

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
- تلمسان -

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Energie et Environnement

Présenté par : OUADI Syphax & DOUAG Brahim Fouad

Thème

**Installation d'un poste HT pour le tramway
de Tlemcen**

Soutenu publiquement, le 26 / 09 /2021 devant le jury composé de :

M. ABDELLAOUI. G	MCB	ESSA. Tlemcen	Président
M ^{me} BOURI. S	MCA	UNIV- Tlemcen	Encadrant
M ^{me} BOUSMAHA. I	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M.MERAD. L	Pr	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2020 /2021

Dédicaces

“

JE dédie ce travail à mes chers parents et à toute ma famille, pour leur soutien, patience et encouragement durant tout mon parcours

*”
scolaire.*

- Douag Brahim Fouad



“

JE dédie ce travail

A mes chers parents, pour leurs soutiens dans tout mon parcours scolaire, mais aussi de leurs support et amour dans ma vie.

A mes sœurs Dounia, qui m'a toujours encouragé et soutenu, Salsabile et Maissa qui sont une source d'amour et d'affection.

A ma nièce Serina, notre espoir et princesse je t'offre ce travail.

A tous mes amis Brahim, mohamed, Djalil, Chawki, youcef et Tadj qui ont été la meilleure compagnie qu'un homme puisse avoir.

A chahinez qui a fait en sorte que j'arrive là.

”

- OUADI Syphax

Remerciements

Les travaux effectués au cours de cette thèse n'aurais pu voir le jour sans les échanges et directives de notre encadrante madame BOURI Sihem, donc on tient à la remercier tout d'abord sur l'opportunité qu'elle nous a offert pour travailler sur un sujet aussi pertinent et transversal, et monter notre gratitude pour son accompagnement tout le long du parcours.

On remercie monsieur BOUZERARA Hocine, responsable gestion de site tramway Alger, qui nous a accompagnés tout le long du stage pratique au sein de SETRAM-Alger, et sa contribution en idées techniques et scientifiques sur notre thèse.

On tient ainsi à remercier tous les employés de l'entreprise SETRAM-Alger, au-delà du cadre formel de l'expérimentation ils ont été surtout d'agréables collègues contribuant à la bonne ambiance du lieu de travail.

Nous sommes sensibles à l'honneur que nous a fait monsieur Ghouti ABDELLAOUI maitre de conférences à l'ESSA Tlemcen, pour avoir accepté de présider et nous honorer de sa présence au sein du jury de soutenance du présent mémoire. Qui trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Enfin nous tenons également à adresser nos vifs remerciements au docteur Iman BOUSMAHA, maitre de conférences à l'ESSAT, et au professeur Lotfi MERAD, nous les remercions chaleureusement pour avoir accepté d'examiner le présent mémoire.

Merci enfin à tous ceux qui, de près ou de loin nous ont aidé et donc contribué au succès de ce travail.

Brahim DOUAG Syphax OUADI

Résumé :

Notre projet master consiste en étude de la réalisation d'un poste HT pour alimenter le réseau tramway de l'agglomération de Tlemcen.

Le dit projet vient en complément à notre projet d'ingénieur concernant l'étude technicoéconomique de l'installation électrique du tramway de Tlemcen.

Au début nous commençons par des rappels concernant le principe de fonctionnement et la définition de tous les équipements phares du Tramway ainsi que leurs dispositions ; en commençant par l'arrivée de l'énergie, la production, transformation enfin le transport de celle-ci dernière jusqu'à la mise en marche des rames. Nous entamons par la suite dans le chapitre II une vue d'ensemble de ce qu'est un poste HT suivi par la description des différents appareillages existants dans un poste. Nous terminons dans le chapitre III l'étude et la conception d'un poste HT propre au projet, pour enfin terminer par une conclusion.

Mots clés : poste HT, transformateur, disjoncteur, sectionneur, sous station, tramway.

Abstract :

Our Master project consists in the study of the realization of a HT station for the project of realization of a Tramway of agglomeration of Tlemcen.

The said project comes in complement to our engineering project concerning the technicaleconomic study of the electrical installation of the tramway of Tlemcen.

At the beginning we begin with reminders concerning the principle of functioning and the definition of all the key equipments of the Tramway as well as their provisions; by beginning with the arrival of the energy, the production, transformation finally the transport of this last one until the starting of the trains. We begin thereafter in chapter II an overview of what is a HV station followed by the description of the various existing apparatuses in a station. We finish in chapter III the study and the design of a HV substation specific to the project.

Key words: HT station, transformer, circuit breaker, disconnecter, substations, tramway

ملخص

يتكون مشروعنا الرئيسي في دراسة تحقيق محطة فرعية عالية التوتر لمشروع الترامواي لمدينة تلمسان. يكمل المشروع المذكور مشروعنا الهندسي المتعلق بالدراسة الفنية والاقتصادية للتركيب الكهربائي لترامواي تلمسان. في البداية نبدأ مع تذكير بشأن مبدأ التشغيل وتعريف جميع المعدات الرئيسية للترامواي فضلا عن أحكامها؛ بدءا من وصول الطاقة والإنتاج ، وأخيرا تحويل نقل هذا الأخير حتى بداية القطارات. ثم نبدأ في الفصل الثاني لمحة عامة عن ما يتبع محطة التوتر العالي من خلال وصف المعدات المختلفة الموجودة في محطة. نختتم في الفصل الثالث دراسة وتصميم محطة لتوليد توتر عالي و الخاصة بالمشروع

الكلمات الرئيسية : محطة عالية التوتر ، محول ، قاطع الدائرة ، قطع الاتصال ، المحطات الفرعية

Table des matières

Dédicaces	I
Remerciements	III
Résumé	IV
Abstract	IV
ملخص	V
Introduction générale	1
I. Réseau d'alimentation d'un tramway	2
I.1. Introduction	3
I.2. système d'électrification ferroviaire	3
I.3. Sous stations de traction	3
I.4. Architecture d'une sous station de traction	5
I.5. Types d'Alimentation	6
I.5.1. LAC (ligne arienne de contact)	7
I.5.2. Composition de la caténaire	8
I.5.3. Sectionnements	9
I.5.4. Alimentation par le sol (APS)	10
I.5.5. Feeder	11
I.5.6. Le pantographe	12
I.6. La ligne d'exploitation	13
I.7. Le matériel roulant	14
I.7.1. Composition du matériel roulant (Citadis-302)	14
I.7.2. Retour des courants de traction, courants vagabonds)	15
I.8. conclusion	17

II. Généralités sur les postes HT	18
II.1. Introduction	19
II.2. Définition d'un poste HT	19
II.3. Mode d'exploitation des postes HT	20
II.4. Types de postes HT	23
II.4.1. Poste extérieur	23
II.4.2. Poste intérieur à isolement dans le gaz (GIS)	23
II.4.3. Poste intérieur isolé à l'air	24
II.5. Les composants électriques d'un poste HT	25
II.5.1. Transformateur	25
III.5.1.1. Le circuit magnétique	25
III.5.1.2. Les enroulements	26
III.5.1.3. Le dispositif de refroidissement	27
III.5.1.4. Couplage de transformateurs	28
II.5.2. Transformateur de mesure	31
III.5.2.1. Transformateur de courant	31
III.5.2.2. Transformateur de tension	32
II.5.3. Système de protection	33
II.5.4. Disjoncteur haute tension	33
II.5.5. sectionneur	36
III.5.5.1. Sectionneur haute tension	36
III.5.5.2. Sectionneur de mise à la terre	37
III.5.5.3. Performance d'un sectionneur	38
II.5.6. Parafoudre	38

Table des matières

II.5.7. Source auxiliaire	39
III.5.7.1. Courant alternatif	39
III.5.7.2. Courant continu	39
II.5.8. Système de téléconduite	40
III.5.8.1. Télésurveillance	40
III.5.8.1. Télécommande	40
II.6. conclusion	41
III. Conception d'un poste HT pour le tramway de Tlemcen	42
III.1. Introduction	43
III.2. Type et localisation du poste HT	43
III.2.1. Postes source	43
III.2.2. Schéma unifilaire du poste HT	44
III.3. mode d'exploitation	46
III.3.1. Mode Normal	46
III.3.2. Mode Perturbé	47
II.4. Calcul de chutes de tension	48
II.5. conclusion	48
Annexes	49
NFC 34-110-2	49
EN 50122-1	49
NF EN 50163	49
NF EN 50163	49
NF C 52112-1.....	50
CEI 62271	50
Bibliographie	51

Table des figures

Figure I.1	Schéma synoptique de réseau de distribution électrique d'un tramway	4
Figure I.2	Schéma synoptique de la chaîne de production et distribution de la ligne	6
Figure I.3	deux LAC suspendues	7
Figure I.4	point d'injection sur la LAC (nourrice)	8
Figure I.5	section d'une LAC	9
Figure I.6	illustration d'un tramway roulant à travers une alimentation par sol	10
Figure I.7	boîtier d'un Feeder	12
Figure I.8	schéma représentatif d'un pantographe	12
Figure I.9	composant d'une rame citadis-302	14
Figure I.10	diagramme vu de côté du bogie Arpege	15
Figure I.11	schéma de conduite du courant dans une installation de tramway	16
Figure I.12	schéma de comportement du courant vagabond	16
Figure II.1	Schéma unifilaire avec simple jeu de barres	21
Figure II.3	Poste extérieur	23
Figure II.4	un poste HT isolé au SF6	24
Figure II.5	un poste HT isolé au SF6	24
Figure II.6	Changeur de prise	26
Figure II.7	transformateur refroidi à l'air naturel	27
Figure II.8	transformateur refroidi par circulation forcée d'huile	28
Figure II.9	Les trois types couplages dans des enroulements	30
Figure II.10	Transformateurs de courant au sol	31
Figure II.11	Transformateur de tension	32
Figure II.12	Disjoncteur SF6 haute tension	34

Table des figures

Figure II.13	Soufflage au SF6	35
Figure II.14	Sectionneur haute tension ouvert	37
Figure II.15	Sectionneur de mise à la terre	37
Figure II.16	Parafoudre (en anglais Surge Arrester)	38
Figure II.17	Jeu de batteries stationnaires	39
Figure III.1	vue générale sur les liaisons entre les postes source et le Dépôt	43
Figure III.2	Schéma unifilaire du poste HT pour le Tramway de Tlemcen	44
Figure III.3	Schéma du mode normal	46
Figure III.4	Schéma du mode perturbé	47

Liste des tableaux

TableauII.1 : domaine des tensions.	20
TableauII.2 : connexion entre enroulement	29
TableauIII.1 : équipements du poste HT.	20

Liste d'abréviations

LAC	Ligne Aérienne de Contact
SST	Sous-Station de Traction
BT	Basse Tension
MT	Moyenne Tension
HT	Haute Tension
HTB	Haute Tension classe B
HTA	Haute Tension classe A
THT	Très Haute Tension
APS	Alimentation Par le Sol
FC	File de Contact
NP	Nacelle Porteuse
M1	Caisse Motrice d'Extrémité 01
C1	Caisse Suspendue d'Extrémité 01
HPC	Haut Pouvoir de Coupure
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
SF6	Hexafluorure de soufre
MALT	Mise à la Terre
GIS	Gas Insulated Substation
BTA	Basse Tension classe A
BTB	Basse Tension classe B
TBT	Très Basse Tension classe

Introduction générale

Le but de notre mémoire de Master est de concevoir un poste HT destiné à l'alimentation du réseau tramway de l'agglomération de Tlemcen.

Comme nous l'avons signalé dans notre projet d'ingénieur, suite à la problématique apparue dans le tramway d'Alger. SETRAM a pris la décision de doter chaque projet de tramway d'un poste propre HT/MT destiné à l'alimentation électrique du tramway.

Situé à la jonction des réseaux de Transport et de Distribution, le poste HT/MT joue un rôle important pour les régies de distribution d'électricité.

Les postes électriques ont trois fonctions principales :

- Le raccordement d'un tiers au réseau d'électricité (aussi bien consommateur que producteur).
- L'interconnexion entre les différentes lignes électriques (assurer la répartition de l'électricité entre les différentes lignes issues du poste).
- La transformation de l'énergie en différents niveaux de tension.

Ils permettent le raccordement des installations privées au réseau de distribution publique.

Leur architecture répond aux prescriptions de la norme NF C13-100.

Notre travail est partagé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une présentation du Réseau d'alimentation d'un tramway
- Le deuxième chapitre traite sur les généralités du transformateur HT
- Le troisième chapitre traite la Conception d'un poste HT pour le tramway de Tlemcen

Chapitre I

Réseau d'alimentation d'un tramway

I.1. Introduction

Circulant sur une **voie ferrée**, le tramway est alimenté par une **ligne aérienne de contact (LAC)**, qui capte l'énergie électrique délivrée par les **sous stations de traction (SST)**, le long du **réseau du tramway**, par le biais d'un **pantographe** qui achemine une **tension utile (750V continue)** pour aboutir à la mise en marche du **matériel roulant**.

Dans la suite de ce chapitre nous allons illustrer l'architecture et les équipements présents sur le réseau électrique d'un tramway.

I.2. système d'électrification ferroviaire

Un système d'électrification ferroviaire est l'ensemble des moyens mis en œuvre pour alimenter en énergie électrique les trains (locomotive électrique ou rame automotrice électrique). Les trains sont alimentés en courant alternatif ou en courant continu. L'alimentation passe par un troisième rail ou une caténaire et le retour de courant se fait par les rails de la voie ou un quatrième rail dédié. [1]

I.3. Sous stations de traction

Une SST est située sur une ligne de tramway. Elle permet l'alimentation en énergie électrique d'une section de cette ligne.

Réparties sur le long de la ligne du tramway, la fonction principale des **SST** est d'abaisser la tension, captée du réseau électrique alternatif à haute tension, à une valeur utilisable pour les engins moteurs tout en la convertissant en tension continue (750V).

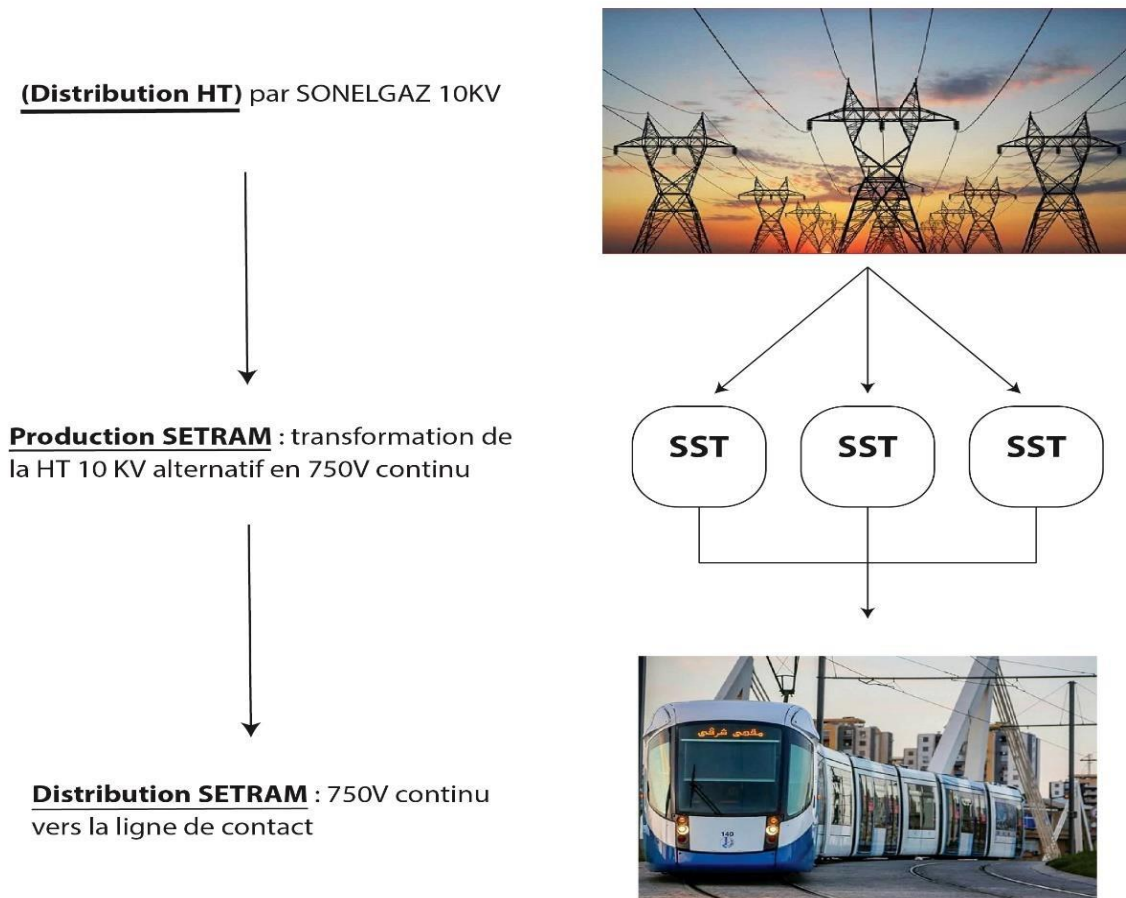


Figure I.1 : Réseau de distribution électrique du tramway d'Alger

La SST fournit deux types de tension :

- **Tension continue pour la traction**

Le transformateur de traction alimente en basse tension le redresseur qui à son tour fournit une tension continu de 750V ; passant à travers d'un sectionneur d'isolement automatique (SIA), d'un disjoncteur ultra rapide (DUR) et d'un sectionneur de ligne (SL).

- **Tension alternative pour l'alimentation des auxiliaires**

Le transformateur auxiliaire alimente le tableau général basse tension (TGBT) qui distribue la basse tension (BT) et assure la protection des équipements auxiliaires, de l'Armoire de Contrôle Commande ACC, l'Armoire d'Arrêt d'Urgence AAU, et l'éclairage des quais de stations voyageurs et les plaques de signalisation les plus proches.

La répartition des **SST** le long de la ligne permet :

- Une stabilité de la tension, dans une marge acceptable évitant ainsi les problèmes dus aux chutes de tension qui vont crescendo avec la distance de la ligne. Donc une répartition adéquate permet de réduire ces chutes.

- D'assurer une continuité de service, en cas de pannes survenant sur une SST ou pendant une de celle-ci.

I.4. Architecture d'une sous station de traction

C'est la disposition par blocs des différents équipements assurant la conversion de l'énergie fournie en **HT**, en énergie exploitable.

- Cellule haute tension : c'est l'arrivée à partir d'une ligne **HT** SONELGAZ Bloc
- transformateur, qui comporte deux transformateurs :
 - Un transformateur triphasé destiné à l'alimentation de la traction
 - Un transformateur auxiliaire monophasé destiné à l'alimentation du tableau TGBT
- Bloc redresseur : qui a pour rôle de redresser la tension alternative, captée du secondaire du transformateur, en une énergie continue exploitable par le matériel roulant.

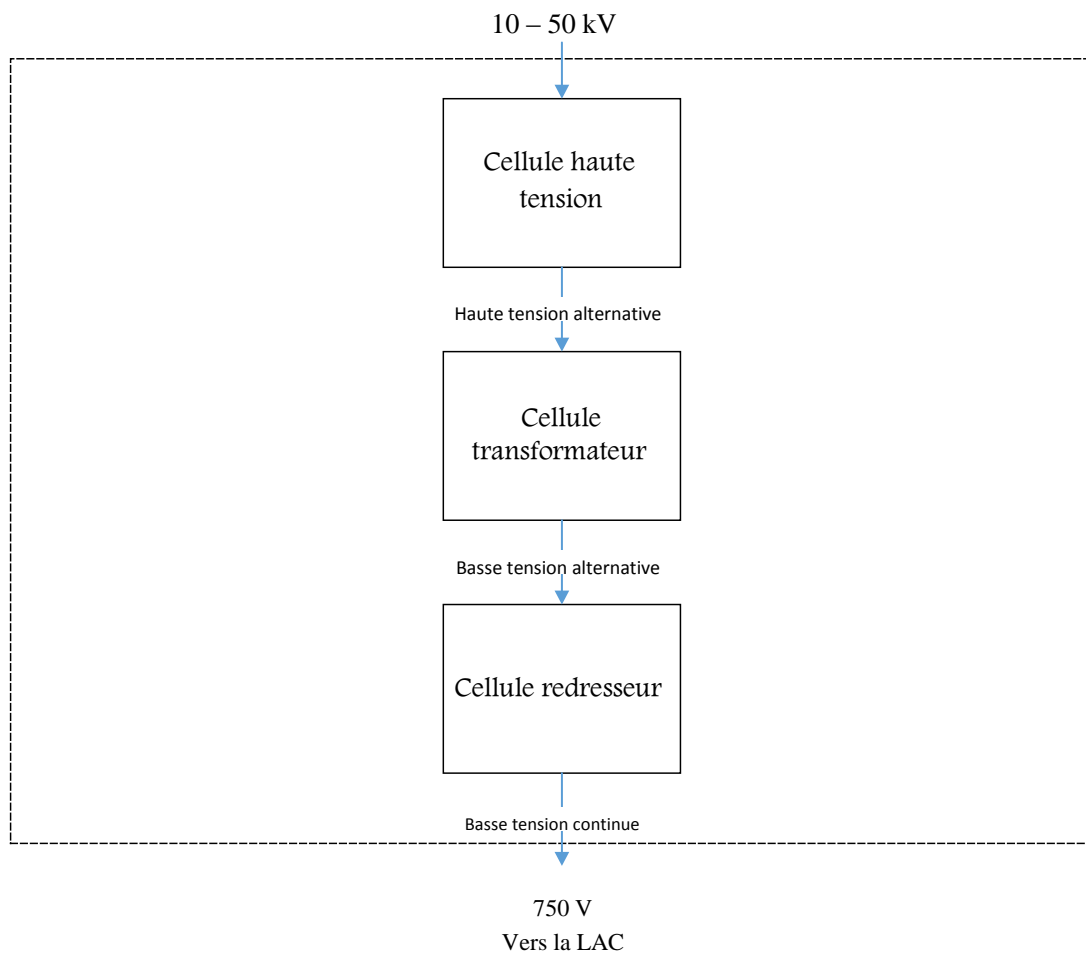


Figure I.2 : Schéma synoptique de la chaîne de production et distribution de la ligne

I.5. Types d’Alimentation

En électrification par courant continu, le "positif" est transmis aux engins de traction depuis les sous-stations par l'intermédiaire d'une caténaire. Le retour du courant à la sous-station se fait par les rails considérés comme étant négatifs. En effet, dans ce mode d'électrification, le conducteur retour de courant (le rail) est isolé de la terre afin d'éviter les courants vagabonds dans le sol, susceptibles d'engendrer de fortes corrosions sur des masses métalliques à proximité (ex : canalisations de gaz, etc...). Dans son mode de fonctionnement normal, le potentiel des rails par rapport à la terre est compatible avec la protection des personnes.

Pour l'alimentation du tramway on en distingue deux façons :

1.5.1. Ligne aérienne de contact (LAC)

Un fil conducteur est placé dans l'axe de la voie (voir Figure I.3), permettant à l'appareil de prise de courant articulé « pantographe » de capter l'énergie pour alimenter ses équipements de puissance. Le nombre de conducteurs électriques distribués dépend de la tension utilisée, de la vitesse de la ligne, du dimensionnement électrique nécessaire en fonction du nombre de circulations présentes simultanément sur un même secteur.

En modifiant sans cesse le point de contact, et ceci en formant un zigzag à la caténaire sur le plan horizontal entre les poteaux, on limite ainsi l'usure de l'archet tout en garantissant une qualité de contact optimale. Mais encore faut-il envisager que ce contact peut être altéré selon les saisons, L'été par forte chaleur, **la dilatation des caténaires peut provoquer des distensions et perturber l'accroche du pantographe.**



Figure I.3: Deux LAC suspendues

Note : Une ligne aérienne de traction électrique est appelée ligne de contact lorsqu'elle ne comporte qu'un ou deux fils de contact (FC). La caténaire est constituée d'un ou de deux fils de contact suspendus par des pendules à un ou deux câbles porteurs.

1.5.2. Composition de la caténaire

D'après la norme NFC 34-110-2 Conducteur en alliage de cuivre qui a le rôle de porter le fil de contact le long de la ligne ferroviaire a les dimensions suivantes :

- Un porteur de bronze 65.4 mm²
- Un fil contact cuivre 107 mm²
- Deux conducteurs de protection aérienne alu-acier (retour de courant) de 240/40 mm² si nécessaire
- Feeder d'alimentation 240/40 mm² si nécessaire
- Le poids total de la caténaire est de 1.60kg/m [2]

L'introduction du courant dans la **LAC** se fait via des nourrices (voir Figure I.4), qui empruntent le support de la **LAC** et se subdivisent en deux pour permettre d'acheminer le courant, et ce à cause de la présence des isolateurs entre le support et la **LAC**.



Figure I.4 : point d'injection sur la **LAC** (**nourrice**)

La disposition des supports à nourrices est à proximité de chaque sous-station ou près de chaque boîtier feeder. L'injection ne nécessite pas une synchronisation car on est en courant continu.

1.5.3. Sectionnements

En cas d'incident ou d'un mauvais fonctionnement sur une partie de la LAC on doit isoler celle-ci pour effectuer des réparations tout en laissant le reste de l'installation en fonction, et cela par un sectionnement adéquat de la partie affectée.

On distingue plusieurs types de sectionnements ayant des rôles différents :

- Le sectionnement à lame d'air dont le rôle est de permettre d'isoler électriquement une section de caténaire, des sections encadrantes. En effet, pour des raisons d'entretien, il peut être nécessaire de ne plus alimenter une portion de caténaire. Ce dispositif est plus ou moins analogue à un équipement tendeur (il assure donc, en plus de la séparation électrique, la fonction de tension mécanique) avec les adaptations nécessaires à l'isolement.



Figure I.5 : section d'une LAC

L'isolateur de section qui a rigoureusement la même fonction que le sectionnement à lame d'air mais a un encombrement bien moindre (et n'assure pas la fonction de tension mécanique). Il est utilisé soit sur les voies parcourues à faible vitesse.

1.5.4. Alimentation par le sol (APS)

L'**APS** est un type d'alimentation, développé par INNORAIL la filiale d'ALSTOM, il consiste à implémenter un troisième rail au milieu des 2 autres, Figure I.6, ainsi l'utilisation de frotteurs sous le tramway est primordiale pour le captage de courant, le troisième rail est fixé au sol via des supports isolants en céramique ou en matériaux composites et alimenté par une sous-station électrique. Ce type d'alimentation peut subvenir à certaines contraintes techniques, car cette méthode se concrétise en substituant, dans certaines zones de centre-ville ou de rues étroites, à la ligne aérienne de contact.

Elle est surtout destinée aux transports électriques sur espaces partagés avec d'autres modes ainsi pour éviter tout risque d'électrocution pour les usagers (piétons ou autres), des mesures de sécurité doivent être prises en considérations notamment la segmentation du 3ème rail en tronçons qui seront alimentés seulement lorsqu'ils sont totalement couverts par le tramway. [3]

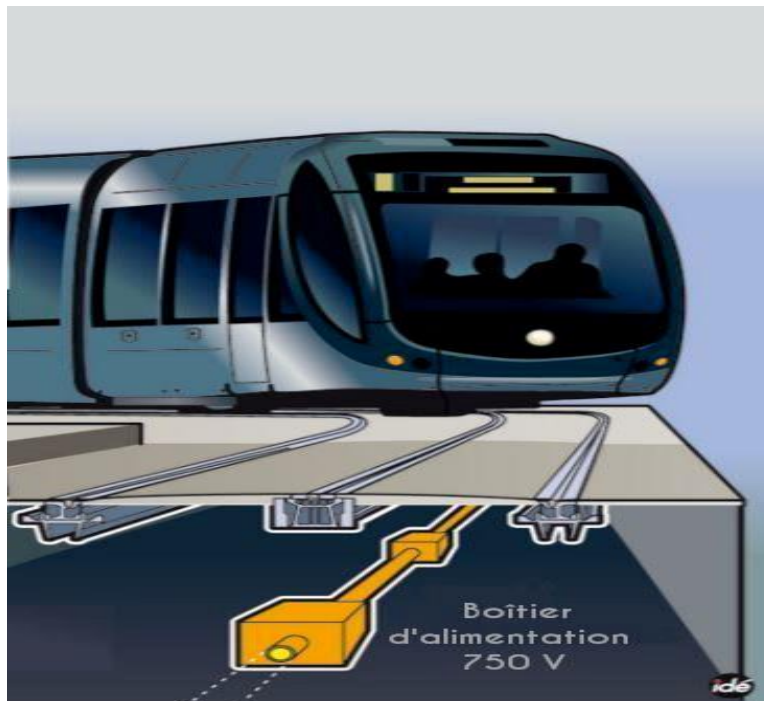


Figure I.6 : illustration d'un tramway roulant à travers une alimentation par sol

Dans le cas échéant, la continuité d'alimentation s'effectue par la présence d'un minimum de 2 frotteurs pour assurer la circulation du courant lors de l'extinction d'un tronçon, ce problème basique ressemble en tout point à celui lié au pantographe et la LAC, ce qui a pour recommandation la présence de 2 bandes d'usure.

L'optimisation de l'exploitation énergétique, ce résout par la récupération de l'énergie de freinage, ce qui ne l'est guère dans les systèmes à caténaire. En dernier lieu on peut citer la dimension esthétique qui se traduit par l'absence de câbles aériens qui pourrait nuire au charme de la ville.

Cependant avec ce changement de système, la présence d'autres contraintes plus ou moins inattendues, on cite par exemple :

- Le changement de matériau utilisé pour les frotteurs afin de rallonger leur durée de vie. -
- Mise en place d'aimants supplémentaires pour expulser tout arc électrique pouvant se produire à l'ouverture des contacteurs.

1.5.5. Feeder

Venant du lexique anglais (feed signifiant nourrir), le Feeder est un moyen de maintenir une continuité du courant. Il peut être utilisé pour maintenir la puissance mais aussi pour

assurer une liaison d'équilibrage entre plusieurs circuits. Le Feeder de puissance permet de distribuer à certains points clés du réseau une puissance constante. Il permet en quelque sorte de compléter en permanence la puissance de sortie, il prend la forme d'une ligne de distribution de courant électrique. Son implémentation est considérée comme un système d'appoint qui remédiera aux problèmes de chutes de tensions.

Il appartient au mode de transport électrique souterrain sachant qu'il est alimenté ainsi depuis la sous station la plus proche, on le trouve souvent dans des blocs exhibés près de la ligne comme le montre la figure ci-dessous.



Figure I.7 : boîtier d'un Feeder

L'injection du courant électrique dans la ligne est facilement faisable en absence des contraintes de couplages au réseau, ceci car le courant d'exploitation est au courant continu (déphasage nul et amplitude constante), ce qui signifie pratiquement qu'aucun risque de court-circuit lié à la différence de tension n'est envisagée.

1.5.6. Le pantographe

C'est un dispositif qui permet la transmission électrique de la caténaire vers le matériel roulant en question (la rame), ce qui est aussi appelé captage de courant, il fait circuler le courant par contact de frottement avec la LAC (ligne aérienne de contact). Sa forme ressemblant à un bras articulé en Z, du type mono bras, (voir Figure I.8), fixé sur le toit de la rame du tramway au moyen d'isolateurs, se déployant verticalement pour atteindre la LAC.

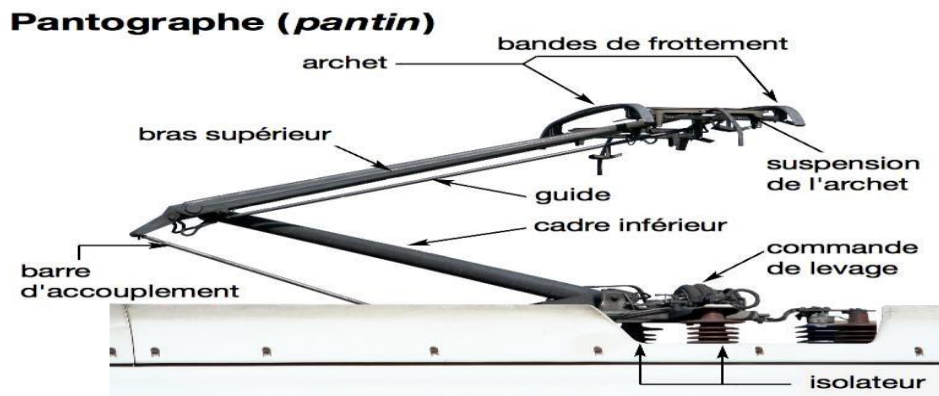


Figure I.8 : schéma représentatif d'un pantographe

Le dispositif se constitue d'une **tête de captage**, des **bras**, d'une **commande de levage** et d'un **cadre**, il peut être mû pneumatiquement ou électriquement.

Le courant est capté par les bandes de contact montées sur la tête du pantographe. Leur nombre et leur type dépendent de la nature et d'intensité du courant à transmettre, mais aussi de l'état de la caténaire. Il est donc considéré comme un organe critique ce qui soulève divers contraintes, citons l'exemple d'usure ; phénomène s'appliquant aux bandes de contact sachant que le point où s'effectue la continuité électrique est fixe tout au long de la ligne d'exploitation, ceci causera sous l'effet de petits arcs électriques une usure qui par conséquent engendrera une rupture de la pièce

L'intensité capté avant le décollage est maximale, dans un premier temps la rame ne bouge pas, les points de contact (fil-pantographe) sont fixes, soit une intensité très élevée et la vitesse nulle, la température augmente aux points de passage du courant. En cas de sollicitation très importante et prolongée, il pourrait y avoir fusion du fil de contact par une élévation très importante de la température

Pour remédier à ce problème il suffit de créer un effet de zigzag pour le point de contact, la ligne aérienne sera donc tendue en biais, entre les supports de la **LAC**, cela changera en permanence la position du point de contact sur un axe horizontal.

On constate bien que le pantographe du tramway possède un archet unipalette (à 2 bandes d'usure), le choix de 2 bandes a sûrement une dimension plus approfondie dans le domaine des matériaux, et aussi pour assurer la continuité électrique, lors du passage du pantographe par un isolateur.

1.6. La ligne d'exploitation

L'exploitation s'effectue par 2 lignes aller-retour (pour un seul itinéraire), pour chaque ligne on procède à une série de sectionnement pour optimiser les procédures de consignations routinière ou bien celle en cas de panne. La division en secteur s'effectue par la mise en place d'isolateurs sur la LAC. Ainsi l'alimentation totale de la ligne, est assurée par les **SST** montées en **II**.

Les sections sont elles aussi dans quelques cas divisées en **sous-sections** pour d'éventuels autres cas d'optimisations, mais dans ce cas le by-pass est assuré par des interrupteurs placés à proximité du point de sectionnement, ces derniers sont aussi utilisés pour les procédures de consignation.

1.7. Le matériel roulant

Le matériel roulant est, avec l'infrastructure et les procédures d'exploitation, une composante du système de transport ferroviaire, qu'il soit urbain (tramway, métro) ou interurbain (train). Le matériel roulant ferroviaire est composé de l'ensemble des véhicules, moteurs ou remorqués, conçus pour se déplacer sur une voie ferrée [4]

1.7.1. Composition du matériel roulant (Citadis-302):

Les rames sont composées de 5 modules articulés reposant sur 03 bogies dont 02 moteurs. Les bogies moteurs sont situés sous les caisses d'extrémité, dites motrices 1 et 2 (**M1** et **M2**). Le bogie porteur est implanté sous les caisses centrales dites nacelles porteuses (**NP**). Enfin, entre chaque motrice et la nacelle porteuse s'intercalent les caisses suspendues. **C1** du côté **M1** et **C2** du côté **M2** [5]

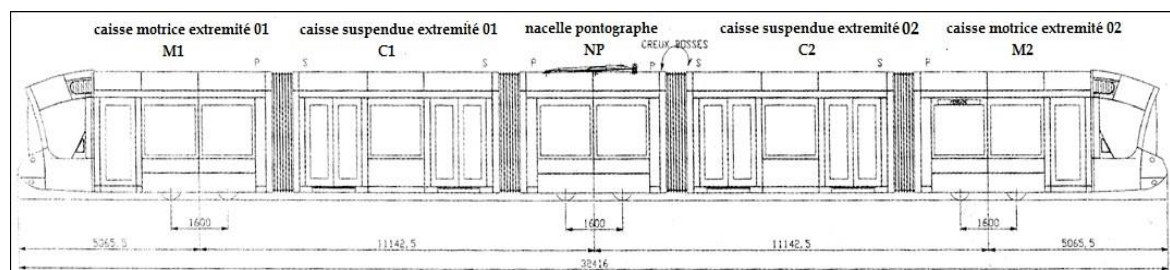


Figure I.9 : composants d'une rame citadis-302

Un bogie, ou boggie, est un chariot situé sous un véhicule ferroviaire, sur lequel sont fixés les essieux. Il est mobile par rapport au châssis du véhicule et destiné à s'orienter convenablement dans les courbes.

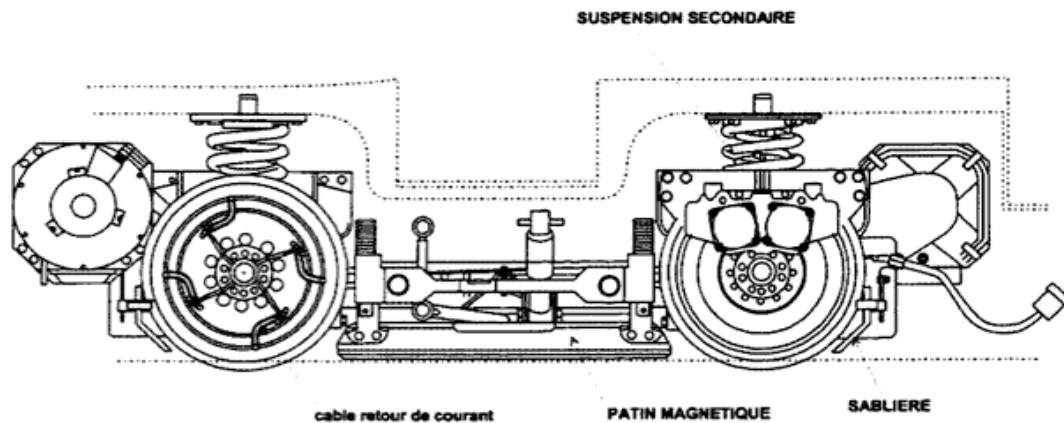


Figure I.10 : diagramme vu de côté du bogie Arpege

Les deux bogies moteurs sont équipés chacun de 2 moteurs asynchrones triphasés à refroidissement par eau d'une masse de 335 kg et d'une puissance de 120kW. Leur vitesse de rotation maximale est de 4550 tours par minute. La transmission de l'effort de traction est assurée par des engrenages et un pont moteur formant un essieu coudé virtuel. La lutte contre les phénomènes de patinage est assurée par des sablières qui disposent de tuyaux éjecteurs face à chaque roue du côté de l'extrémité du bogie. Seuls les éjecteurs à l'avant dans le sens de la marche sont actifs

1.7.2.Retour des courants de traction, courants vagabonds

Dans le cadre d'un roulement fer, les rails de roulement jouent un double rôle. Le premier sert de guidage mécanique lors de l'évolution du matériel roulant. Le second assure le retour de courant aux sous-stations de traction. Pour les tramways roulant sur pneus, le retour de courant peut se faire via un contact frotteur sur un troisième rail.

Le sol représente aussi involontairement un chemin de retour. Les rails de roulement ou l'éventuel troisième rail ne sont qu'imparfaitement isolés du sol, et permettent de ce fait une circulation partielle du courant de traction dans le sol

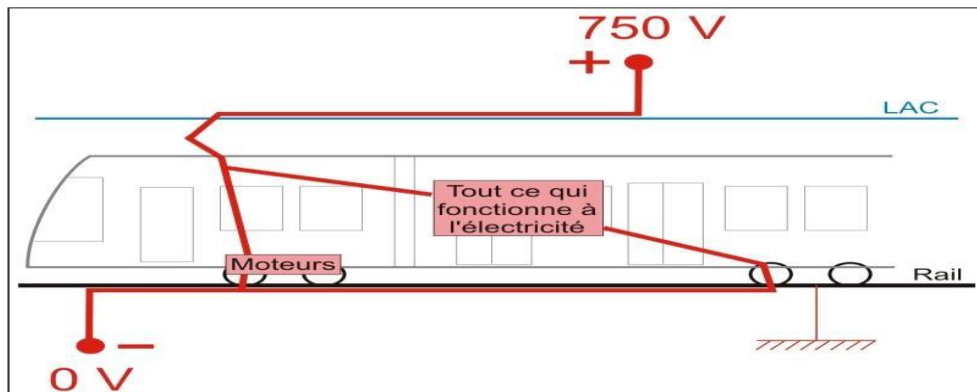


Figure I.11: Schéma de conduite du courant dans une installation de tramway

Une meilleure isolation des rails du sol réduit les courants vagabonds, mais peut conduire à l'apparition de potentiels électriques de contact dangereux pour les personnes. Pour assurer la protection du public et du personnel, les potentiels électriques des rails de roulement ne doivent pas dépasser les limites imposées dans la norme EN 50122-1 (120 V). [6]

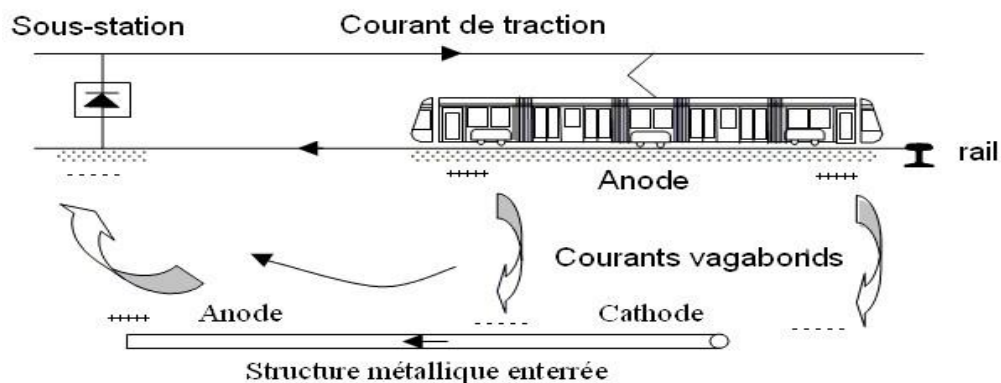


Figure I.12 : schéma de comportement du courant vagabond

La tension rail-sol sera ainsi surveillée et des contacteurs de mise à la terre automatisés seront placés au droit des sous-stations, à proximité des stations de passagers ou à tout autre endroit identifié par les simulations électriques (détection de potentiel rail-sol élevé en fonction du point kilométrique).[6]

I.8. conclusion

Le principe de fonctionnement ainsi que tous les équipements phares du tramway sont explicités, ainsi que leurs disposition, en commençant par l'arrivée de l'énergie, la production,

Chapitre I : réseau d'alimentation d'un tramway

transformation enfin le transport de celle-ci dernière jusqu'à la mise en marche des rames. Nous connaissons maintenant ce qui doit être exigé pour l'installation électrique du tramway notamment la valeur tension d'alimentation recommandée 750V, en courant continu. Cependant pour effectuer l'étude technico-économique nous devons définir les équipements nécessaires à l'installation, pour se faire nous aurons besoin de tout détail concernant la consommation d'énergie ainsi que le coût des différents équipements.

Chapitre II

Généralités sur les postes HT

II.1. Introduction

Ce chapitre commence par une vue d'ensemble de ce qu'est un poste HT suivi par la description des différents appareillages existants dans un poste.

L'ensemble des appareils de coupure ou d'isolement (disjoncteurs et sectionneurs), ainsi que l'appareillage de mesure et de protection propre à une liaison, sont regroupés dans une travée. Outre les jeux de barre, un poste comporte donc autant de travées que de liaisons qui y sont raccordées.

Cet ensemble doit satisfaire les contraintes suivantes :

- Contraintes climatiques (température, vents, neige...).
- Contraintes géographiques (altitude, bord de mer...).
- Contraintes environnementales (agressions chimiques, hauteur limitée, surface minimale au sol, bruit...).
- Contraintes électriques (isolement, échauffement, court-circuit...).
- Contraintes mécaniques (endurance mécanique des appareils de coupure, tenue des isolateurs...).
- Contraintes sismiques (tenue aux tremblements de terre selon les spécifications)

II.2. Définition d'un poste HT

Abréviation pour Poste Haute Tension, c'est un poste électrique servant à la transmission et la distribution de l'énergie électrique du point de vue général. C'est ainsi une partie d'un réseau électrique, située en un même lieu, comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et, éventuellement, des transformateurs. Un poste comprend généralement les dispositifs destinés à la sécurité et à la conduite du réseau (par exemple les protections) [7]

Nota : Selon le type de réseau auquel appartient le poste, il peut être qualifié par la désignation du réseau. Exemples : poste HTB/HTA, poste HTA/BT, poste HTA/HTB

Il permet d'abaisser la tension ou bien l'élever et celle-ci conformément aux exigences du réseau. En évoquant le terme d'abaissement on déduit donc qu'il contient principalement un transformateur.

Le domaine des tensions est classé conventionnellement selon chaque plage, nous aurons ainsi les dénominations suivantes BT/HT ... etc.

Ci-dessous le nom de chaque domaine de tension et sa plage de valeur [8] Tableau II.1 : Domaine des tensions.

Abréviation	TBT	BTA	BTB	HTA	HTB
Appellation	Très basse tension	Basse tension classe	Basse tension classe	Haute tension classe A	Haute tension classe B
Courant alternatif	$U \leq 50 \text{ V}$	$50 < U \leq 500 \text{ V}$	$500 \text{ V} < U \leq 1000 \text{ V}$	$1000 < U \leq 50 \text{ kV}$	$50 \text{ kV} < U$
Courant continu	$U \leq 120 \text{ V}$	$120 < U \leq 750 \text{ V}$	$750 < U \leq 1500 \text{ V}$	$1500 < U \leq 75 \text{ kV}$	$75 \text{ V} < U$

II.3. Mode d'exploitation des postes HT

Le plus souvent, un poste comporte un, deux, voire trois jeux de barres. Chaque liaison peut être reliée à l'un ou l'autre de ces jeux de barres. Il est ainsi possible de constituer des nœuds, que l'on peut éventuellement relier entre eux par l'intermédiaire d'une liaison courte, comportant des organes de coupure et d'isolement (disjoncteurs et sectionneurs), et appelée couplage.

Un deuxième jeu de barres se justifie non seulement parce qu'il permet une meilleure exploitation du réseau, mais aussi parce qu'il est pratiquement indispensable à la sécurité de fonctionnement du réseau.

La défaillance d'un jeu de barres rend en effet indisponible l'ensemble des liaisons qui y sont raccordées, et revêt donc un caractère particulièrement grave pour le fonctionnement du réseau si l'on ne dispose pas d'un second jeu de barres utilisable en secours. Il est par ailleurs nécessaire, à moins d'accepter de se priver de la totalité d'un poste, donc de l'ensemble des liaisons qui y sont raccordées, de disposer de deux jeux de barres pour les soumettre alternativement aux opérations d'entretien indispensables.

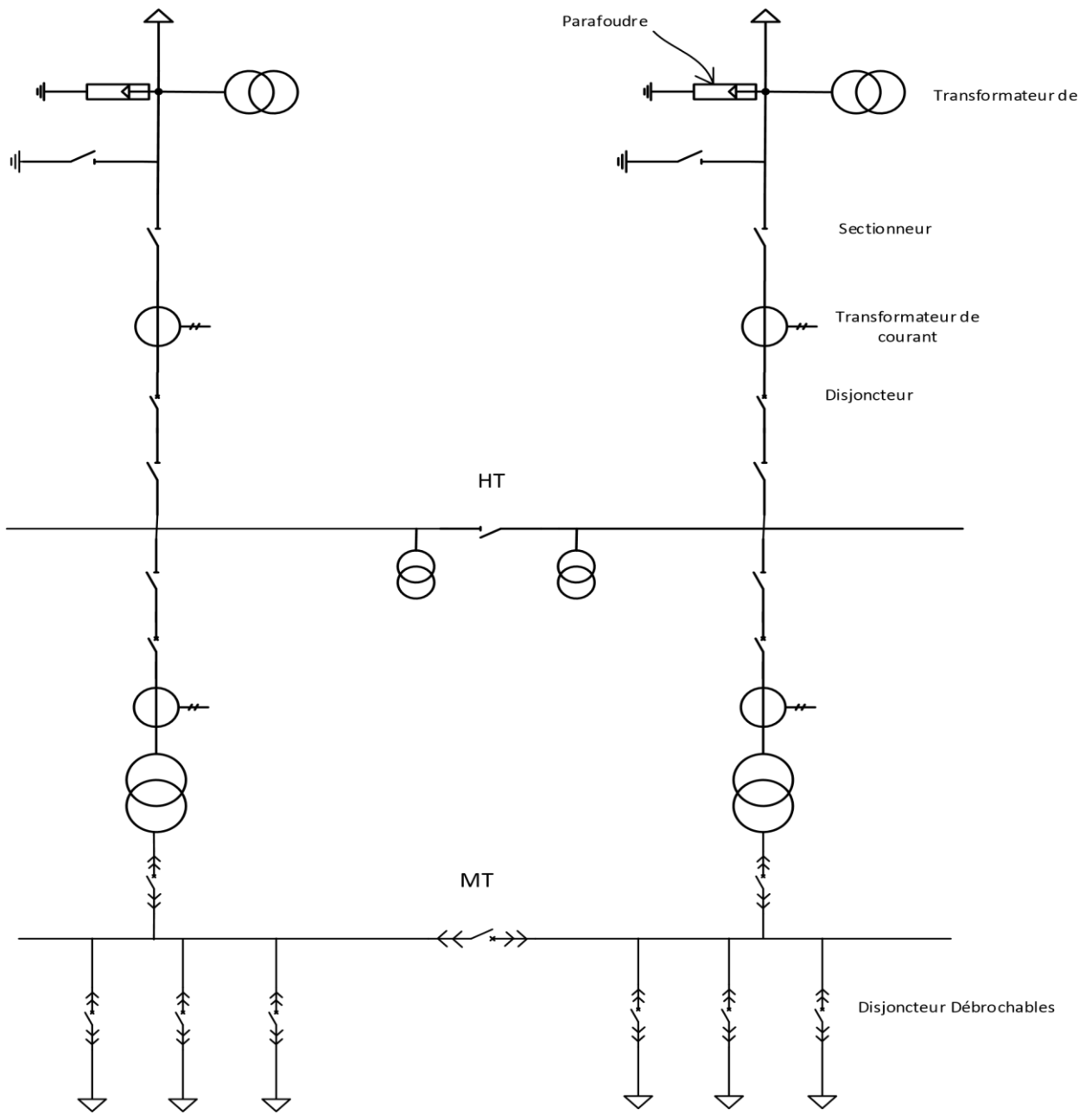


Figure II.1 : Schéma unifilaire avec simple jeu de barres

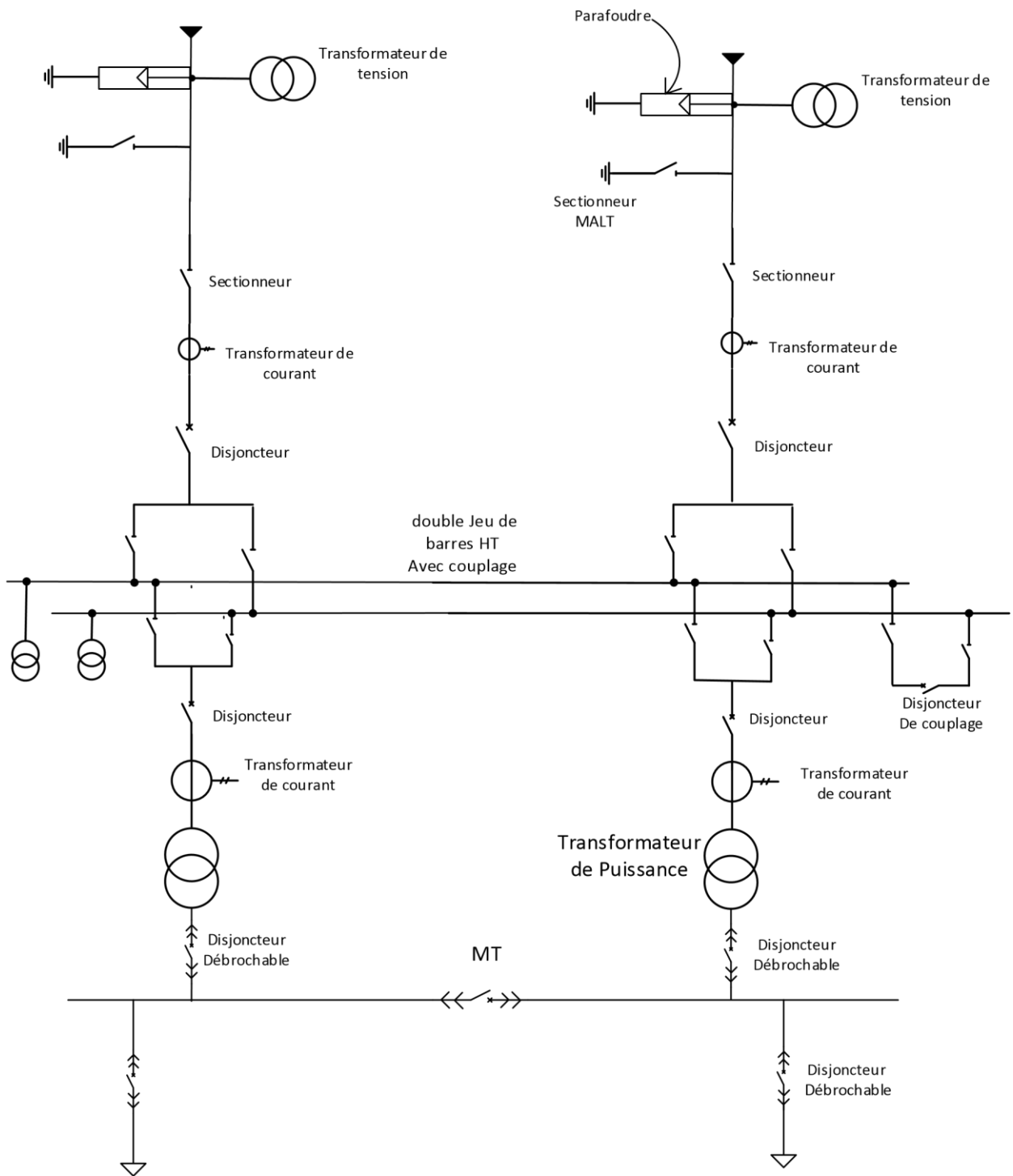


Figure II.2 : Schéma unifilaire avec double jeu de barres haute tension

II.4. Types de postes HT

II.4.1. Poste extérieur

Ce poste, comme son nom l'indique est réalisé en extérieur. Il se base sur la technologie isolée dans l'air, dite aussi conventionnelle. Dans ce cas les conducteurs électriques haute tension sont séparés par une distance d'air qui en assure l'isolation.



Figure II.3 : Poste extérieur

II.4.2. Poste intérieur à isolement dans le gaz (GIS)

Il se base sur la technologie à isolation gazeuse, dite aussi blindée. Dans ce cas, les conducteurs électriques sont encapsulés dans une enveloppe métallique remplie d'un gaz, l'hexafluorure de soufre (SF₆), dont les propriétés diélectriques très supérieures à celles de l'air permettent de réduire les distances d'isolation.

La technologie dite blindée possède des avantages techniques par rapport à la technologie dite conventionnelle : compacité, fiabilité, maintenance réduite. Cependant son coût de fabrication représente un investissement supérieur à celui de la technologie conventionnelle. Une analyse du coût du cycle de vie, en intégrant les aspects de coût du terrain, investissement, fiabilité, maintenance (détection de fuites) est finalement recyclage du gaz SF₆ et démantèlement peut montrer qu'elle est finalement globalement moins chère. Mais les conclusions de ce genre d'analyses sont fortement dépendantes du coût du terrain à l'endroit où le poste est implanté.[9]



Figure II.4 : un poste HT isolé au SF6

II.4.3. Poste intérieur isolé à l'air

Il se base, comme celui de l'extérieur sur la technologie isolée dans l'air, dite aussi conventionnelle. L'ensemble des appareils est installé à l'intérieur d'un bâtiment, les connexions inter-appareils sont à isolement dans l'air. Comparativement au poste extérieur ce type permet de réduire les dimensions du poste, les équipements haute tension, notamment les isolateurs, étant à l'abri des intempéries et de la pollution.



Figure II.5 : Un poste HT isolé à l'air

II.5. Les composants électriques d'un poste HT

Nous citons ci-après les principaux composants électriques entrant dans la composition d'un poste HT :[9]

- Disjoncteur
- Sectionneur et MALT (mise à la terre)
- Transformateur de mesure (courant, tension)
- Transformateur de puissance
- Système de protection
- Parafoudre
- Source auxiliaire :
 - courant alternatif
 - courant continu (batterie, chargeur) • Système de télé-conduite :
 - télécommande
 - télésurveillance
 -

II.5.1. Transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur servant à modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un dispositif de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement. Il est analogue à un engrenage en mécanique (le couple sur chacune des roues dentées étant l'analogue du courant et la vitesse de rotation étant l'analogue de la tension).

Dans un transformateur, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique que forme la carcasse du transformateur. Ces deux circuits sont alors magnétiquement couplés. Ceci sert à réaliser un isolement galvanique entre les deux circuits.

Il est constitué de deux parties principales, le circuit magnétique et les enroulements.

II.5.1.1. Le circuit magnétique

Le circuit magnétique d'un transformateur est soumis à un champ magnétique variable au cours du temps. Pour les transformateurs reliés au secteur de distribution, cette fréquence est de 50 ou 60 Hertz. Le circuit magnétique est le plus souvent feuilleté pour diminuer les pertes par courants de Foucault, qui dépendent de l'amplitude du signal et de sa fréquence.

Pour les transformateurs les plus courants, les tôles empilées ont la forme de **E** et de **I**, donnant la possibilité ainsi de glisser une bobine au sein des fenêtres du circuit magnétique ainsi constitué.

Les circuits magnétiques des transformateurs «haut de gamme» ont la forme d'un tore. Le bobinage des tores étant plus délicat, le prix des transformateurs toroïdaux est nettement plus élevé.

II.5.1.2. Les enroulements

Le conducteur électrique utilisé dépend des applications, mais le cuivre est le matériau de choix pour l'ensemble des applications à fortes puissances. Les fils électriques de chaque tour doivent être isolés les uns des autres pour que le courant circule dans chaque tour. Pour des petites puissances, il suffit d'utiliser des conducteurs magnétiques émaillés pour assurer cette isolation ; dans les applications à plus fortes puissances on entoure les conducteurs de papier diélectrique imprégné d'huile minérale. Pour les plus fortes puissances on utilise des conducteurs multibrins pour limiter l'effet de peau mais aussi les pertes par courants de Foucault.

Les enroulements du primaire ou du secondaire peuvent avoir des connexions externes, nommées prise (voir figure ci-dessous), à des points intermédiaires de l'enroulement pour permettre une sélection de rapport de tension. Les prises peuvent être connectées à un changeur automatique de prises en charge pour le contrôle de la tension du circuit de distribution.



Figure II.6 : Changeur de prise

II.5.1.3. Le dispositif de refroidissement

Dans le domaine de l'électricité en basse tension, la dissipation thermique des transformateurs s'effectue par simple convection naturelle de l'air autour des enroulements primaires et secondaires.

Dans le cadre des circuits électriques à haute tension et de forte puissance, les transformateurs peuvent être équipés de divers systèmes de refroidissement :

- Ailettes métalliques fixées tout autour de la cuve du transformateur qui évacuent la chaleur par convection naturelle ;



Figure II.7 : Transformateur refroidi à l'air naturel

Ailettes fixes associées à un condenseur à circulation forcée de l'huile d'isolation galvanique du transformateur. Pour les transformateurs les plus puissants, par exemple ceux des grandes lignes THT de 400 à 150 kV, on utilise des dispositifs de ventilation forcée d'un important flux d'air associé ou non à un échange thermique avec l'huile de la cuve (c'est ce qu'on appelle en transfert thermique la convection forcée). Le système de refroidissement est toujours couplé à un dispositif de capteurs de température jouant le rôle de thermostat (commande automatique de la mise en route de la ventilation).

L'huile contenue dans la cuve joue un double rôle caloporteur et diélectrique, pour ce qui consiste du type on utilise principalement de l'huile minérale.



Figure II.8 : transformateur refroidi par circulation forcée d'huile

II.5.1.4. Couplage de transformateurs

Dans les réseaux électriques triphasés, on pourrait idéalement envisager d'utiliser 3 transformateurs, un par phase. Dans la pratique, l'utilisation de transformateurs triphasés (un seul appareil regroupe les 3 phases) est généralisée : cette solution permet la conception de transformateurs bien moins coûteux, avec surtout des économies au niveau du circuit magnétique. Les transformateurs monophasés ne sont en fait guère utilisés, sauf pour de très grosses puissances apparentes (typiquement supérieures à 500 MVA), où le transport d'un gros transformateur triphasé est problématique et incite à l'utilisation de 3 unités physiquement indépendantes.

L'alimentation triphasée est principalement utilisée pour la production, transmission et distribution d'électricité à usage industriel.[10]

La connexion des enroulements primaire et secondaire peut être réalisée à l'aide des différentes combinaisons indiquées ci-dessous.

Tableau II.2 : Connexion entre enroulement

Enroulement Primaire	Enroulement Secondaire
Etoile	Etoile
Triangle	Triangle
Etoile	Triangle
Triangle	Etoile

La combinaison de l'enroulement primaire et de l'enroulement secondaire est réalisée en étoile-étoile, delta-delta, étoile-delta et delta-étoile.

a) Couplages existants

Pour un transformateur triphasé, il existe 3 types de couplage d'enroulement :

- Le couplage étoile, défini par la lettre Y.
- Le couplage triangle, défini par la lettre D ou Δ .
- Le couplage zig-zag, défini par la lettre Z.
- Liste des couplages envisageables : Yy0, Dd0, Dz0, Yd1, Dy1, Yz1, Yd5, Dy5, Yz5, Yd6, Dd6, dz6
- La majuscule est toujours pour la tension la plus forte.

b) Indice de couplage

C'est la caractéristique d'un transformateur triphasé indiquant le type de couplage réalisé au primaire et au secondaire mais aussi le déphasage entre le dispositif de tensions primaires et le dispositif de tensions secondaires. Les dispositifs triphasés de tension sont : «triangle» (D ou d) et «étoile» (Y ou y). La première lettre de l'indice de couplage est toujours en majuscule et indique le dispositif triphasé à tension la plus élevée ; la seconde lettre est en minuscule et indique le dispositif à tension la plus basse. Dans le dispositif «étoile», le «neutre» (point central de l'étoile) peut être sorti au bornier du transformateur : ceci est indiqué par la présence de la lettre N (ou n) dans l'indice de couplage. Il existe aussi le couplage zig-zag (z), utilisé surtout au secondaire ; il possède un neutre. Ce couplage permet, lors de la perte d'une phase au primaire, d'avoir au secondaire une tension quasiment semblable sur les trois phases.

Enfin, l'indice de couplage est complété par un «indice horaire» qui donne, par pas de 30° , le déphasage horaire en 12 (comme sur une montre) entre le primaire et le secondaire du transformateur (ex. : 11 = $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ en sens horaire ou 30° en sens anti-horaire).

A titre d'exemple, un indice de couplage «Dyn11» définit par conséquent un transformateur dont :

- le dispositif triphasé de tension élevé est en «triangle».
- le dispositif triphasé de tension basse est en «étoile» avec neutre sorti (indiqué par le «n»).
- le décalage entre les deux dispositifs est de 330° ($= -30^\circ$ ou bien $11 \times 30^\circ$).

Les couplages les plus utilisés sont : Yyn0, Yyn6, Yzn5, Yzn11, Dyn5, Dyn11.

Un couplage triangle est utilisé pour connecter le bobinage d'un moteur car il ne nécessite pas de neutre. Il permet la connexion d'une charge monophasée à un dispositif triphasé. Il est particulièrement utilisé dans la distribution de l'électricité.

Un couplage étoile permet d'avoir accès à deux tensions différentes : la tension ligne à ligne et la tension ligne à neutre. Il est particulièrement utilisé dans le transport de l'électricité [10].

Un transformateur avec un couplage zig-zag est parfois utilisé pour les mises à la terre.

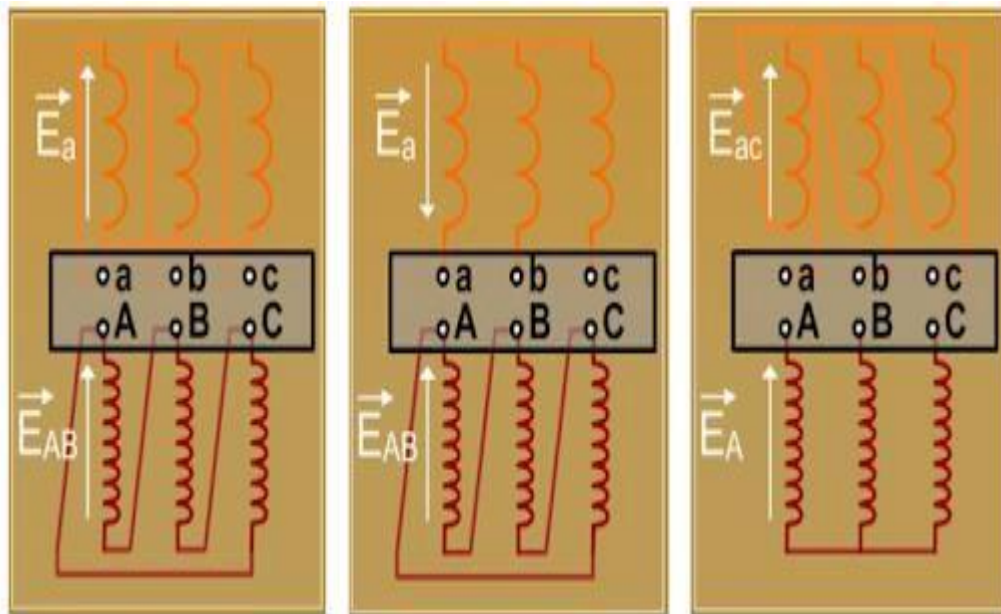


Figure II.9 : Les trois types de couplages dans des enroulements

II.5.2. Transformateur de mesure

II.5.2.1. Transformateur de courant

Dans les réseaux haute tension où des courants de plusieurs kiloampères transitent, la mesure de ces courants élevés est difficile. Pour la faciliter, les transformateurs de courant ont pour rôle de diviser la valeur du courant à mesurer par un facteur constant. Cette démarche

permet également de standardiser les équipements de mesure du courant et de les isoler diélectriquement du réseau haute tension.

L'équipement de mesure connecté à son secondaire est en général un ampèremètre, mais on peut également brancher un wattmètre ou des relais de protection. Tous sont conçus pour mesurer des courants de quelques ampères.

La caractéristique la plus importante d'un transformateur de courant est donc son rapport de transformation, exprimé par exemple sous la forme 400 A/1 A.

Selon la définition de la Commission électrotechnique internationale, un transformateur de courant est « un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle voisin de zéro pour un sens approprié des connexions ».[11]

Contrairement à un transformateur de tension, il a des impédances les plus basses possibles: au primaire, pour éviter de perturber le courant qu'il mesure; et au secondaire, pour être le plus proche possible d'un générateur de courant idéal.



Figure II.10 : Transformateurs de courant au sol

II.5.2.2 Transformateur de tension

Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale, un transformateur de tension est un « transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions ».

Il s'agit donc d'un appareil utilisé pour la mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique HTA ou HTB (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts.

La caractéristique la plus importante d'un "transformateur de tension" est donc son rapport de transformation entre le primaire et le secondaire, par exemple $400\,000\text{ V}\sim/100\text{ V}\sim$.



Figure II.11 : Transformateur de tension

On utilise aussi le terme transformateur de potentiel.

II.5.3. Système de protection

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique. Cette protection est nécessaire pour éviter la destruction accidentelle d'équipements coûteux et pour assurer une alimentation électrique ininterrompue. Elle doit également garantir la stabilité des réseaux électriques.

La Commission électrotechnique internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des

réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et, si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations

La plupart des systèmes de fourniture d'énergie électrique sont interconnectés et doivent bénéficier de telles protections.

Elles doivent être réglées en fonction de nombreux paramètres : architecture du réseau, régime de neutre, courant de court-circuit, quels sont les capteurs de mesure en place, sélectivité. Une étude réseau est donc nécessaire. La sélectivité est une qualité très importante pour la protection électrique, différentes méthodes existent pour la réaliser. Pour la protection, on divise le réseau électrique en zones délimitées par les disjoncteurs. Chaque zone doit être correctement protégée. Les zones se recouvrent pour ne laisser aucun point du réseau sans protection.

Les protections électriques mettent en œuvre différents éléments : des capteurs, des relais, des automates et des disjoncteurs. Elles fonctionnent typiquement en l'espace de quelques centaines de millisecondes. [12]

Chaque composant du réseau nécessite des types de protections spécifiques

II.5.4. Disjoncteur haute tension

Un disjoncteur à haute tension est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège), selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale¹. Il opère à la fois :

- ❖ dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique
- ❖ dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit dans le réseau provoqué par la foudre ou d'autres causes.

De par ses caractéristiques, un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel d'un réseau à haute tension, car il est seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et donc d'éviter que le matériel connecté sur le réseau soit endommagé par ce court-circuit.



Figure II.12 : Disjoncteur SF6 haute tension

La coupure d'un courant électrique par un disjoncteur à haute tension est obtenue en séparant des contacts dans un gaz (air, SF₆..) ou dans un milieu isolant (par exemple l'huile ou le vide).

Après séparation des contacts, le courant continue de circuler dans le circuit à travers un arc électrique qui s'est établi entre les contacts du disjoncteur.

À ce jour, les disjoncteurs à haute tension (72,5 kV à 1 100 kV) utilisent essentiellement le gaz ou l'huile pour l'isolement et la coupure, la technique de coupure dans le vide est limitée aux applications en moyenne tension avec quelques développements récents pour une tension assignée de 84 kV

Dans les disjoncteurs à gaz, le courant est coupé lorsqu'un soufflage suffisant est exercé sur l'arc électrique pour le refroidir et l'interrompre.

À l'état normal, le gaz contenu dans le disjoncteur est isolant, il permet de supporter la tension du réseau connecté à ses bornes. Lorsque les contacts du disjoncteur se séparent, l'intervalle entre les contacts est soumis à un fort champ électrique, le courant circule alors à travers un arc qui est un plasma (ou gaz ionisé) composé de molécules de gaz décomposées, d'électrons et d'ions. La température de l'arc devient très élevée, elle peut atteindre 20 000 °C ou plus au cœur de l'arc. Sous l'action du soufflage exercé sur l'arc lors du fonctionnement du disjoncteur, la température de l'arc diminue, les électrons et les ions se recombinent et le fluide retrouve ses propriétés isolantes. La coupure de courant est alors réussie.

Pour les disjoncteurs à haute tension, le principe de coupure retenu est la coupure du courant lorsqu'il passe par zéro (ceci se produit toutes les dix millisecondes dans le cas d'un courant alternatif à 50 Hz).

En effet, c'est à cet instant que la puissance qui est fournie à l'arc par le réseau est minimale (cette puissance fournie est même nulle à l'instant où la valeur instantanée du courant est nulle), on peut donc espérer, moyennant un soufflage suffisant, mettre à profit cet intervalle de temps pendant lequel le courant est de faible intensité pour refroidir suffisamment l'arc afin que sa température diminue et que l'espace entre les contacts redevienne isolant.

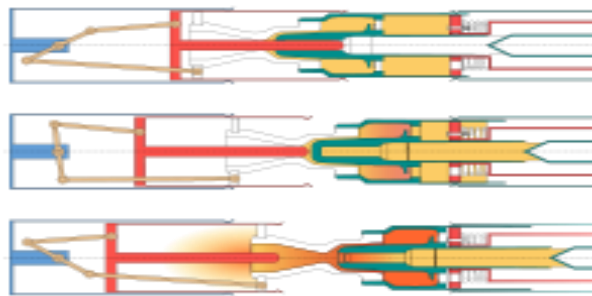


Figure II.13 : Soufflage au SF6

II.5.5. Sectionneur

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. L'objectif peut être d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique ou bien d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties.

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.

Le sectionneur, pour satisfaire aux normes en vigueur, doit pouvoir être condamné en position ouverte.

II.5.5.1. Sectionneur haute tension

La fonction principale d'un sectionneur haute tension est de pouvoir séparer (un disjoncteur isole mais ne sépare pas : notions de distance) un élément d'un réseau électrique (ligne à haute tension, transformateur, portion de poste électrique...) pour permettre à un opérateur d'effectuer une opération de maintenance sur cet élément sans risque de choc électrique. Le sectionneur doit :

- indiquer sans ambiguïté sa position : on parle quelquefois de «coupure visible».
- pouvoir être cadenassé pour garantir à l'opérateur qu'un circuit isolé ne sera pas refermé par inadvertance.
- posséder une isolation entre les limites, qui garantisse à l'opérateur qu'une surtension ne puisse pas mettre en défaut cette isolation et remettre malencontreusement le circuit sous tension.



Figure II.14 : Sectionneur haute tension ouvert

II.5.5.2. Sectionneur de mise à la terre

On combine souvent les sectionneurs haute tension et BT de forte puissance avec une mise à la terre (ou MALT ou sectionneur de terre). Il s'agit d'un organe de sécurité, dont le but est de fixer le potentiel d'une installation préalablement mise hors tension, pour permettre l'intervention humaine en toute sécurité sur une installation.



Figure II.15 : Sectionneur de mise à la terre

II.5.5.3. Performance d'un sectionneur

Les performances des sectionneurs à haute tension sont définies dans les normes internationales, telles que CEI.

La performance principale qui caractérise un sectionneur est sa tenue au courant de court-circuit, c'est-à-dire le courant maximal qu'il est capable de supporter lorsqu'il est fermé. Les valeurs de tenue au courant de court-circuit sont comprises typiquement entre 25 kA et 63 kA. La tenue diélectrique est un autre paramètre important, caractérisant la capacité à isoler du sectionneur, même en présence de surtensions.

Ces performances sont vérifiées par des essais effectués en vraie grandeur, suivant des normes telles que la CEI 62271 dans des laboratoires spécialisés.

II.5.6. Parafoudre

Selon le vocabulaire électrotechnique international, un parafoudre est un « appareil destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées et à limiter la durée et souvent l'amplitude du courant de suite ». On emploie aussi le terme parasurtenseur . Le terme de parafoudre désigne normalement les dispositifs contre les surtensions à base d'éclateurs.



Figure II.16 : Parafoudre (en anglais Surge Arrester)

Les éclateurs sont composés de deux électrodes face-à-face dans un milieu qui peut être l'air ambiant (éclateur à air), de l'air mais dans un milieu clos (à air encapsulé) ou du gaz (éclateurs à gaz). Au-delà d'une certaine tension entre les bornes, donc d'un certain champ électrique entre les électrodes, un amorçage se produit et le courant passe en formant un arc électrique.

Les éclateurs sont très robustes et permettent de dévier des courants de foudre importants ; cependant l'arc électrique qui apparaît lors du fonctionnement est maintenu par le courant que débite le réseau : il faut donc prévoir la coupure de ce court-circuit. C'est le principe des cornes d'amorçage que l'on voit sur les équipements de distribution d'électricité mais ils sont également utilisés en basse tension.

II.5.7. Source auxiliaire

II.5.7.1. Courant alternatif

Cette alimentation sert à faire fonctionner tous les auxiliaires du poste : éclairage, air conditionné, alimentation des chargeurs batterie ainsi que les équipements fonctionnant au courant alternatif.

II.5.7.2. Courant continu

Il est une source fiable et sûre pour cela toute les protections, les organes de manœuvres des disjoncteurs des sectionneurs..., éclairage de secours, signalisation... fonctionnent au courant continu. Donc il est prévu pour cette alimentation un ou deux jeux de batteries stationnaires d'une capacité suffisante pour assurer l'autonomie du poste ainsi que des chargeurs de batterie.



Figure II.17 : Jeu de batteries stationnaires

II.5.8. Système de téléconduite

Le système téléconduite représente une solution rentable pour la conduite et l'exploitation des réseaux électrique. En effet, l'utilisation des techniques de téléconduite permettent de maîtriser la conduite en temps réel des principaux ouvrages. De même, la souplesse de l'exploitation que procure un système de téléconduite permet à l'opérateur de prendre rapidement les décisions nécessaires et de les mettre en application. D'où l'intérêt des dispositifs de télésurveillance et de télécommande qui permettent de contrôler l'état des réseaux et d'agir avec rapidité en évitant autant que possible les déplacements coûteux en temps d'intervention [12]

II.5.8.1. Télésurveillance

La télésurveillance a la capacité d'analyser et de faire la synthèse des données reçues afin de fournir automatiquement et en continu toutes les informations nécessaires pour conduire le réseau en temps réel. Elle regroupe toutes les signalisations du réseau comme le déclenchement ou l'enclenchement éventuel des appareils, la mesure des consommations instantanées ou pondérées dans les différentes parties du réseau électrique, et toute autre information permettant de connaître l'état réel du réseau. [12]

II.5.8.2. Télécommande

La commande à distance de l'ouverture ou de la fermeture des appareils de puissance est l'exemple élémentaire de la télécommande. L'application pratique se fait par les interrupteurs et les disjoncteurs HTA télécommandés.

Le rôle de la commande est de faire exécuter un ensemble d'opérations ou de procédés en fixant des consignes de fonctionnement qui agissent directement sur les actionneurs du procédé pour assurer :

- ❖ Le fonctionnement en l'absence de défaillance.
- ❖ La reprise ou gestion des modes.
- ❖ Les traitements d'urgence.
- ❖ Une partie de la maintenance corrective. [12]

II.6. Conclusion

Nous avons défini dans ce chapitre qu'est-ce qu'un poste HT, puis nous avons entamé les différents modes de son exploitation, pour terminer par traiter ses différents composants. Maintenant qu'on a une idée sur l'architecture du poste, nous allons proposer un poste HT pour assurer l'alimentation des différentes sous-stations

Chapitre III

**Conception d'un poste HT pour le tramway de
Tlemcen**

III.1. Introduction

Ayant opté pour l'acquisition d'un poste HT propre à SETRAM nous allons développer dans ce chapitre la conception d'un tel poste.

III.2. Type et localisation du poste HT

Le meilleur endroit pour édifier ce poste sera à l'extrémité du tronçon commun aux deux lignes où est situé le dépôt, il sera mitoyen à la future gare SNTF.

Dans le souci de point de vue écologique, et dans le but d'économiser la superficie du terrain où il sera implanté, il serait préférable que le poste soit du type blindé à SF6 comme diélectrique.



Figure III.1 : vue générale sur les liaisons entre les postes source et le Dépôt

III.2.1. Postes source

Afin d'assurer une sécurité d'alimentation, il serait préférable de prévoir deux arrivées en 60kV. Et ce, à partir du poste d'Abou Tachefine et celui de Sidi Yacoub. Les distances respectives à partir du Dépôt sont de **5 210 m** et de **6 380 m** par rapport à Abou Tachefine et Sidi Yacoub. Les liaisons à partir de ces deux postes seront en souterrain vu que les passages sont dans un milieu urbain.

III.2.2. Schéma unifilaire du poste HT

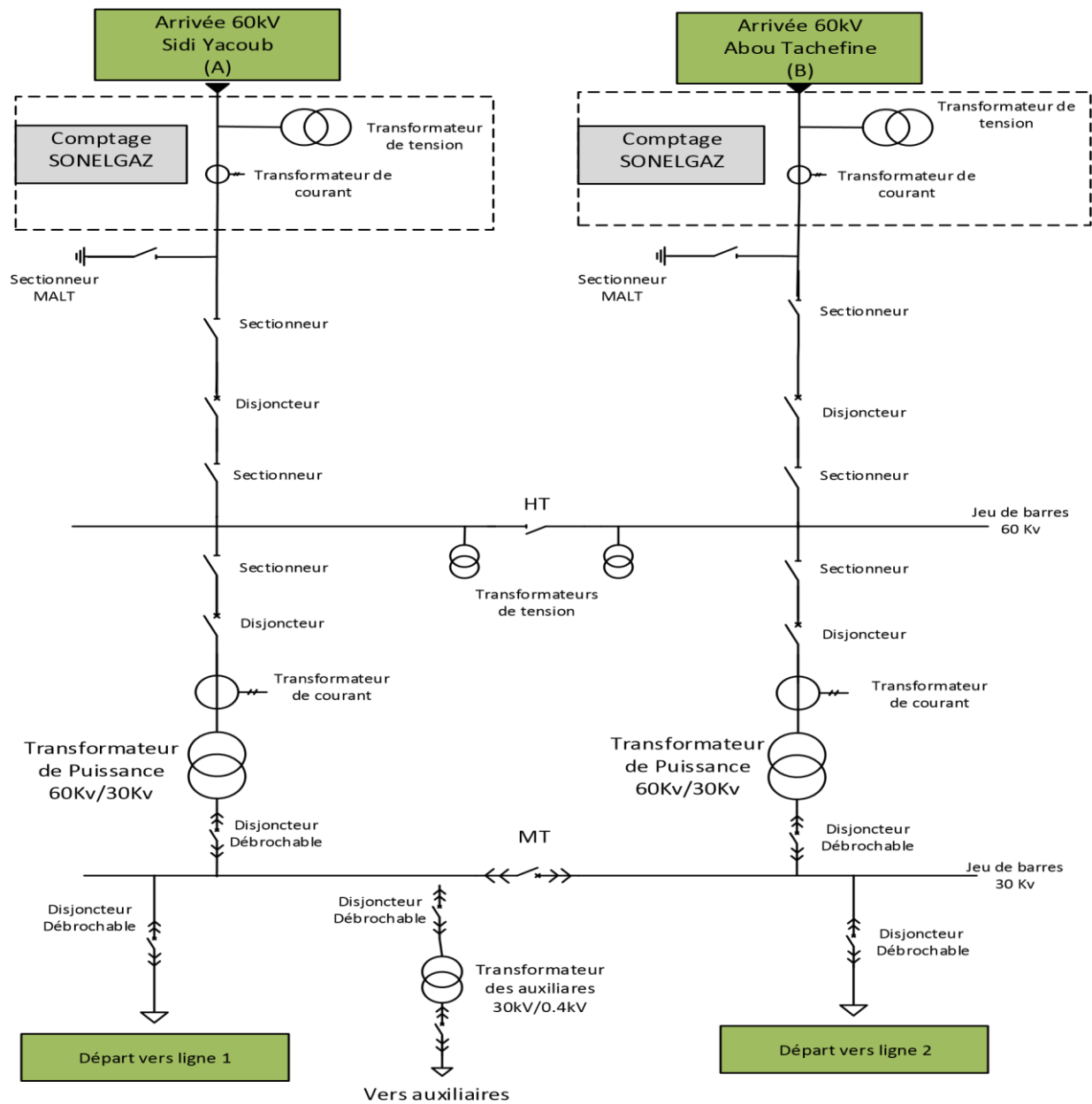


Figure III.2 : Schéma unifilaire du poste HT pour le Tramway de Tlemcen

D'après les données de notre d'ingéniorat, nous estimons la puissance apparente totale de l'installation du tramway à 17 424 kVA.

Liste des équipements sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau III.1 : Equipements du poste HT

N° d'ordre	Désignation	Quantité	Caractéristiques
01	Transformateur de puissance	2	60kV/30kV ; S=20 MVA ; Couplage Dd0
02	Disjoncteur (côté 60kV)	5	Courant nominal = 170 A
03	Sectionneur (côté 60kV)	6	Courant nominal = 170 A
04	Sectionneur MALT	2	
05	Disjoncteur (côté 30kV)	5	Courant nominal = 350 A
06	Redresseur batteries	1	
07	Transformateur des auxiliaires	1	30kV/0.4kV ; S=100 kVA ; Couplage Dyn0
08	Disjoncteur des auxiliaires (côté 30kV)	2	Courant nominal = 4 A
09	Disjoncteur des auxiliaires (côté 0.4 kV)	1	Courant nominal = 160 A
10	Jeu d'éléments de batteries nécessaires pour 48Vcc	1	

III.3. Mode d'exploitation

III.3.1. Mode Normal

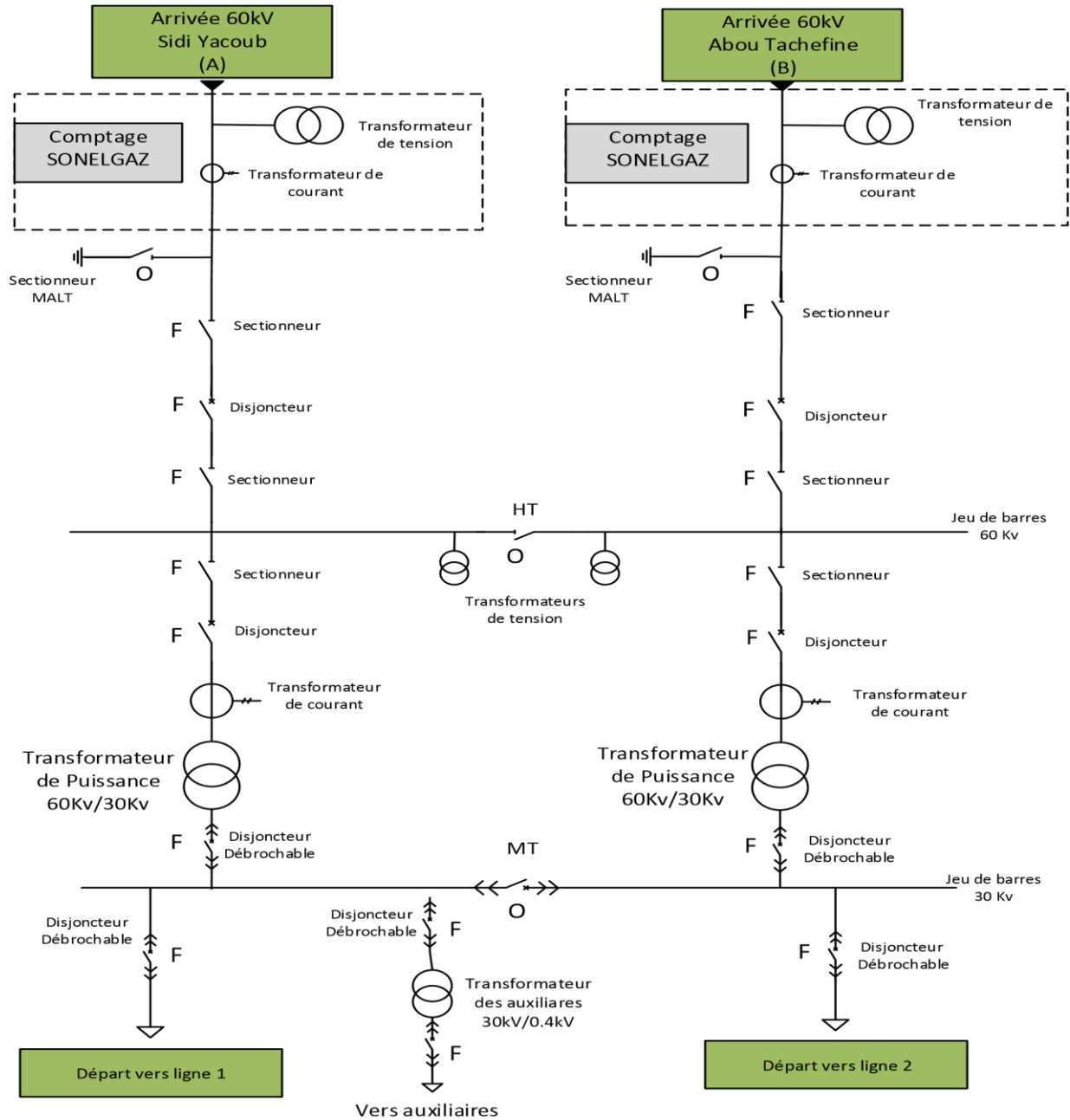


Figure III.3 : Schéma du mode normal

En mode normal les disjoncteurs de couplage côté 60kV et 30kV sont ouverts, les autres disjoncteurs seront fermés, comme illustrés ci-dessus, et ce pour assurer une alimentation régulière des différentes installations.

III.3.2. Mode Perturbé

On suppose un manque de tension à partir de la source A

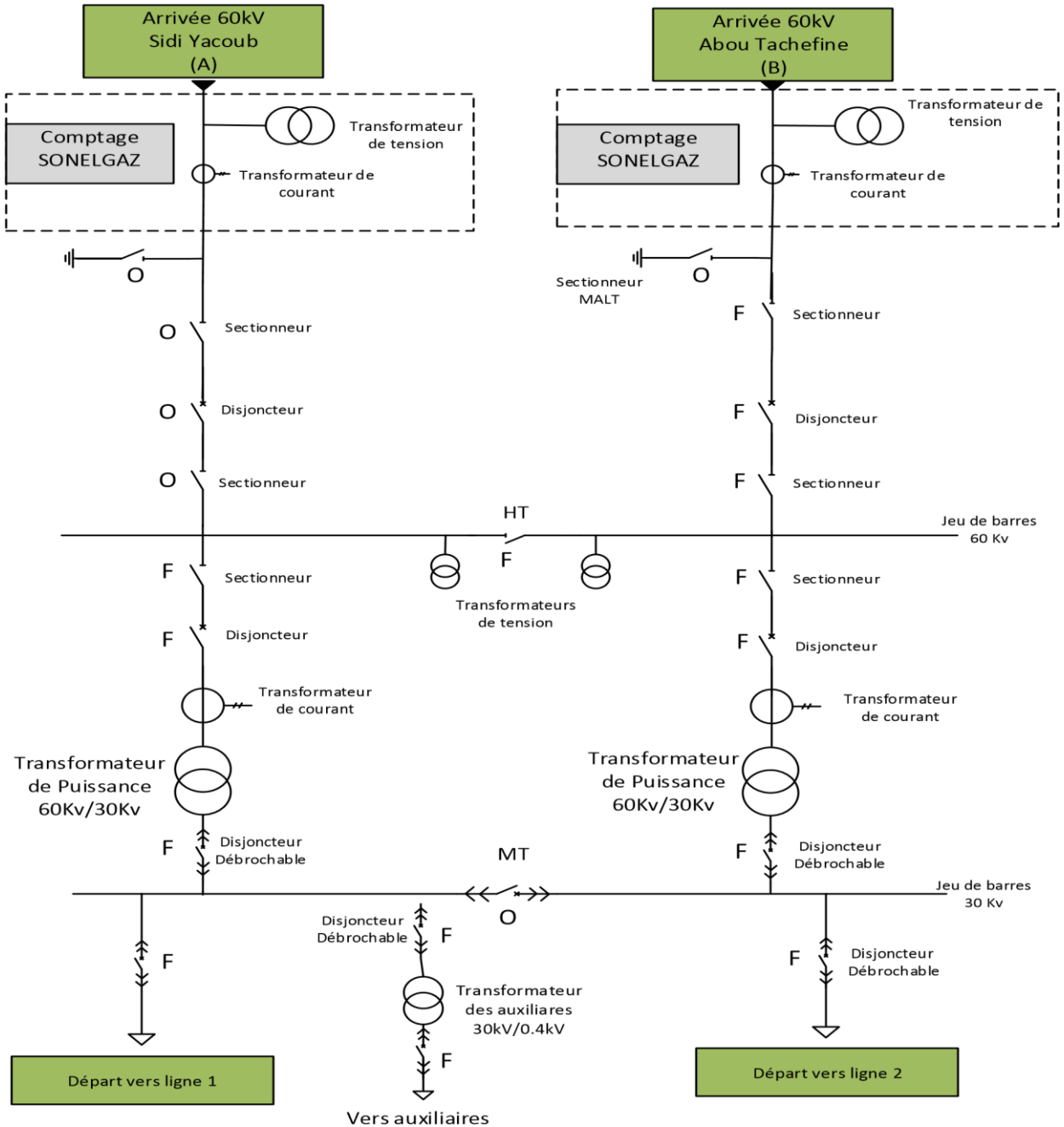


Figure III.4 : Schéma du mode perturbé

Dans ce cas on isole la source A et on ferme le disjoncteur de couplage côté 60kV pour assurer la continuité de service.

III.4. Calcul de chutes de tension

On prend comme exemple la liaison côté 30kV pour la ligne 2, entre le Dépôt et la dernière sous-station au niveau de Chetouane, elle est de type souterrain en **30kV**. La distance est de **10 km**, sachant que pour des distances inférieures à 50km on néglige l'effet capacitif du câble.

On prend comme câble le type YXC8VZ3V-R (18/30 kV) dont :

Une section de 3x150/25, l'inductance kilométrique est de : 0,36 mH/km, la résistance kilométrique : 0,124 Ohm/km [13]

Nous obtenons une chute de tension de 1 kV qui représente 3.33% de la tension nominale. [14]

III.5. Conclusion

D'après ce qui précède nous constatons que ce poste est réalisable et répondra aux exigences du projet. Cependant le fait qu'il est situé en milieu urbain il est soumis à des contraintes dont le coût de sa réalisation deviendrait onéreux car il n'est pas possible de réaliser un poste HT électrique standard.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons proposé la réalisation d'un poste de transformation HT pour alimenter l'installation du tramway de Tlemcen et qui répondra aux exigences du projet.

Cependant, le fait qu'il soit situé en milieu urbain, il est soumis à des contraintes dont le coût de sa réalisation deviendrait onéreux, entre autres l'utilisation de câbles haute tension souterrains (de 30kv et de 60kv) sur des distances relativement importantes et l'édification d'un poste type blindé, car il n'est pas possible de réaliser un poste HT électrique standard. Il nous semble que cette réalisation engagera des dépenses supplémentaires que ne sont pas si nécessaires car nous pensons que SONELGAZ pourrait assurer une alimentation adéquate au projet sans passer par ces dépenses supplémentaires. Son réseau 10 kV et 30 kV est assez réparti en milieu urbain de sorte qu'elle peut couvrir toutes les sous-stations du projet, comme c'est le cas à Alger. Ainsi nous économiserons des dépenses en câbles et en poste proprement dit.

Quant aux problèmes soulevés de la part de SETRAM concernant les chutes de tension ; tout d'abord il faut signaler que le niveau de tension est 10kV et non 380V domestique. Les perturbations qui surviennent sur le réseau domestique sont dues en grande partie à de mauvaises prévisions car les postes actuels sont presque tous surchargés, chose qui ne respecte pas les normes d'exploitation normale d'un réseau. Donc SONELGAZ est tenue de répondre aux exigences du client selon le contrat établi entre les deux parties. Il y a lieu aussi de rappeler que SONELGAZ détient le monopole de la distribution d'électricité.

Annexes

Normes

NFC 34-110-2

Fils conducteurs en cuivre pur destinés à l'alimentation des locomotives électriques et des tramways par captage du courant par l'utilisation d'un pantographe.

EN 50122-1

La présente Norme Européenne spécifie les exigences relatives aux mesures de protection concernant la sécurité électrique dans les installations fixes associées à des systèmes de traction en courant alternatif et/ou continu et dans toutes les installations susceptibles d'être affectées par le système d'alimentation de traction. Elle s'applique également à toutes les installations fixes qui sont nécessaires pour garantir la sécurité électrique lors des travaux de maintenance réalisés sur des systèmes de traction électrique

NF EN 50163

La présente Norme Européenne spécifie les caractéristiques principales des tensions d'alimentation des réseaux de traction, tels qu'installation près de traction, incluant les appareils auxiliaires alimentés par la ligne de contact, et matériel roulant, pour l'installation dans les applications suivantes : - chemin de fer; - système guide de transport tel que tramway, chemin de fer souterrain ou carrières, chemin de fer de montagne et trolley bus ; - système de transport de matériaux.

Cette norme ne s'applique pas aux : - système de traction des mines dans les mines souterraines; - grues, plates-formes mobiles en équipement similaire de transport en rails, structures temporaires (par exemple : structures d'expositions) pour autant qu'elles ne sont pas alimentées directement à travers des transformateurs connectés au système de ligne de contact et ne sont pas mises en danger par le système d'alimentation de la traction ; - véhicules

suspendus à des câbles ; - chemins de fer funiculaires. Cette norme traite des surtensions de longue

NF C 52112-1

Transformateurs triphasés de distribution immergés dans l'huile, 50 Hz, de 50 à 2500 kVA, de tension la plus élevée pour le matériel ne dépassant pas 36 kV - Partie 1 :

Prescriptions générales et prescriptions pour les transformateurs avec une tension la plus élevée pour le matériel ne dépassant pas 24 kV

CEI 62271

Les normes CEI de la série 62271 sont relatives à l'appareillage électrique à haute tension. Un système commun de numérotation a été établi pour les normes tombant sous la responsabilité du Sous-Comité 17A (appareillages électriques à haute tension) et du Sous-Comité 17C (assemblages d'appareillages à haute tension) de la CEI qui ont en charge les normes de l'appareillage électrique à haute tension

Bibliographie

- [1] <https://www.techno-science.net/definition/14911.html>
- [2] <https://www.enicab.dz/cables/Catenaire.pdf>
- [3] <https://fac.umc.edu.dz/fstech/cours/G%20Transport/G%20Transport/TE/Le%20mat%C3%A9riel%20roulant%20M1TE.pdf>
- [4] <http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/88-040les-rames-citadis-tga-302>
- [5] Modélisation d'un réseau électrique de tramway : du composant au système -Eric Morin
- [6] http://www.electrosup.com/poste_electrique.php
- [7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Poste_%C3%A9lectrique#:~:text=Selon%20la%20d%C3%A9finition%20de%20la,des%20b%C3%A2timents%20et%2C%20%C3%A9ventuellement%2C%20des
- [8] <http://www.habilitazionelectrique-br.org/1-electricite/les-domaines-de-tension>
- [9] Système d'énergie électrique guide de références les postes « HT/MT », ELEC International Symposium, édition 1998.
- [10] http://www.electrosup.com/transformateur_electrique.php
- [11] Étude d'un système de supervision et de contrôle SCADA du réseau électrique de la Sonelgaz SDA.
- [13] <https://www.vatan.com.tr/fr/products/18-30-kV-XLPE-INSULATED-FLAT-STEEL-WIRE-ARMOURED-THREE-CORE-CABLES-WITH-COPPER-CONDUCTOR.html>
- [14] <https://schema-electrique.net/calcul-chute-de-tension-electrique-formule-calcul-sectioncable-triphas-monophas.html>