) 2010
- [4] Mémoire de fin d'étude: Réaliser par (Ferkous, Kahalerrasse, Djoudi)
(Compraison entre les différentes techniques de coupure d'un arc électrique) 2010
- [5] Site internet: Mémoire de magister en electrotechnique:
Réaliser par (Sliman Ramdane)
(Programmation en MATLAB de la stabilité transitoire d'une modélisation interactive d'un réseau électrique par intégration numérique) 2008
- [6] Recherche bibliographique: Réaliser par (Bouemma, Ras guerriche)
(Performance et caractéristique des lignes des grandes portes)
2011
- [7] Mémoire de fin d'étude: Réaliser par (Rezgui, Méchighel) (Control de la tension par la compensation de la puissance reactive) 2006
- [8] Mémoire de fin d'étude: Réaliser par (Nebili, Naili) (Etude des épures de la tension suite aux ruptures de phases) 2007
- [9] Mémoire de fin d'étude: Réaliser par (El hadji oumar niono) (Elaboration et choix des elements d'un réseau électrique) 2009
- [10] Mémoire de fin d'étude: Réaliser par (Boussaha,Zeghache) (Qaulité d'énergie électrique dans les réseau électriaues) 2010