



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
Institut de maintenance industrielle et sécurité



# Mémoire

De fin d'étude pour l'obtention de diplôme de master

En Electromécanique.

Intitulé

## ETUDE DES RESEAUX ELECCTRIQUES ET DES MOTEURS DE TRACTION DU TRAMWAY

Présenté par :

- BOURAIOU Salah Eddine
- BENZINA Manal Hana

Encadré par :

- Mr. MAAMAR. B

Devant le jury composé de :

Président	Mr. LALAOUI Med Amine	MAA	Oran 2 /IMSI
Examineur	Mr. TAHRAOUI Mohamed	MAA	Oran 2 /IMSI
Encadreur	Mr. MAAMAR. Benyagoub	MAA	Oran 2 /IMSI

2021-2022

# Remerciements :

*Nous remercions DIEU TOUT-POUISSANT qui nous a toujours soutenu.*

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements :*

*A notre encadrant Mr :Maamar.B , professeur à l'institut de Maintenance et Sécurité Industrielle Université d'Oran 2 , pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail ainsi que pour ses enrichissantes observations.*

*Aux membres de jurys*

*Pour l'honneur qu'ils nous ont fait d'accepter d'évaluer notre travail.*

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudees à tous les professeurs qui nous ont enseigné, pour leurs conseils et leur patience.*

*Nous remercions tous ceux sans qui, ce mémoire ne serait pas ce qu'il est.*

*Enfin, nous remercions tout particulièrement nos parents, pour leur soutien inconditionnel tout au long de ces longues années d'études*

# Dédicace :

*Je dédie cet ouvrage.*

*A l'homme de ma vie , mon exemple éternel , celui qui s'est  
toujours sacrifié .*

*Pour me voir réussir , à toi mon père Youssef .*

*A ma chère mère Karima pour l'amour qu'elle m'a toujours  
accordé en témoignage*

*de ma reconnaissance envers sa confiance, ses sacrifices et sa  
tendresse .*

*A mes frères Ahmed et Mahdi pour l'amour qu'ils me réservent.*

*Je leurs souhaite une vie pleine de bonheur et de succès.*

*Et tout la famille Benzina et Amaraet à mes chers amis que  
j'aime.*

*Manal Hana*

# Dédicace :

*Je dédie cet ouvrage*

*A machère maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

*Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance,*

*A mon cher père, qui ma toujours soutenu et veille sur notre bonne éducation*

*A mes frères Amine ,Malik et Nadjib , mes grands parents.*

*A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*A tous ceux que j'aime.*

*Merci*

***Salah Eddine***

**Table des matières**

INTRODUCTION GENERALE :	2
Chapitre I :Présentation du tramway.....	4
I .1 -Généralités :	4
I .2-Historique :	4
I .3 .1-Le setram:	5
I .3.2-Objectif :	5
I .3.3-Tramway de Constantine :	5
I .3.4-materiel roulant :	7
I .4-Les avantages et les inconvénients du tramway :	7
I .4.1-les avantages :	7
I .4.2-Les Inconvénients:	7
Chapitre II : Les Postes Haute Tension .....	10
II .1-Présentation de l'architectur de PHT :	10
II .2-Arrivés Ligne 60KV :	12
II .2.1-L'équipement :	12
II .2.2-Couplage :	12
II .2.3-Départ de Transformateur :	12
II .2.4-Départ de 30KV :	13
II .2.5-Basse Tension :	13
II .3-Transformateur de Puissance :	14
II .3.1-Principe de fonctionnement :	14
II .4-Protection et Verrouillage Entre Les équipement :	15
II .4.1-Protection :	15
II .4.2-Verrouillage :	16
II .4.2.1-Verrouillage électrique :	16
II .4.2.2-Verrouillage mécanique :	16
II .5-Tableau 30KV :	16
II .5.1-Cellules DHTA-A1 et DHTA-A2 :	17
II .5.1.1-Sectionneurs d'isolement:	17
II .5.1.2-Sectionneurs de Terre:	17
II .5.1.3-Relais de protection :	18
II .5.1.4-Disjoncteurs:	18
II .5.2-Cellules CM1 et CM2 :	18
II .5.2.1-Sectionneurs d'isolement:	18
II .5.2.2-Sectionneurs de Terre:	19

II .5.3-Cellules DD1, DD2, DD3, DD4 : .....	19
II .5.3.1-Sectionneurs d'isolement : .....	19
II .5.3.2-Sectionneurs de terre : .....	19
II .5.3.3-Relais de protection : .....	20
II .5.3.4-Disjoncteurs : .....	20
II .5.4-Cellules ITSA1 et ITSA2 : .....	21
II .5.4.1-Sectionneurs d'isolement : .....	21
II .5.4.2-Sectionneurs de terre : .....	21
II .5.4.3-Fusibles : .....	21
CHAPITRE III : Les Postes de Redressement Tramway .....	25
III .1-Généralités : .....	25
III .1.1-Sous-stations de traction : .....	25
III .1.2-Localisation : .....	27
III .1.3-Type : .....	27
III .1.4-Quantités : .....	27
III .2-Characteristiques du réseau 30KV: .....	27
III .2.1-caracteristiques électriques : .....	27
III .2.2-Raccordement boucle 30KV : .....	27
III .2.3-Gestion des tableaux : .....	28
III .2.4-Comptage d'énergie : .....	28
III .3-Description des tableaux : .....	28
III .3.1-Tableaux en ligne : .....	28
III .3.2-Tableaux du dépôt : .....	28
III .4-Description des cellules : .....	29
III .4.1-Cellules d'arrivée boucle 30 KV – IS : .....	29
III .4.1.1-Composition : .....	29
4-1-2-Fonctionnement : .....	29
III .4.2-Cellules départ transformateur de traction – DHTA-R : .....	30
III .4.2.1-Composition : .....	30
III .4.2.2-Fonctionnement : .....	30
III .4.3-Cellules départ transformateurs auxiliaires ligne – ITRA : .....	32
III .4.3.1-Composition : .....	32
III .4.3.2-Fonctionnement : .....	32
III .4.4-Cellule départ transformateur auxiliaire du dépôt – DTRA : .....	34
III .4.4.1-Composition : .....	34

III .4.4.2-Fonctionnement :	34
III .5-Alarmes et défauts “protection MICOM”:	36
III .6-Alimentation des auxiliaires et du controle commande :	37
III .7-Transformateur de traction :	37
III .8-Transformateur auxiliaire:	37
III .9-Redresseur:	37
III .10-Tableau 750V CC:	38
III .11-Architecture de la production energie de traction :	38
III .11.1-Disjoncteur de protection - DHTA-R :	38
III .11.2-Transformateur traction – TRT :	38
III .11.3-Redresseur – RED :	38
III .11.4-Sectionneurs d’isolement automatique – SIA :	38
III .12-L’équipements de distribution en sous-station :	40
III .12.1-Tableau de protection traction – TPT :	40
III .12.2-Tableau de distribution traction – TDT :	40
III .13-fonctionnement des equipements de distribution en ligne :	42
III .13.1-Interrupteur en ligne – INT :	42
III .13.2-Coffret feeder – IF :	42
III .14-Systeme de controle-commande des SST :	42
III .14.1-Generalites et architecture :	42
III .14.2-Verrouillage entre les équipements :	43
III .14.2.1-Verrouillages électrique :	43
III .14.2.2-Verrouillages mécanique :	43
CHAPITRE IV: Chaine de Traction-Moteur	46
IV .1-Système LAC:	46
IV .1.1-Fils de contact :	46
IV .1.2-Supports LAC :	46
IV .2-Pantographe :	48
IV .3-Les composants du tramway :	48
IV .4-Bogie Moteur :	50
IV .4.1-Principe d’installation :	50
IV .4.2-Principe de fonctionnement :	50
IV .4.3-Centrale hydraulique :	52
IV .4.4-Compresseur de sablage :	52
IV .5-Definition d’une machine alternatif :	53

IV .6-Description du moteur de traction: .....	53
IV .6.1-Machines asynchrones : .....	53
IV .6.1.1-Génératrice asynchrone (hypersynchrone) : .....	53
IV .7-Machines asynchrones triphasées : .....	53
IV .7.1-Organisation fonctionnelle : .....	53
IV .8-Moteur de traction 4 HGA 1433 : .....	54
IV .8.1-Caractéristiques spécifiées du Moteur : .....	54
IV .8.2- Tension onduleur : .....	55
IV .8.3-Caractéristiques roue et transmission : .....	55
IV .8.4-Caractéristiques du véhicule de référence : .....	55
IV .8.5-Schéma équivalent : .....	59
IV .8.6-Régime continu garanti (CEI 60349-2) : .....	60
IV .9-Technologie du moteur 4 HGA 1433 : .....	60
IV .9.1-Généralités : .....	60
IV .9.2-Descriptif de la technologie du moteur : .....	60
IV .9.2.1- Carcasse externe et circuit d'eau : .....	60
IV .9.2.2-Circulation de l'air intérieur : .....	60
IV .9.3-Enveloppe du moteur : .....	61
IV .9.4- Bobinage stator : .....	61
IV .9.5- Rotor : .....	62
IV .9.5.1-Rotor à cage d'écureuil (rotor en court-circuit) : .....	62
IV .9.6- Arbre moteur : .....	63
IV .9.7-Roulements : .....	63
Remarque .....	63
IV .9.8- Glissement : .....	63
IV .10-Avantages et inconvénients du moteur asynchrone : .....	64
IV .10.1-Les avantages: .....	64
IV .10.2-Les inconvénients: .....	64
IV .11- Refroidissement moteur : .....	64
IV .12-Rhéostat de freinage : .....	65
IV .13-Les rails : .....	66
IV .13.1-Retour des courants de traction, courants vagabonds : .....	66
CHAPITRE V : Signalisation Fenorainon .....	68
V .1-Généralités : .....	68
V .2-Système télécommande d'itinéraires : .....	68

V .2.1-sous-système bord :.....	68
V .2.2-Pupitre de Commande Conducteur : .....	70
V .3.1 - sous-système sol : .....	70
V .3.2 -Unité d'Interface Sol (UIS) : .....	71
V .4-Description du sous-système de signalisation :.....	71
V .4.1-Architecture :.....	71
V .4.2-Introduction aux éléments de l'architecture :.....	72
V .4.2.1-Compteurs d'essieux : .....	73
V .4.2.2-Barrière optique : .....	73
V .4.2.3-Signaux d'itinéraire :.....	74
V .4.2.4-Signaux indicateur de direction :.....	75
V .4.2.5-Boîtier secours de commande/destruction d'itinéraires .....	76
V .4.2.6-Système de télécommande d'itinéraire embarquée .....	76
V .4.2.7-Plaques statiques de manœuvre et de vitesse : .....	77
V .4.2.8 : Relais de sécurité type NS1 : .....	78
V .4.2.9-Appareils de voie:.....	79
V .4.2.10-Interface Homme/Machine (Sous-système ATS) : .....	79
V .5-Fonctionnalités du sous-système de signalisation :.....	80
V .5.1-Gestion des zones de manœuvre :.....	80
V .5.2-La détection des tramways :.....	80
V .5.3-Gestion des itinéraires :.....	80
V .5.4-La protection des mouvements du tramway :.....	81
V .6- Utilisation du sous-système de signalisation :.....	82
V .6.1-Détection des tramways :.....	82
V .6.2-La commande des mouvements du tramway : .....	83
Conclusion : .....	86
Bibliographie :.....	88

# Liste des figures

**Figure I-1** : La ligne du tramway de Constantine .

**Figure II-1-a** : Schéma d'alimentation de PHT.

**Figure II-1-b** : Schéma d'alimentation de PHT.

**Figure II-2** : Schéma principe d'un transformateur de puissance .

**Figure II-3** : Transformateur de puissance .

**Figure II-4** : Schéma principal de PHT .

**Figure III-1** : Schéma électrique de sous-stations de traction .

**Figure III-2** : Schéma de architecture de la production énergie de traction.

**Figure III-3** : Schéma pour l'équipement de distribution en sous-stations .

**Figure III-4** : Armoire contrôle-commande .

**Figure IV-1** : Ligne aérienne de contact .

**Figure IV-2** : Alimentation par ligne aérienne de contact de deux sous-stations.

**Figure IV-3** : Pantographe.

**Figure IV-4** : Les composants du tramway sonore et de souplesse d'emploi .

**Figure IV-5** : Bogie moteur.

**Figure IV-6** : Les équipements en fosse d'un élément du tramway .

**Figure IV-7-a** :Parté 1 de schéma électrique de moteur .

**Figure IV-7-b** :Parté 2 de schéma électrique de moteur.

**Figure IV-7-c** :Parté 3 de schémaélectrique de moteur.

**Figure IV-8** : Schéma pour le moteur de traction 4 HGA 1433.

**Figure IV-9** : Circulation de l'air intérieure.

**Figure IV-10** : Schéma rotor à cage d'écureuil.

**Figure IV-11** : Rhéostat de freinage .

**Figure IV-12** : Les rails .

**Figure V-1** : Sous-système Bord.

**Figure V-2** : Sous-système Bord vue de dessus.

**Figure V-3** : Pupitre de commande conducteur .

**Figure V-4** : Unité d'interface sol.

**Figure V-5** : Architecture de signalisation.

**Figure V-6** : Compteurs d'essieux.

**Figure V-7** : Barrière optique .

**Figure V-8** : Signaux d'itinéraire.

**Figure V-9** : Signaux indicateur de direction .

**Figure V-10** : Boîtier secours de commande .

**Figure V-11** : Système de télécommande d'itinéraire embarquée.

**Figure V-12** : Plaques statiques manœuvre et de vitesse .

**Figure V-13** : Relais de sécurité type NS1.

**Figure V-14** : Sous-système ATS(SCADA).

**Figure V-15** : Gestion des zones de manœuvre.

**Figure V-16** : Gestion des itinéraires .

**Figure V-17** : Détection des tramways.

**Figure V-18** : La commande des mouvements du tramway.

# **Introduction générale**

## **INTRODUCTION GENERALE :**

La disponibilité c'est le mot clé dans le monde des transports publics urbains. Le projet comprend des concepts techniques, géographiques, physiques et sociaux. L'accessibilité technique et géographique vise à stimuler le développement économique et culturel de la ville en la dotant d'équipements de transport fiables, accessibles et solides adaptés à son développement. Enfin, l'accessibilité sociale vise à ouvrir certains quartiers à d'autres.

L'architecture des réseaux de transports publics urbains est influencée par de nombreux facteurs politiques, historiques, économiques, géographiques et technologiques. Dans tous les cas, la recherche de fiabilité et de disponibilité d'un réseau de transport public nécessite que son fonctionnement soit identifié et maîtrisé à tout moment. L'utilisation de nouveaux concepts ou de technologies modernes dans ces réseaux doit être synonyme de joie et de vitalité. Pour cela, un travail de recherche et développement doit être fait et tout projet de transport doit mûrir avant de pouvoir être mis en œuvre.

Les tramways sont pour la plupart électrifiés, et chacun d'entre eux est usuellement raccordé à un réseau électrique continu. Les rôles et caractéristiques de ces réseaux d'alimentation électrique sont multiples :

- ils procurent des connexions physiques entre les producteurs d'énergie électrique et les consommateurs ;
- ils sont dimensionnés et protégés afin de permettre aux systèmes de fonctionner en régime normal comme en régime dégradé ;
- leur structure intègre de nombreux convertisseurs statiques (redresseurs, onduleurs, hacheurs) et de nombreux composants passifs (transformateurs, lignes de transmission, filtres) ;
- le matériel roulant se compose de véhicules qui remplissent successivement les rôles de charges ou de générateurs mobiles sur le réseau.

Les trois premiers points sont communs avec les réseaux de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique d'un pays, alors que le dernier se révèle spécifique aux réseaux de transports ferroviaire et urbain.

Notre présente étude du tramway de constantine se subdivise en plusieurs chapitres comme suit :

- Le chapitre I intitulé présentation du tramway.
- Le chapitre II les postes haute tensions.
- Le chapitre III est consacré aux postes de redressements
- Le chapitre IV est réservé à la chaîne de traction-moteurs.
- Le chapitre V traite la signalisation.

Et enfin une conclusion générale sur cette étude est présentée à la fin de ce mémoire.

# **CHAPITRE I :**

# **Présentation du**

# **Tramway**

## Chapitre I :Présentation du tramway

### I.1 -Généralités:

Les réseaux de transports en commun électriques intra-muros actuels sont principalement basés sur des alimentations à courant continu, alors que les réseaux de desserte des banlieues utilisent des structures à courant alternatif.

### I.2-Historique :

Les premiers tramways sont apparus aux États-Unis durant la première moitié du XIXe siècle, ils sont alors tractés par des animaux, en général des chevaux. Ils circulent en 1832 sur la ligne de New York à Harlem et en 1834 à La Nouvelle-Orléans .

Le premier tramway de France est construit dans le département de la Loire sur la route entre Montrond-les-Bains et Montbrison. Long de 15 kilomètres, il est mis en service dès 1838. Les tramways pour voyageurs et marchandises, à traction hippomobile ou mécanique, sont institués par la loi de 1880.

Les premiers rails, en U saillant, créent une gêne importante et provoquent quelques accidents. Ils sont supplantés, à partir de 1850, à New York, par des rails à gorge, puis en 1852, par des rails dénués de saillant (inventés par le français Alphonse Loubat). Plus tard, en 1853, en prévision de l'exposition universelle de 1855, une ligne d'essai est présentée sur le Cours la Reine, dans le 8e arrondissement de Paris. Lors de l'exposition de 1867, une desserte était effectuée par des tramways à traction hippomobile et était surnommée « chemin-de-fer américain».

Le tramway se développe alors dans de nombreuses villes d'Europe (Londres, Berlin, Paris, Milan, etc.). Plus rapides et confortables que les omnibus (circulant sur les voies carrossables), les tramways ont un coût d'exploitation élevé du fait de la traction animale. C'est pourquoi la traction mécanique est rapidement développée : à vapeur dès 1873, à air comprimé (système Mékarski) et à eau surchauffée (système France) dès 1878, puis tramways électriques à partir de 1881 (présentation de la traction électrique par Siemens à l'exposition internationale d'Électricité de Paris). Le développement de l'alimentation électrique, complexifiée par l'interdiction des lignes aériennes dans Chapitre II Les systèmes d'alimentation électrique des tramways 12 certaines grandes villes, ne prend une véritable ampleur qu'à partir de 1895 à Paris et en région parisienne (tramway de Versailles).

États-Unis, le premier tramway à vapeur a été utilisé à Philadelphie, en 1875- 1876. Ces tramways à vapeur étaient dotés d'une quarantaine de places, pesaient environ seize tonnes et bénéficiaient d'une puissance de traction de 200 à 300 tonnes en pente .

La modernité technique que représente l'électricité et surtout les faibles nuisances engendrées par celle-ci facilitent son adoption rapide, une fois que les difficultés liées à la production et au transport de l'électricité furent résolues. Le premier tramway électrique est mis en exploitation à Sarajevo (Empire austro-hongrois) en 1885, tandis qu'en Suisse, la

première ligne (Vevey-Montreux-Chillon), sur la Riviera vaudoise, est ouverte en 1888. En France, il circule pour la première fois à ClermontFerrand en 1890 .

Aux États-Unis, la longueur des voies et le nombre de voies exploitées avec des tramways électriques dépassent ceux des tramways hippotractés en 1892 et 1893. Les tramways des États-Unis ne sont pas des tramways à impériale afin d'améliorer la fluidité d'accès aux voitures.

Le nombre de voyageurs par véhicule n'y était pas limité. La tarification y bénéficiait d'un système de classe unique avec un tarif de cinq centimes de dollar[1].

### **I .3 .1-Le setram:**

Née d'un accord entre l'établissement de transport urbain et suburbain d'Alger, l'entreprise du métro d'Alger (EMA) et le groupe RATP, la SETRAM est la société chargée de l'exploitation et de la maintenance des tramways en Algérie[2].

### **I .3.2-Objectif :**

SETRAM est la société chargée de l'exploitation et de la maintenance des Tramways Algériens.

LA SETRAM a pour Objectifs principaux :

- Porter l'Algérie vers un nouveau mode de transport urbain accessible à tous
- Offrir un service de transport de haute qualité et de sécurité, confort, régularité et propreté.

Assurer le transfert de savoir-faire vers l'ensemble des salariés de la SETRAM par l'apprentissage et la formation interne assurée par nos formateurs expérimentés de la cellule IE/FR.

- Se positionner comme référence en Afrique et dans le monde.
- Baisser la pollution atmosphérique grâce à un mode de transport écologique.
- Développer l'économie et le commerce en les rendant plus accessibles aux entreprises et institutions notamment les universités...[2].

### **I .3.3-Tramway de Constantine:**

Mis en service depuis le 5 juillet 2013, le Tramway de Constantine a su offrir un nouveau souffle à « la ville des ponts » qui a longtemps souffert de la densité du trafic routier.

Le premier tronçon de la ligne du tramway de Constantine englobe l'agglomération de la région de Constantine reliant la station de Zouaghi Slimane à la station Ben Abdelmalek Ramdane desservant 10 stations sur 8Km.

A ce parcours, vient de s'ajouter une ligne d'extension sur deux phases, une première mise en service le 03 Juin 2019 qui s'étend sur 6,5 kilomètres linéaires avec 5 stations

voyageurs. La seconde ligne d'extension a été lancée en Septembre 2021. Six nouvelles stations jalonnent ce nouveau parcours sur une longueur de 3,8km reliant la station kadri brahim à la station Université Mehri2.

Avec la seconde ligne d'extension, la ligne a vue sa longueur portée à 18,3 km avec 21 stations de Ben Abdelmalek Ramdane à l'Université Mehri2.

- Longueur de la ligne:18.3 KM.
- Matériel roulant: CITADIS 402.
- Nombre de rames: 51.
- Fréquentation: 11873743.00 durant l'année 2021.
- Nombres de stations: 21.
- Nombre d'agenoes commerciales:5.
- Type de titre de transport : abonnements sans contact et ticket magnétique.
- Type de système d'aide à l'exploitation: SAE/EFACEC.
- Nombre d'employés : 592 [2].



*Figure I-1 : La ligne de Tramway de Constantine*

### **I .3.4-materiel roulant :**

- Le matériel roulant déployé sur la ligne de Constantine est un modèle « Alstom Citadis 402 ».
- Le tramway est composé d'une unité simple .
- Une rame mesure 44 mètres de longueur et 2,65 mètres de largeur.
- La masse de l'ensemble est de l'ordre de 56 tonnes à vide. (*exactement 55,670 tonnes*) et de l'ordre de 85 tonnes en charge maxi [2].

## **I .4-Les avantages et les inconvénients du tramway :**

### **I .4.1-les avantages :**

- L'attractivité du tramway pour les usagers passe par les meilleures performances : rapidité, ponctualité, régularité, accessibilité, confort, ...
- Il doit faciliter notre quotidien et améliorer notre cadre de vie.
- D'un point de vue économique, il a dynamisé les villes dans lesquelles il a été implanté.
- Alimenté par l'énergie électrique, il est écologique et silencieux puisque, contrairement aux voitures qui émettent du monoxyde et du dioxyde de carbone en consommant de l'essence, le tramway ne rejette ni gaz, ni fumée, et ne pollue pas.
- Durée de vie supérieure à celle de bus (30ans contre environ 15 ans).
- Capacité supérieure à celle des bus.

C'est le mode de déplacement urbain motorisé qui consomme le moins d'énergie par kilomètre et par personne.

Enfin le tramway est un outil séduisant et moderne qui peut embellir l'espace public et la vie quotidienne des usagers. Il transporte ses passagers dans des conditions modernes de confort (espace luminosité - éclairage ambiance - design intérieur - isolation - phonique - climatisation - vision panoramique - accès facile pour les handicapés).

### **I .4.2-Les Inconvénients:**

- Coût d'investissement élevé par rapport à l'autobus, qui peut également être conçu en site propre.
- Il n'est pas à la portée des petites agglomérations.
- Rails creux dangereux pour les cyclistes lorsqu'ils partagent la même chaussée que le tramway. Cet inconvénient peut être pratiquement éliminé par l'insertion d'une bande élastique dans la gorge.

- 
- Occupation de l'espace urbain du niveau zéro, ce qui nécessite une nouvelle gestion des flux ; en outre c'est un bon prétexte pour mener une politique anti-voiture.
  - Réduction des échanges conducteurs –voyageurs.
  - Le tracé et les points d'arrêts sont figés et rendent son évolution difficile en fonction de la fréquentation dans l'espace et dans le temps.
  - L'entretien et la maintenance sont lourds du fait d'une infrastructure importante.
  - L'emprise foncière des voies est importante et sans valeur ajoutée pour les citoyens.
  - La construction de l'infrastructure nécessite des travaux qui gênent les riverains et la circulation.
  - L'impact visuel de l'infrastructure aérienne (notamment caténaire) est conséquent, particulièrement dans les villes où tous les autres fils aériens ont été supprimés.
  - L'alimentation par le sol est très coûteuse.

# **Chapitre II :**

# **Les Postes Haute**

# **Tension**

# Chapitre II : Les Postes Haute Tension

## II.1-Présentation de l'architecteur de PHT :

L'alimentation de ce poste est assurée par SONELGAZ. Le PHT est alimenté par deux antennes, via deux postes SONELGAZ différents : KHROUB par linge sous la terre et CONSTANTINE SUD par linge Aérienne. Le PHT assure la transformation de la tension de 60kV à 30kV.

Le PHT alimente en coupure d'artère les différentes sous-stations de la ligne de tramway de Constantine (ligne contractuelle). Deux autres départs 30kV sont également prévus en tant que réserve. L'exploitant sera présent 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24, afin de reconfigurer le PHT en cas d'avarie importante [3].

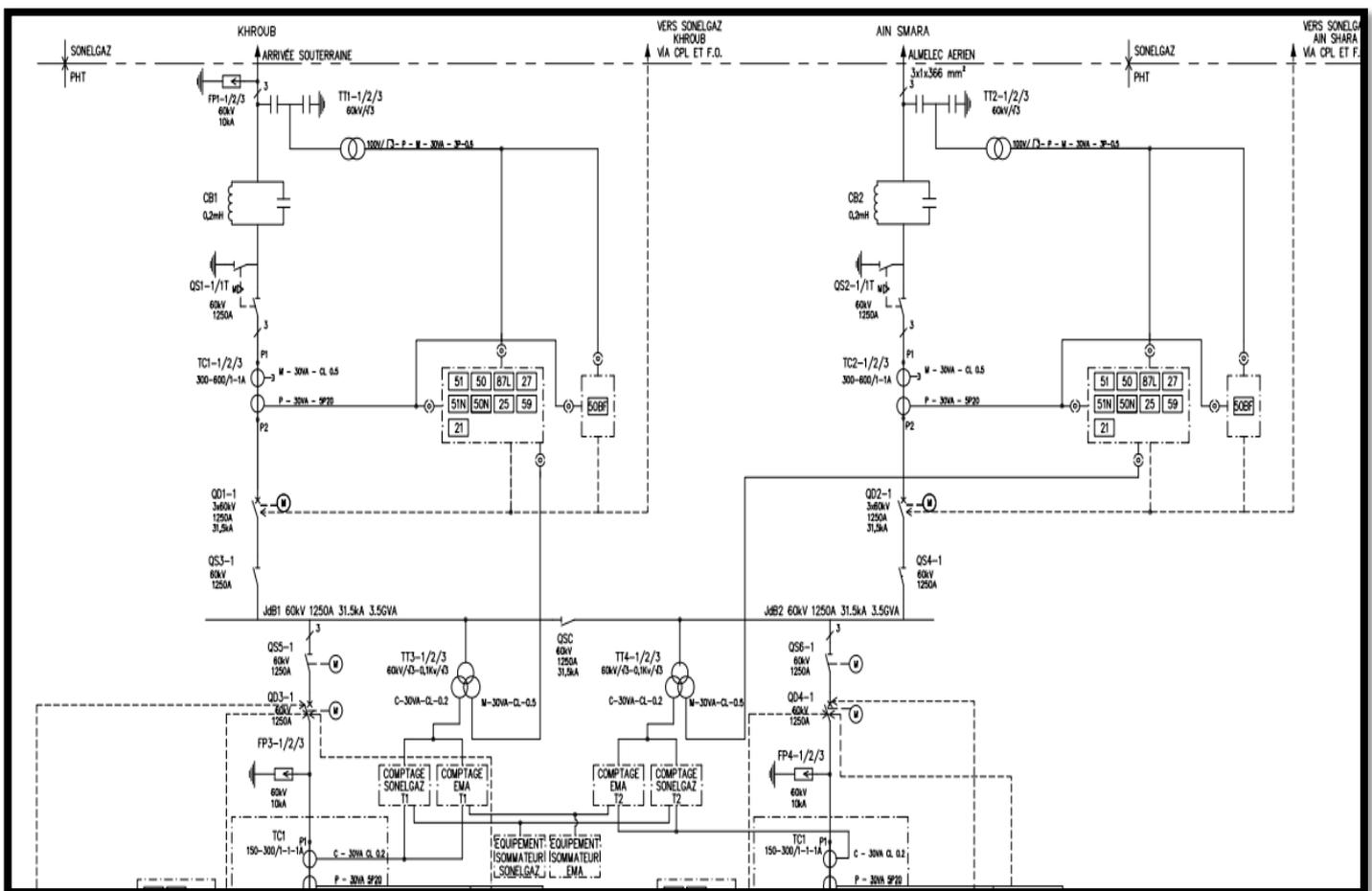


Figure II-1-a : Schéma D'alimentation de PHT

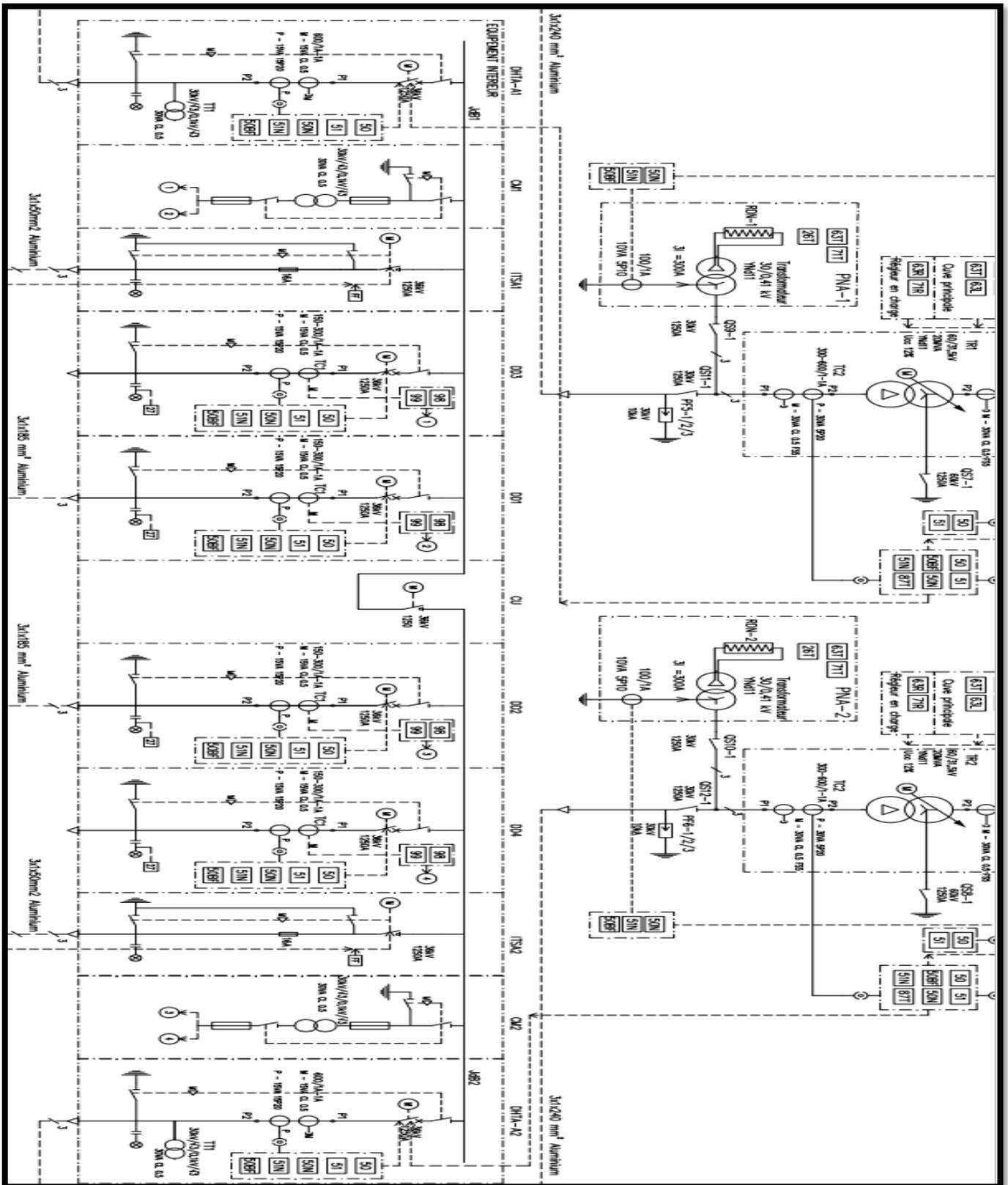


Figure II-1-b : Schéma D'alimentation de PHT

## **II .2-Arrivés Ligne 60KV :**

### **II .2.1-L'équipement :**

Le PHT est alimentée par deux lignes aériennes 60kV provenant du réseau SONELGAZ 60kV triphasé 50Hz. Sur chacune des deux arrivées, on trouve :

- trois transformateurs capacitifs de tension : TT1 / TT2 - un circuit bouchon : CB1 / CB2
- un sectionneur d'entrée, triphasé, avec mise à la terre (côté ligne) : QS1-1/1T / QS2-1/1T
- trois transformateurs de courant : TC1 / TC2
- un disjoncteur triphasé : QD1-1 / QD2-1
- un sectionneur triphasé : QS3-1 / QS4-1[3]

### **II .2.2-Couplage :**

Le PHT dispose d'un jeu de barres, réuni par une travée « couplage 60 kV », composée de :

- un sectionneur triphasé : QSC
- Deux transformateurs de tension : TT3 /TT4

### **II .2.3-Départ de Transformateur :**

Sur chacune des deux travées, on trouve:

- un sectionneur triphasé : QS5-1 / QS6-1
- un disjoncteur triphasé : QD3-1 / QD4-1
- trois parafoudres : FP3 / FP4
- trois transformateurs de courant : TC1 / TC2
- un transformateur de puissance 60/30 kV, avec régleur en charge : TR1 / TR2.
- un sectionneur unipolaire : QS7-1 / QS8-1 (installé sur le circuit neutre primaire du transformateur)
- un sectionneur unipolaire : QS9-1 / QS10-1 (installé sur le circuit neutre secondaire du transformateur)

Le transformateur est mis à la terre côté 60kV via les sectionneurs : QS7-1 / QS8-1. Cette mise à la terre est utilisée en cas de maintenance.

Le transformateur est mis à la terre côté 30kV via une résistance de mise à la terre (établissement du régime de neutre). Un sectionneur unipolaire QS9-1 / QS10-1 est installé entre le neutre du transformateur et la résistance de mise à la terre[3].

## II .2.4-Départ de 30KV :

Chaque liaison transformateur alimente un unique tableau 30kV.

- Le tableau 30kV est composé de :
  - Un sectionneur tripolaire : QS11-1 / QS12/1
  - Trois parafoudres : FP5 / FP6
  - Le tableau 30kV est équipé des cellules suivantes :
    - Deux cellules type « arrivée » avec disjoncteurs motorisés (DHTA-A1 et DHTA-A2) sur lesquelles sont connectés chacun des deux transformateurs de puissance. Ces cellules sont équipées d'un sectionneur d'isolement et de mise à la terre, de 3 TC pour la protection, et d'un relais de protection.
    - Deux cellules de mesure pour le comptage interne et contrôle avec trois TT (CM1 et CM2) [3].

## II .2.5-Basse Tension :

Les équipements 60kV et 30kV sont alimentés sous une tension BT via les deux transformateurs auxiliaires TSA-1 et TSA-2.

Un groupe diesel permet d'alimenter le contrôle commande du PHT en cas d'avarie des deux transformateurs.

Un ASI permet d'alimenter le PHT en énergie en cas de perte du groupe Diesel.

Chaque disjoncteur composant les tableaux de distribution BT sont de type magnétothermiques et sont équipés de différentiels, si nécessaire[3].

## II .3-Transformateur de Puissance :

Le transformateur permet d'abaisser la tension d'arrivée SONALGAZ 60kV en une tension 30kV. Le transformateur est équipé d'un régleur en charge.

Il permettra de maintenir constante la tension secondaire à vide lorsque la tension primaire varie d' $U_n + 18\%$  à  $U_n - 18\%$  avec des échelons ne dépassant pas  $1,5\% \times U_n$ .

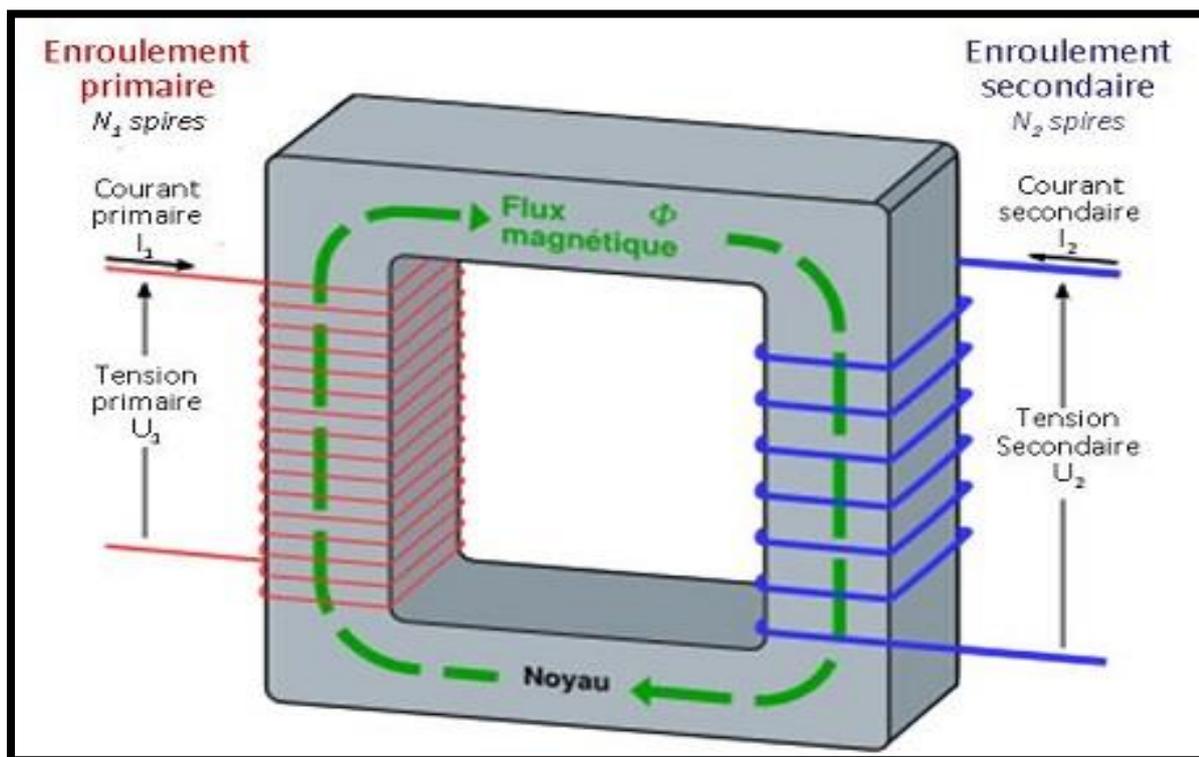
Le transformateur est de type huile et est équipé des protections .

Le transformateur est également équipé de ventilateurs dont la commande est asservie avec la température du transformateur[4].

### II .3.1-Principe de fonctionnement :

Un transformateur comprend essentiellement deux circuits électriques montés sur un circuit magnétique, l'un des circuits électriques dit enroulement primaire comporte  $N_1$ spires étant raccordé à une source de tension alternatif

$U_1$ , le courant  $I_1$  qui traverse cet enroulement donne naissance à un flux  $\phi_m$  dans le circuit magnétique. Ce flux induit une force électromotrice dans le deuxième enroulement dit « enroulement secondaire » de  $N_2$  spires aux bornes duquel apparaît une tension  $U_2$ [4].



*Figure II-2 : schéma de principe d'un transformateur de puissance*



**Figure II-3 : Transformateur de Puissance**

## **II .4-Protection et Verrouillage Entre Les équipement :**

### **II .4.1-Protection :**

Le PHT est équipé d'un ensemble de relais de protection permettant de protéger l'installation. Les mesures courant et/ou tension sont prises sur les TT ou TC placés dans l'installation 60kV et 30kV.

Les relais de protection agissent sur le disjoncteur et permettent leur déclenchement.

Le fonctionnement des relais de protection est indépendant de l'automate programmable du PHT.

Les relais de protection pourront être installé dans une armoire regroupant l'ensemble des protections ou directement installés dans les équipements (disjoncteurs) [3].

## **II .4.2-Verrouillage :**

Des verrouillages sont mis en œuvre :

- Afin d'éviter toutes manipulations dangereuses des équipements
- Afin d'éviter le couplage des sources SONELGAZ 60kV.
- Afin d'éviter le couplage des transformateurs, côté 30kV.

Aucun verrouillage d'exploitation n'est prévu.

### **II .4.2.1-Verrouillage électrique :**

Un verrouillage électrique est mis en place entre les différents équipements afin d'assurer la sécurité des personnes, et d'éviter toutes manœuvres dangereuses.

### **II .4.2.2-Verrouillage mécanique :**

Un système de verrouillage par clé de sécurité entre équipements est prévu afin éviter toute manœuvre dangereuse et afin de permettre la consignation de chaque équipement.

Un verrouillage mécanique est mis en place sur les équipements 30kV, uniquement [3].

## **II .5-Tableau 30KV :**

Les actionneurs 30 kV installés dans les cellules peuvent être manœuvrés manuellement ou pour les actionneurs motorisés, électriquement. Les commandes électriques peuvent être réalisées localement (en face avant du tableau) ou à distance. Un commutateur local/distance sur chaque cellule équipée d'un actionneur motorisé permet de sélectionner le lieu de commande. Des verrouillages mécaniques et électriques sont prévus pour empêcher toute fausse manœuvre.

En cas d'ordres opposés simultanés (commande de fermeture manuelle et arrêt d'urgence par exemple), les ordres d'ouverture sont par construction prioritaires sur les ordres de fermeture[3].

## **II .5.1-Cellules DHTA-A1 et DHTA-A2 :**

Chacune de ces cellules sont équipées des équipements suivants :

### **II .5.1.1-Sectionneurs d'isolement:**

➤ **Mode opératoire:**

Le sectionneur d'isolement est à commande manuelle. Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

➤ **Autorisation de manœuvre:**

Le sectionneur d'isolement est manœuvrable si le disjoncteur est ouvert. Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur d'isolement si le disjoncteur ou le sectionneur de terre sont fermés. Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur [3].

### **II .5.1.2-Sectionneurs de Terre:**

➤ **Mode opératoire:**

Le sectionneur de mise à la terre est à commande manuelle. Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

➤ **Autorisation de manœuvre:**

Le sectionneur de mise à la terre est manœuvrable si le disjoncteur est ouvert.

Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur de mise à la terre si le disjoncteur ou le sectionneur d'isolement sont fermés.

Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur[3].

### II .5.1.3-Relais de protection :

Les relais qui détectent les défauts de l'appareil

### II .5.1.4-Disjoncteurs:

➤ **Mode opératoire:**

- En mode Local Individuel : directement en face avant de l'équipement. Manœuvre électrique en actionnant les boutons depuis le coffret de contrôle commande
- En mode distance : depuis le POL du PHT
- Un mode test : Il est possible de tester le disjoncteur à vide, pour ce faire, le sectionneur d'isolement doit être ouvert. La tension de contrôle commande doit être présente pour pouvoir réaliser les tests.

➤ **Verrouillage Électrique:**

Le déclenchement du disjoncteur est assuré par une bobine à émission de tension ; excepté le système d'arrêt d'urgence, le manque tension auxiliaire et le Watch dog des protections qui agit sur la bobine à manque tension.

➤ **Verrouillage mécanique:**

Un verrouillage mécanique intrinsèque à chaque disjoncteur est prévu. Chaque cellule est cadenassable[3].

### II .5.2-Cellules CM1 et CM2:

Chacune de ces cellules sont équipées des équipements suivants :

#### II .5.2.1-Sectionneurs d'isolement:

➤ **Mode opératoire:**

Chaque sectionneur d'isolement est à commande manuelle. Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

➤ **Autorisation de manœuvre:**

Les sectionneurs d'isolement sont manœuvrables si le circuit de mesure tension est hors charge.

Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre des sectionneurs d'isolement en charge Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position des actionneurs [3].

## II .5.2.2-Sectionneurs de Terre:

### ➤ Mode opératoire :

Le sectionneur de mise à la terre est à commande manuelle. Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

### ➤ Autorisation de manœuvre:

Le sectionneur de mise à la terre est manœuvrable si le circuit de mesure tension est hors charge. Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur de mise à la terre en charge. Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur[3].

## II .5.3-Cellules DD1, DD2, DD3, DD4 :

Chacune de ces cellules sont équipées des équipements suivants :

### II .5.3.1-Sectionneurs d'isolement :

#### ➤ Mode opératoire :

Le sectionneur d'isolement est à commande manuelle. Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

#### ➤ Autorisation de manœuvre :

Le sectionneur d'isolement est manœuvrable si le disjoncteur est ouvert.

Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur d'isolement si le disjoncteur ou le sectionneur de terre sont fermés.

Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur[3].

### II .5.3.2-Sectionneurs de terre :

#### ➤ Mode opératoire :

Le sectionneur de mise à la terre est à commande manuelle.  
Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

➤ **Autorisation de manœuvre :**

Le sectionneur de mise à la terre est manœuvrable si le disjoncteur est ouvert. Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur de mise à la terre si le disjoncteur ou le sectionneur d'isolement sont fermés.

Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur[3].

### **II .5.3.3-Relais de protection :**

Les relais qui détectent les défauts de l'appareil

### **II .5.3.4-Disjoncteurs :**

➤ **Mode opératoire :**

- En Mode Local Individuel : directement en face avant de l'équipement
- Manœuvre électrique en actionnant les boutons depuis le coffret de contrôle commande
- En mode distance : depuis le POL du PHT
- Un mode test utilisé à pied d'œuvre

➤ **Verrouillage Électrique:**

Le déclenchement du disjoncteur est assuré par une bobine à émission de tension ; excepté le système d'arrêt d'urgence, le manque tension auxiliaire et le Watch dog des protections qui agit sur la bobine à manque tension

➤ **Verrouillage mécanique:**

Un verrouillage mécanique intrinsèque à chaque disjoncteur est prévu.

Ces cellules venant en interface avec les cellules 30kV de la ligne de tramway contractuelle, un verrouillage intrinsèque et mécanique à chaque disjoncteur est également prévu[3].

## II .5.4-Cellules ITSA1 et ITSA2:

Chacune de ces cellules sont équipées des équipements suivants :

### II .5.4.1-Sectionneurs d'isolement :

➤ **Mode opératoire :**

Le sectionneur d'isolement est à commande manuelle.

Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

➤ **Autorisation de manœuvre :**

- Le sectionneur d'isolement est manœuvrable si l'interrupteur -fusible est ouvert.
- Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur d'isolement si l'interrupteur -fusible ou le sectionneur de terre sont fermés.
- Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur[3].

### II .5.4.2-Sectionneurs de terre :

➤ **Mode opératoire :**

Le sectionneur de mise à la terre est à commande manuelle. Le sectionneur n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

➤ **Autorisation de manœuvre :**

Le sectionneur de mise à la terre est manœuvrable si l'interrupteur – fusible est ouvert. Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur de mise à la terre si le disjoncteur ou le sectionneur d'isolement sont fermés.

Des indicateurs mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur[3].

### II .5.4.3-Fusibles :

Trois fusibles dimensionnés selon la puissance du transformateur protègent le transformateur auxiliaire Interrupteur-fusible :

➤ **Mode opératoire :**

- En Mode Local Individuel : directement en face avant de l'équipement
- Manœuvre électrique en actionnant les boutons depuis le coffret de contrôle commande
- En mode distance : depuis le POL du PHT

➤ **Verrouillage électrique :**

Le déclenchement de l'interrupteur fusible est assuré par une bobine à manque tension.

➤ **Verrouillage mécanique:**

- Un verrouillage mécanique intrinsèque à chaque interrupteur fusible est prévu.
- Des verrouillages mécaniques sont également prévus .
- Avec le disjoncteur d'arrivée du TGBT [3].



# **CHAPITRE III :**

## **Les Postes de Redressement Tramway**

---

## CHAPITRE III : Les Postes de Redressement Tramway

### III .1-Généralités :

#### III .1.1-Sous-stations de traction :

Une sous-station de traction est l'interface entre le réseau HTA local (10 kV à 20 kV), et le réseau continu, à 750 V DC par exemple. Le nombre d'arrivées HTA peut varier selon les réseaux de tramway. Au même titre que les réseaux d'alimentation électrique de métros, plusieurs connexions à des réseaux HTA distincts permettent d'assurer un service de fonctionnement minimum, lors d'un défaut majeur sur un des réseaux HTA.

La puissance d'une sous-station mono groupe redresseur est généralement de 900 kW, débitant ainsi 1200 A sous 750 V. Un transformateur Dy 20 kV / 590 V se situe en amont du groupe redresseur [POWEREX-01]. Sa puissance apparente est de 1000 kVA. Un disjoncteur DC ultrarapide (durée d'ouverture inférieure à 20 ms) se positionne en sortie du groupe redresseur [ALSTOM-99]. Des éléments de comptage se greffent à chaque sous-station, en particulier si elle représente un point de comptage du réseau de tramway. Les sous-stations de traction peuvent également être dotées de deux groupes redresseurs connectés en parallèle ou en série, si les besoins en puissance du réseau ou les contraintes d'implantation le nécessitent. Dans ce cas, les deux groupes sont usuellement raccordés au réseau AC amont via un transformateur Ddy 20 kV / 2\*590 V. La gestion des sous-stations est assurée par un automate programmable qui transmet les données à un Poste de Commandes Centralisées (PCC). Ce dernier opère en temps réel aux manœuvres sur les diverses sous-stations.

Les sous-stations de traction assurent la transformation de l'énergie alternative en énergie continue et distribuent l'énergie en toute sécurité sur la ligne.

Elles sont composées de deux fonctions principales la production de l'énergie continue et la distribution de cette énergie vers la ligne aérienne de contact (LAC).

La sous-station est interfacée avec le Poste de Conduite Centralisé (PCC) et avec les autres sous-stations de la même section électrique.

Le retour courant traction est fait par le rail de roulement via le bandage des roues du tramway.

Certaines sections sont divisées en plusieurs sous-sections électriques.

Pour des raisons d'exploitation et de services provisoires, elles sont isolées les unes des autres par des interrupteurs d'isolement télécommandés (INT) installés dans des armoires réparties le long de la ligne. En fonctionnement normal, les continuités de la LAC sont assurées par ces INT fermés[5].

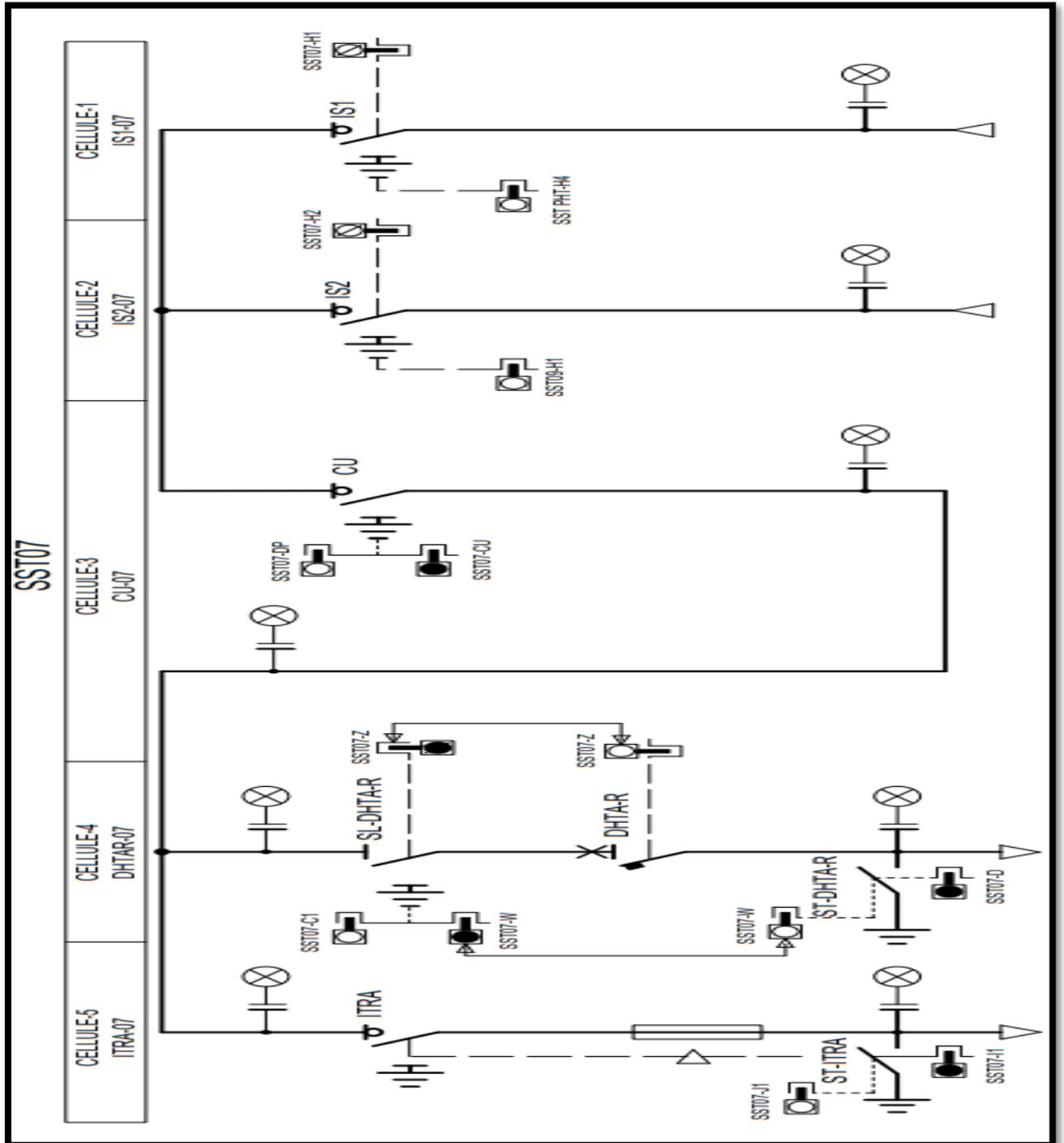


Figure III-1 : Schéma Electric de Sous-stations de traction

### **III .1.2-Localisation :**

Les sous-stations de traction sont alimentées en 30kV par une boucle HT via un tableau HT. Cette boucle est constituée des différentes sous-stations en série. Cette boucle est reliée aux deux extrémités au poste Haute Tension 60/30kV.

Les SST sont situées le long de la ligne et au Dépôt et fournissent, par l'intermédiaire de la Ligne Aérienne de Contact (LAC), l'énergie de traction en 750V cc nécessaire aux véhicules[3].

### **III .1.3-Type :**

- Les sous-stations sont de type à point double comprenant 2 arrivées en service.
- Le schéma unifilaire général d'alimentation et de distribution R1
- Schéma unifilaire général de la ligne nous indique le principe de la distribution des réseaux de traction[3].

### **III .1.4-Quantites :**

Les sous-stations de traction sont au nombre de 6, sous-station dépôt comprise[3].

## **III .2-Characteristiques du reseau 30KV:**

### **III .2.1-caracteristiques électriques :**

Chaque sous-station de traction est alimentée par une boucle 30 kV triphasé 50 Hz. Les caractéristiques de cette boucle sont détaillées dans le document R7 – Définition du besoin en puissance HT.

La puissance de court-circuit du réseau 30 kV est de 500MVA au niveau des postes sources.

Sous couvert d'une confirmation de Sonelgaz, les tolérances de variation de tension du réseau sont de [- 15% ; +10%] et le temps de coupure d'alimentation du réseau côté poste HT avoisine les 0,5s[3].

### **III .2.2-Raccordement boucle 30KV :**

Les câbles d'alimentation seront constitués de 3 câbles unipolaires en aluminium de 185mm<sup>2</sup> pour la ligne contractuelle.

Les câbles de mise à la terre des écrans et des tableaux Haute Tension seront dimensionnés selon la valeur maxi d'un défaut phase/terre et la durée d'élimination de ce

défaut (temps de déclenchement des disjoncteurs départs alimentation boucle coté poste HT 60/30kV)[3].

### III .2.3-Gestion des tableaux:

On peut discerner 2 ensembles fonctionnels :

- Un ensemble constitué des cellules d'arrivées alimentation 30kV soumises à la gestion propre de la boucle HT.
- Un ensemble incluant les cellules de protection des transformateurs traction et auxiliaire.

### III .2.4-Comptage d'énergie:

La boucle d'alimentation 30kV étant dédiée à l'alimentation des sous-stations, le comptage d'énergie active et réactive se fera au niveau du poste HT 60/30kV. Aucun comptage ne sera présent dans les sous-stations[3].

## III .3-Description des tableaux :

### III .3.1-Tableaux en ligne :

Le tableau 30kV d'une sous-station en ligne est composé des éléments suivants :

- **IS1 et IS2** : 2 cellules type « arrivée » avec interrupteurs motorisés sur lesquelles sont raccordés les 2 tronçons de la boucle 30kV.
- **DHTA-R** : 1 cellule disjoncteur départ transformateur du poste redresseur traction.
- **ITRA** : 1 cellule interrupteur-fusible combiné départ transformateur auxiliaires[3].

### III .3.2-Tableaux du dépôt :

Le tableau 30kV de la sous-station du Dépôt est composé des éléments suivants :

- **IS1 et IS2** : 2 cellules type « arrivée » avec interrupteurs motorisés sur lesquelles sont raccordés les 2 tronçons de la boucle 30kV.
- **DHTA-R1 et DHTA-R2** : 2 cellules disjoncteur départ transformateur du poste redresseur traction ligne et dépôt.
- **DTRA1** : 1 cellule disjoncteur départ transformateur auxiliaire.

## III .4-Description des cellules :

### III .4.1-Cellules d'arrivée boucle 30 KV – IS:

#### III .4.1.1-Composition :

Les cellules seront composées de 2 parties, une partie puissance et une partie basse tension.

➤ **Partie puissance :**

- un interrupteur-sectionneur motorisé permettant de connecter une branche de la boucle HT au tableau
- un sectionneur de mise à la terre permettant de connecter une branche de la boucle HT à la terre si besoin
- une présence tension montée sur diviseurs capacitifs
- un ensemble de transformateurs de courant

➤ **Partie basse tension :**

- une protection 27 - manque Tension amont
- une protection 50 – max. courant
- une protection 50N – max. courant de terre

#### 4-1-2-Fonctionnement :

➤ **Interrupteur-sectionneur :**

Les cellules d'arrivée 30KV sont commandées à distance par le PCC. Les protections n'interviennent pas en local sur le fonctionnement des interrupteurs.

➤ **Sectionneur de terre :**

La fermeture du sectionneur de mise à la terre n'est possible que si l'interrupteur motorisé est en position ouverte. Si cette condition n'est pas valide, un verrouillage mécanique empêche d'effectuer cette manœuvre.

➤ **Relais de protection :**

L'état de l'ensemble des protections sera remonté au PCC pour permettre d'identifier, en cas de problème de la boucle, quel tronçon est concerné. L'ensemble du processus de gestion de la boucle HT, et de surcroît de la commande distante des cellules d'arrivées Gestion de la boucle HT[3].

### III .4.2-Cellules départ transformateur de traction – DHTA-R :

#### III .4.2.1-Composition :

Les cellules seront composées de 2 parties, une partie puissance et une partie basse tension.

➤ **Partie puissance:**

- un Interrupteur sectionneur d'isolement, permettant d'isoler la cellule de l'alimentation amont si besoin
- un disjoncteur, permettant de protéger le départ de la cellule
- un sectionneur de mise à la terre, permettant de connecter le départ à la terre si besoin
- une présence tension montée sur diviseurs capacitifs
- un transformateur de tension (tension jeu de barre) - un ensemble de transformateurs de courant

➤ **Partie basse tension :**

- une protection 27-manque Tension
- une protection 50 – max. courant
- une protection 50N – max. courant de terre
- une protection 51 – protection surcharge du transformateur

#### III .4.2.2-Fonctionnement:

➤ **Interrupteur-Sectionneur d'isolement :**

Les commandes manuelles d'ouverture et de fermeture sont possibles si le sectionneur de terre est en position ouvert. Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur d'isolement si le sectionneur de terre est fermé.

Cet interrupteur-sectionneur d'isolement n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance. Des voyants mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur.

➤ **Sectionneur de terre :**

Les commandes manuelles d'ouverture et de fermeture sont possibles si l'interrupteur-sectionneur d'isolement de la cellule est ouvert et si le sectionneur d'isolement automatique (SIA) en aval de la cellule est ouvert .L'interverrouillage est assuré mécaniquement par clé.

Ce sectionneur de terre n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance. Des voyants mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur.

➤ **Disjoncteurs:**

Le disjoncteur peut être commandé à l'enclenchement et au déclenchement de deux manières :

- Commutateur en mode « distance » : par ordres externes venant du PCC ou du PCL
- Commutateur en mode « local » : par boutons poussoirs en face avant de la cellule

Le disjoncteur doit aussi déclencher automatiquement lorsqu'il se produit un de ces évènements :

- Disparition de la présence tension amont
- défaut relais de protection (50, 50N, 51)
- défaut auto-surveillance du relais de protection
- arrêt d'urgence local
- défaut détecté par relais de protection de température du transformateur
- défaut externe venant du redresseur ou du tableau de distribution 750V cc
- Perte 230Vca contrôle commande.

Des voyants indiquent en face avant la position du disjoncteur.

Les conditions d'enclenchement requises pour ce disjoncteur sont :

- Aucune des conditions de déclenchement citées précédemment.
- L'interrupteur sectionneur d'isolement de la cellule est fermé.
- Disjoncteur ouvert.
- Pas d'alarme température Transformateur.
- Pas d'alarme venant du redresseur.
- Pas d'ordre d'ouverture/déclenchement du disjoncteur.

Lorsque toutes les conditions sont réunies, un voyant « fermeture autorisée » informe l'Opérateur. Cet état est également reporté à distance.

Le déclenchement du disjoncteur est assuré par une bobine à manque tension.

➤ **Relais de protection du transformateur de traction :**

**50 et 51 :** La fonction surcharge sera réalisée par une courbe à temps « extrêmement inverse » adapter aux cycles de charges spécifiques du transformateur de traction. (Ce relais sera équipé d'un système de communication de type ModBus pour reporter à distance les mesures de courant via l'armoire de contrôle commande.)

**49 :** Les relais de contrôle de température à 2 seuils assureront la protection des enroulements du transformateur de traction. Le seuil température alarme ne provoque pas le déclenchement mais il interdit l'enclenchement du disjoncteur si celui-ci est ouvert[3].

---

### III .4.3-Cellules départ transformateurs auxiliaires ligne – ITRA :

#### III .4.3.1-Composition:

Les cellules seront composées de 2 parties, une partie puissance et une partie basse tension.

Partie puissance :

- un interrupteur-sectionneur permettant d'alimenter le départ ou d'isoler la cellule si besoin
- un fusible, permettant de protéger le départ.
- un double sectionneur de mise à la terre, permettant de connecter le départ et le porte fusible à la terre si besoin.
- une présence tension montée sur diviseurs capacitifs.
- Partie basse tension :
- une protection 27 - manque Tension.
- une protection thermique du transformateur[3].

#### III .4.3.2-Fonctionnement:

##### ➤ Interrupteur-sectionneur:

Cet interrupteur-sectionneur est motorisé et est manœuvrable à distance ou localement. Des voyants mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur.

Il peut être commandé à l'ouverture et à la fermeture de deux manières :

- Commutateur en mode « distance » : par ordres externes venant du PCC ou du PCL.
- Commutateur en mode « local » : par boutons poussoirs en face avant de la cellule.

Il doit aussi déclencher automatiquement lorsqu'il se produit un de ces évènements :

- Fusion du fusible.
- Disparition de la présence tension amont.
- arrêt d'urgence local.
- défaut détecté par relais de protection de température du transformateur.
- Perte 230Vca contrôle commande.

Des voyants indiquent en face avant la position de cet interrupteur-sectionneur. Un bornier d'interfaces est prévu pour assurer la supervision à distance (réception des ordres et retransmission des états).

Les conditions de fermeture requises pour cet interrupteur-sectionneur sont :

- Aucune des conditions de déclenchement citées précédemment.
- Un fusible est présent dans le porte fusible.
- Interrupteur-sectionneur ouvert.
- Pas d'alarme température Transformateur.
- Pas d'ordre d'ouverture/déclenchement de l'interrupteur.
- Sectionneur de terre position ouvert.

Lorsque toutes les conditions sont réunies, un voyant « fermeture autorisée » informe l'Opérateur. Cet état est également reporté à distance.

Le verrouillage et le déclenchement automatique de cet interrupteur sont pilotés par un actionneur fonctionnant en 230V ça. En cas de perte de la tension de contrôle, l'actionneur reste dans son état. Il demeure manœuvrable manuellement.

#### ➤ **Sectionneurs de Terre :**

Les commandes manuelles d'ouverture et de fermeture sont possibles si l'interrupteur-sectionneur est en position ouverte.

Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur de terre si l'interrupteur-sectionneur est fermé. Ce sectionneur de terre n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance.

Ce sectionneur est à double coupure et assure la mise à la terre en amont et en aval des cartouches fusibles. La fermeture du sectionneur de terre est nécessaire pour avoir accès aux cartouches fusibles et procéder à leur.

Remplacement éventuel. Des voyants mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur. Des contacts de position sont câblés sur bornes pour retransmettre la position à distance.

#### ➤ **Relais de protection du transformateur auxiliaire :**

**50 et 51 :** Ce relais sera équipé d'un système de communication de type ModBus pour reporter à distance les mesures de courant via l'armoire de contrôle commande.

**49 :** Les relais de contrôle de température à 2 seuils assureront la protection des enroulements du transformateur de traction. Le seuil température alarme ne provoque pas le déclenchement mais il interdit l'enclenchement du disjoncteur si celui-ci est ouvert[3].

### **III .4.4-Cellule départ transformateur auxiliaire du dépôt– DTRA :**

#### **III .4.4.1-Composition :**

Les cellules seront composées de 2 parties, une partie puissance et une partie basse tension.

➤ **Partie puissance :**

- un sectionneur d'isolement, permettant d'isoler la cellule de l'alimentation amont si besoin.
- un disjoncteur, permettant de protéger le départ de la cellule.
- un sectionneur de mise à la terre, permettant de connecter le départ à la terre si besoin.
- une présence tension montée sur diviseurs capacitifs.
- un ensemble de transformateurs de courant.

➤ **Partie basse tension :**

- une protection 27 - manque Tension.
- une protection 50 – max. courant.
- une protection 50N – max. courant de terre.
- une protection 51 – protection surcharge du transformateur.
- une protection 49 - thermique du transformateur[3].

#### **III .4.4.2-Fonctionnement:**

➤ **Interrupteur-Sectionneur d'isolement :**

Les commandes manuelles d'ouverture et de fermeture sont possibles si le sectionneur de terre est en position ouvert.

Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur d'isolement si le sectionneur de terre est fermé.

Cet interrupteur-sectionneur d'isolement n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance. Des voyants mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur.

➤ **Sectionneur de terre :**

Les commandes manuelles d'ouverture et de fermeture sont possibles si l'interrupteur-sectionneur d'isolement de la cellule est ouvert.

Un verrouillage mécanique interdit la manœuvre du sectionneur de terre si l'interrupteur-sectionneur d'isolement de la cellule est fermé.

Ce sectionneur de terre n'est pas motorisé et n'est pas manœuvrable à distance. Des voyants mécaniques indiquent en face avant du tableau la position de l'actionneur.

➤ **Disjoncteur :**

Le disjoncteur peut être commandé à l'enclenchement et au déclenchement de deux manières :

- Commutateur en mode « distance » : par ordres externes venant du PCC ou du PCL.
- Commutateur en mode « local » : par boutons poussoirs en face avant de la cellule.

Le disjoncteur doit aussi déclencher automatiquement lorsqu'il se produit un de ces évènements:

- disparition de la présence tension amont.
- défaut relais de protection (50, 50N, 51).
- défaut auto-surveillance du relais de protection.
- arrêt d'urgence local.
- défaut détecté par les relais de protection de température du transformateur.
- Perte 230Vca contrôle commande.

Des voyants indiquent en face avant la position du disjoncteur. Un bornier d'interfaces est prévu pour assurer la supervision à distance (réception des ordres et retransmission des états).

Les conditions d'enclenchement requises pour ce disjoncteur sont :

- Aucune des conditions de déclenchement citées précédemment.
- Pas d'alarme température Transformateur.
- Disjoncteur ouvert.
- Pas d'ordre d'ouverture/déclenchement de l'interrupteur.
- Le sectionneur d'isolement de la cellule est fermé.

Lorsque toutes les conditions sont réunies, un voyant « fermeture autorisée » informe l'Opérateur. Cet état est également reporté à distance.

Le déclenchement du disjoncteur est assuré par une bobine à manque tension.

➤ **Relais de protection du transformateur auxiliaire :**

**50 et 51 :** Ce relais sera équipé d'un système de communication de type ModBus pour reporter à distance les mesures de courant via l'armoire de contrôle commande.

**49** : Les 2 relais de contrôle de température à 2 seuils assureront la protection des enroulements du transformateur de traction. Le seuil température alarme ne provoque pas le déclenchement mais il interdit l'enclenchement du disjoncteur si celui-ci est ouvert[3]

### **III .5-Alarmes et défauts “protection MICOM”:**

Chaque alarme (anomalie mineure n'entraînant pas de déclenchement) ou défaut (anomalie majeure entraînant un déclenchement) est signalée localement de façon individuelle sur la cellule concernée ou sur l'équipement qui est à l'origine de l'événement.

A l'exception des défauts de manque tension qui ne sont que des conséquences de défauts externes ou de coupures en amont, tous les autres défauts doivent être acquittés localement pour autoriser le réenclenchement de l'actionneur.

L'acquiescement n'est possible que si le défaut a disparu.

Concernant le fonctionnement des relais de température des transformateurs, on distingue 2 seuils:

- un premier seuil alarme : verrouille la fermeture du disjoncteur.
- un deuxième seuil déclenchement : verrouille la fermeture du disjoncteur.

Voici différents exemples :

- Défaut maxi intensité transformateur de traction.

Ce type de défaut fugitif est mémorisé et signalé sur l'écran de dialogue du relais de protection installé en face avant de la cellule DHTA-R.

Après avoir identifié et éliminé la cause du défaut, l'Exploitant doit l'acquiescer localement depuis la face avant du relais de protection pour autoriser le ré-enclenchement du disjoncteur.

- Défaut température élevée transformateur de traction.

Ce type de défaut n'est pas fugitif puisqu'il dépend de l'inertie thermique de l'équipement et de l'hystérésis des seuils de température.

C'est un défaut externe au tableau. Il est néanmoins mémorisé et signalé par « Déclenchement externe » sur l'écran de dialogue du relais de protection installé en face avant de la cellule DHTA-R. Il peut être acquiescé dès que la température du transformateur est retombée en dessous de la valeur critique.

Toutefois, le ré-enclenchement du disjoncteur n'est possible qu'après avoir également acquiescé le seuil de température d'alarme.

Dans le cas du déclenchement du disjoncteur DHTA-R suite au défaut température 2eme seuil, l'alarme 1er seuil et le défaut 2eme seuil devront être acquiescés pour réenclencher.

- Défauts venant du redresseur – SIA .

Les défauts générés par ces équipements sont mémorisés et signalés en face avant du SIA. Ils sont également signalés sur l'écran de dialogue du relais de protection installé en face avant de la cellule DHTA-R sous forme de défauts regroupés (signalisation « Déclenchement externe »).

L'acquiescement se fait localement depuis la face avant du SIA. Dès que le défaut redresseur est acquitté, la signalisation « déclenchement externe » sur la cellule HT disparaît.

Toutefois, le ré-enclenchement du disjoncteur n'est possible qu'après avoir également acquitté les alarmes éventuelles associées[3].

### **III .6-Alimentation des auxiliaires et du controle commande :**

Les tableaux HT seront alimentés en 230V ca secourue par l'ASI de la sous-station pour assurer le contrôle commande. Le système d'interfaces contrôle commande pour le report des informations au PCC sera alimenté par une source 24V cc issue de l'armoire de contrôle commande.

Les auxiliaires (éclairage, résistances anti-condensation, etc.) seront alimentés par un 230V ca normale issu du TGBT[3].

### **III .7-Transformateur de traction :**

Le transformateur de traction de chaque sous-station sera équipé de sondes PTC pour le contrôle de température des enroulements secondaires. Les relais de protection associés aux sondes seront installés dans le caisson BT de la cellule du départ correspondant.

Le transformateur de traction permet d'abaisser la haute tension 30kV alternative DHTA-R en une tension alternative basse tension 585V qui alimente le groupe redresseur. Ce transformateur sera de type sec[3].

### **III .8-Transformateur auxiliaire:**

Le transformateur auxiliaire de chaque sous-station sera équipé de sondes PTC pour le contrôle de température de l'enroulement secondaire. Les relais de protection associés aux sondes seront installés dans le caisson BT de la cellule du départ correspondant[3].

### **III .9-Redresseur:**

Un bornier d'interfaces sera prévu dans la cellule départ transformateur redresseur pour échanger avec le tableau redresseur via le SIA les informations d'autorisation d'enclenchement et de déclenchement du disjoncteur HT.

Le redresseur permet de transformer la tension alternative basse tension de sortie du transformateur en tension continue.

Le redresseur sera de type dodécaphasé (12 impulsions) afin de limiter les harmoniques générés et d'une puissance nominale de 900kW[3].

### III .10-Tableau 750V CC:

Un bornier d'interfaces sera prévu dans la cellule départ transformateur redresseur pour échanger avec le tableau 750V cc les informations d'autorisation d'enclenchement et de déclenchement du disjoncteur HT[3].

### III .11-Architecture de la production energie de traction :

L'architecture utilisée pour la production courant continue de chaque sous-station est de type mono-groupe, soit un groupe transfo-redresseur.

Les redresseurs utiliseront la technologie 12-pulse, la tension continue sera alors composée de 12 impulsions.

L'ensemble de des équipements dans l'architecture de production son :

- **disjoncteur - DHTA-R** : cellule de protection du transformateur de traction.
- **transformateur de traction (TRT) 30kV /2x585V** avec ses protections internes.
- **redresseur – RED**, avec ses protections internes.
- **sectionneur d'isolement automatique – SIA**. Le SIA réalise la séparation entre les parties production et distribution d'énergie de traction en 750Vcc.

#### III .11.1-Disjoncteur de protection - DHTA-R :

Le disjoncteur Haute Tension a pour fonction de protéger le groupe transformateur / redresseur traction.

#### III .11.2-Transformateur traction – TRT:

Le transformateur de traction permet d'abaisser la haute tension 30kV alternative DHTA-R en une tension alternative basse tension 585V qui alimente le groupe redresseur. Ce transformateur sera de type sec.

Il n'y a pas à proprement parler de « fonctionnel » associé au transformateur de traction. Il s'agit d'un organe passif sur lequel il n'y a pas à effectuer de manœuvres.

#### III .11.3-Redresseur – RED :

Le redresseur permet de transformer la tension alternative basse tension de sortie du transformateur en tension continue.

Le redresseur sera de type dodécaphasé (12 impulsions) afin de limiter les harmoniques générés et d'une puissance nominale de 900kW.

#### III .11.4-Sectionneurs d'isolement automatique – SIA:

Le sectionneur d'isolement automatique permet d'isoler, en cas de défaut ou maintenance, les polarités positives et négatives du groupe redresseur traction du tableau de distribution traction.

Le fonctionnement normal est le fonctionnement automatique avec le SIA fermé.

-Est sécurisé par verrouillage mécanique afin de permettre une éventuelle action de la maintenance sur la section électrique en toute sécurité[3].

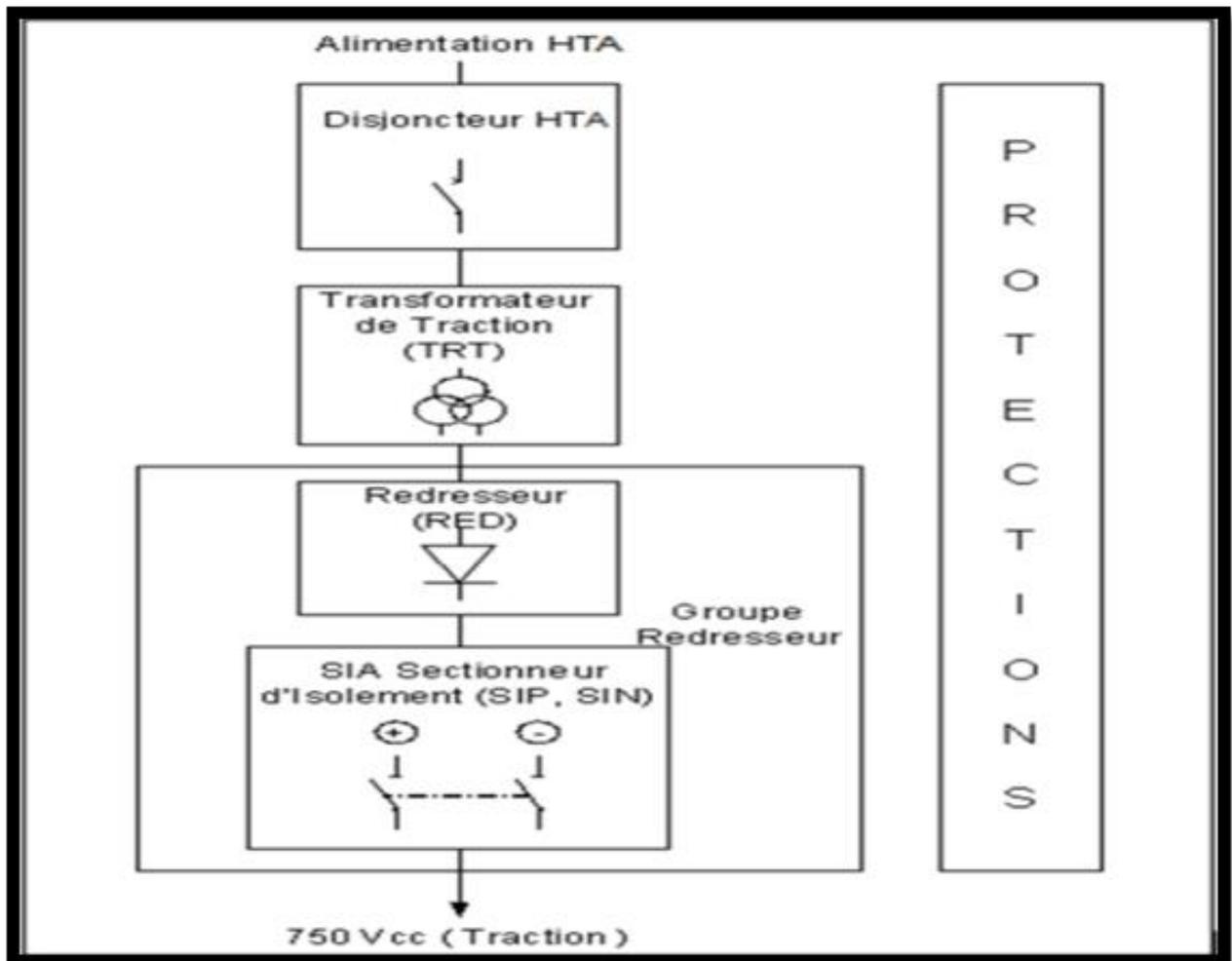


Figure III-2 : Schéma de l'architecture de la production énergie de traction

## **III .12-Les équipements de distribution en sous-station :**

### **III .12.1-Tableau de protection traction – TPT :**

Le tableau de protection, en aval du SIA et amont du TDT, a pour fonction de protéger et d'isoler la section électrique qu'alimente la sous-station. Pour ce faire, celui-ci comprend deux Disjoncteurs Ultra Rapides (DUR) dimensionnés et configurés pour pouvoir interrompre l'alimentation traction dans tous les cas de défaut.

Chaque DUR :

- communique avec les autres Durs des sous-stations adjacentes
- Est opérable en mode local ou distance.
- Permet la séparation des parties production et distribution par un tiroir débrochable.

### **III .12.2-Tableau de distribution traction – TDT :**

Le tableau de distribution permet d'alimenter la (les) section(s) électrique(s). Il est constitué pour la distribution en 'TT' :

- de deux sectionneur ligne unipolaires motorisés (SL1 et SL2)
- de deux sectionneur « feeder » unipolaires motorisés (SF1 et SF2).
- d'un interrupteur de secours télécommandé (IST) permettant d'interconnecter les deux section LAC lors que la sous-station est mise hors tension. Son tableau de commande est équipé d'une commande Manuelle locale en cas de problème électrique auxiliaire.
- de quatre parafoudres (un pour chaque point d'injection)[3].

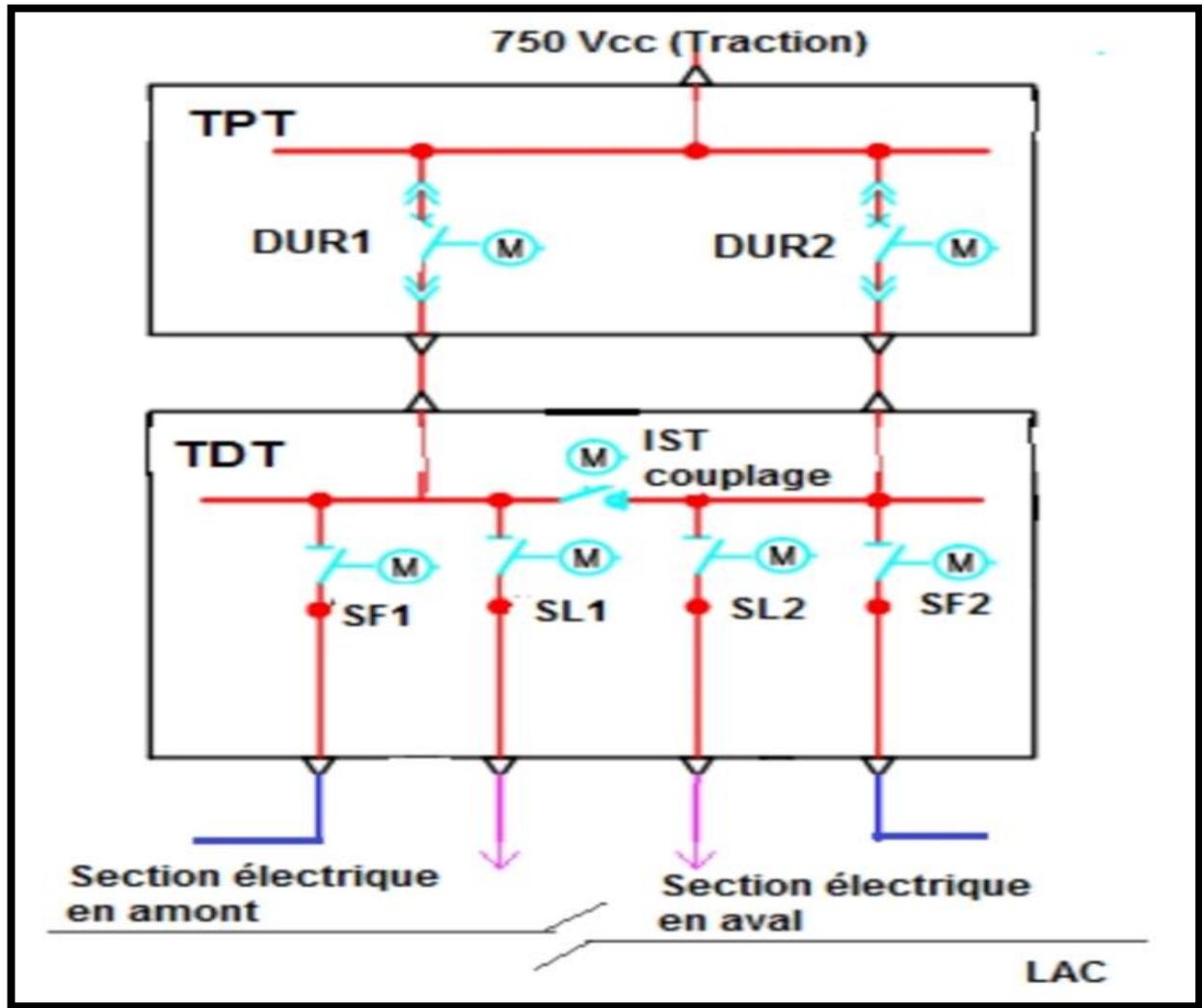


Figure III-3: Schéma pour L'équipement de distribution en sous-station

---

## **III .13-fonctionnement des équipements de distribution en ligne :**

### **III .13.1-Interrupteur en ligne – INT:**

L'interrupteur en ligne (INT) permet de relier ou d'isoler deux sous-sections électriques. Il transfère si nécessaire la ligne pilote. L'INT est en position fermée en exploitation normale. Les INT doivent pouvoir tenir le courant de court-circuit de la ligne.

➤ L'INT peut être manœuvré selon les trois modes suivants :

- Mode PCC depuis le Poste de Commande Centralisée.
- Mode PCL depuis l'armoire de contrôle commande de la sous-station.
- Mode local :
  - Electriquement en actionnant la boutonnerie en face avant du plexiglas de protection interne de l'armoire.
  - Manuellement en actionnant à la main, l'appareil depuis l'armoire (même en absence de tension auxiliaire).

### **III .13.2-Coffret feeder – IF:**

Les boites feeder sont des boites de raccordement du feeder situées tout au long de la ligne permettant de multiplier les points d'injection sur la LAC.

La partie puissance n'est accessible qu'après dépose d'un plexiglas de protection interne dans la boîte. Les barrettes « feeders » BFAM et BFAV sont déboulonnables[3].

## **III .14-Système de contrôle-commande des SST :**

### **III .14.1-Generalites et architecture :**

« Le système de contrôle commande se compose d'une armoire de contrôle commande (ACC) récupérant à distance l'état fonctionnel d'une SST.

L'armoire de contrôle-commande supervise l'état des équipements suivants dans une SST :

- Tableau THT 30 kV
- Transformateur traction TRT
- Transformateur(s) auxiliaire(s) TRA
- Redresseur traction RED / SIA
- Disjoncteurs de voies traction TPT
- Interrupteurs et sectionneurs du tableau de distribution traction TDT
- Équipement en ligne : interrupteur INT
- Tableaux basse tension pour les auxiliaires TGBT
- Les alimentations secourues, ainsi que leurs tableaux de distribution
- L'armoire de contrôle-commande ACC regroupe :
  - L'automate programmable industriel (API), de la SST
  - L'interface homme machine de la SST (IHM)
  - Les équipements de communication pour l'interface SST / PCC
- L'ensemble forme un pupitre opérateur local (PCL)
- En outre le Coffret AU inclut également les équipements nécessaires au traitement des arrêts d'urgence PCC et local, afin de faire déclencher les organes de manœuvre nécessaires

### **III .14.2-Verrouillage entre équipements :**

#### **III .14.2.1-Verrouillages électrique :**

Un verrouillage électrique est mis en place entre les différents équipements :

- Afin d'assurer la sécurité des personnes
- Et d'éviter toutes manœuvres dangereuses

#### **III .14.2.2-Verrouillages mécanique :**

Un système de verrouillage par clé de sécurité entre équipements est prévu afin éviter toute manœuvre dangereuse et afin de permettre la consignation de chaque équipement.

Les verrouillages mécaniques sont décrits dans la spécification des verrouillages[3].



Figure III-4 : Armoire contrôle-commande

# **CHAPITRE IV:**

## **Chaine de Traction- Moteur**

---

## CHAPITRE IV: Chaîne de Traction-Moteur

### IV .1-Système LAC:

Le système LAC est constitué de :

- Fils de Contact.
- Câbles d'alimentation et connexions électriques.
- Equipements/Armements (Consoles, Transversal, portique souple, Suspensions, Rappels souple)
- Supports.
- Protections (Mise à la terre, Parafoudre)[6].

#### IV .1.1-Fils de contact :

Fil de contact est le Conducteur électrique sur lequel appuie le Pantographe du tramway pour capter du courant.

Le matériau utilisé dans la fabrication des FC est du cuivre dur, de sections  $150 \text{ mm}^2$  . Chaque 45 mètres de la ligne du Tramway exige jusqu'à 1200 A du courant. Le FC support une tension mécanique de 1500 daN (LAC régularisée) et 1000 daN à température moyenne (LAC non régularisée) et une tension d'alimentation de 750V CC. Le fil de contact devra être conforme aux exigences de la norme EN50149[7].

#### IV .1.2-Supports LAC :

Support, qui ont utilisés pour la ligne du tramway de Constantine sont cylindro-coniques avec semelles en acier galvanisé à chaud de 8 ou 10m de hauteur selon leur localisation, dont la moitié supérieure à un diamètre à celui de la moitié inférieure. Pour l'électrification du centre de maintenance et du remisage secondaire, ils ont utilisé des poteaux circulaires à multi face, et les poteaux pour les ancrages portant des appareils tendeurs à moufles, sont des poteaux cylindriques.

Chaque type de poteaux LAC fait l'objet d'une feuille de calcul qui permet de déterminer les efforts les plus défavorables induits par la suspension sur le poteau.

Les poteaux LAC sont de résistance omnidirectionnelle .leur déplacement en tête (flèche) sous effort maximal est également limité 0.5% de leur hauteur. Les supports sont fixés dans les massifs de fondation intégrés à la Platform du tramway[7].

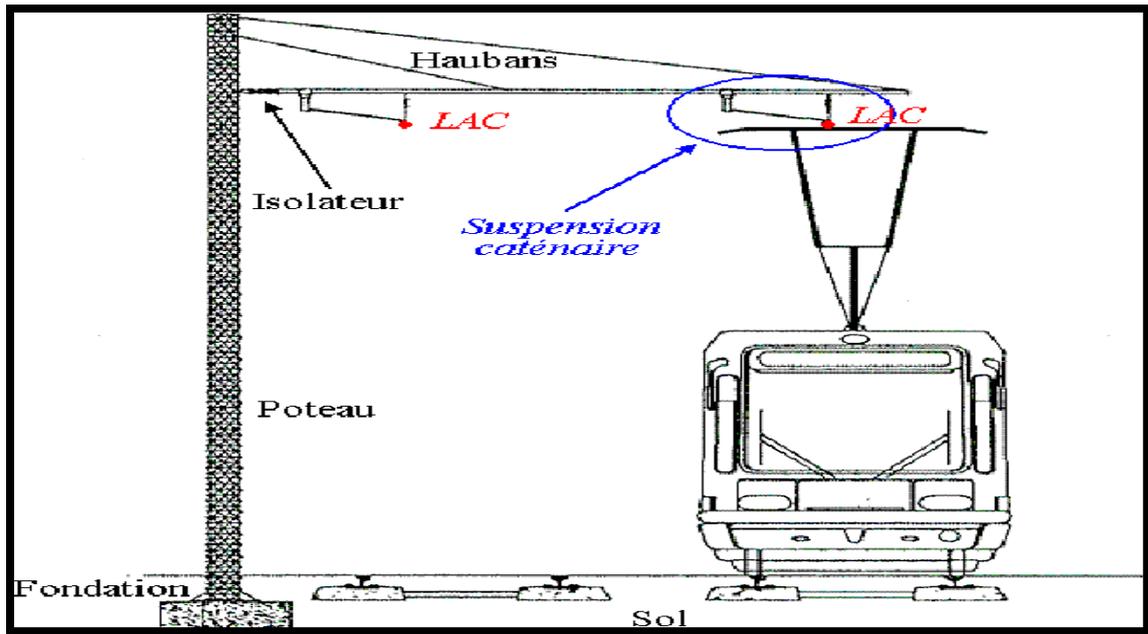


Figure IV -1 : Ligne Aérienne de Contact

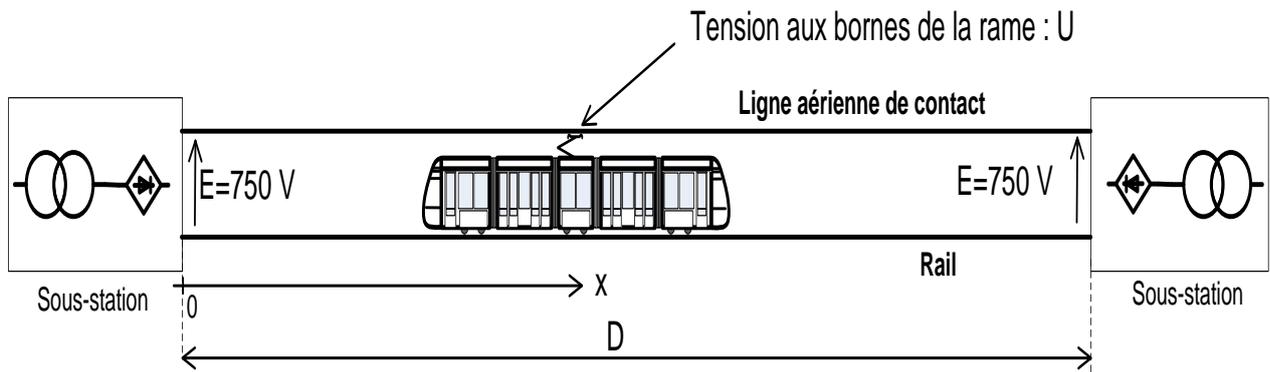


Figure IV-2 : Alimentation par Ligne Aérienne de Contact de deux Sous-Station

## IV .2-Pantographe :

Le pantographe est le dispositif articulé qui permet à une locomotive électrique ou à un tramway ou à d'autres systèmes *automoteurs* électriques de capter le courant par frottement sur une caténaire.

Dans le cadre d'un pantographe pneumatique, le déploiement du bras est assuré par un vérin pneumatique, qui permet de maintenir une certaine pression sur la caténaire. Le pantographe se replie par gravité lorsque la pression d'air est annulée.

Dans le cadre d'un pantographe électrique, les mouvements de montée et de descente sont assurés par un moteur électrique annexe [1].

Le pantographe est un ensemble mécanique articulé, qui capte le courant sur la caténaire et l'achemine jusqu'à la ligne de conduite. Équipement du tramway dépliant, situé au-dessus du véhicule et permettant de capter le courant. Les organes de commandes permettent la montée ou la descente du pantographe.



Figure IV-3: Pantographe

## IV .3-Les composants du tramway :

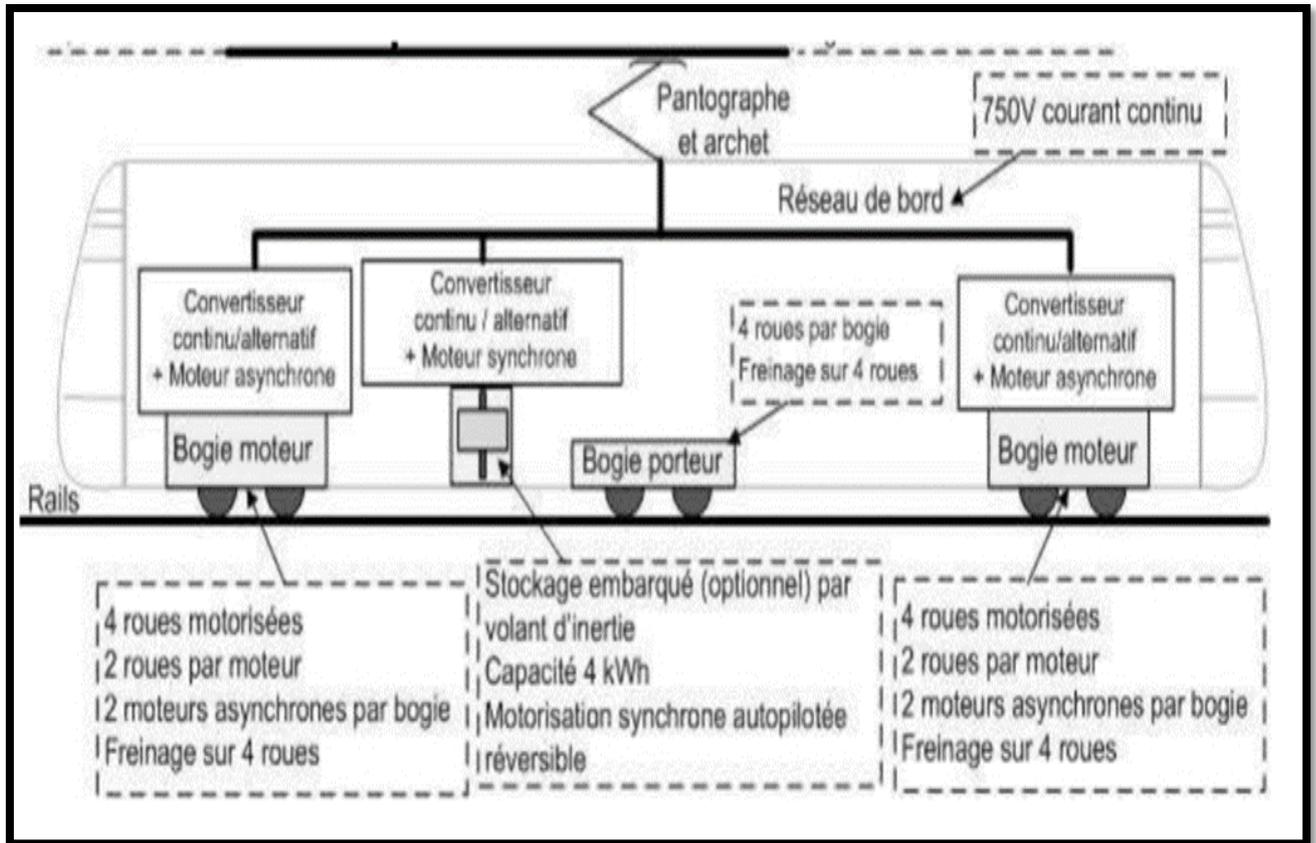
Le tramway est une rame composée de 2 éléments, elle se décompose de la manière

Suivante :

- Deux motrices M1.
- Deux caisses suspendues C1.
- Deux nacelles porteuses NP.
- Deux caisses suspendues C2.
- Deux motrices M2

Le tramway est porté par des bogies. Un bogie est une sorte de chariot à quatre roues auquel la rame de tramway est liée par une liaison. Les bogies assurent le guidage et l'appui au sol de la rame, ainsi que sa motorisation dans le cas des bogies moteurs.

Le tramway étudié ici comporte 2 bogies moteurs (4 roues motrices) et 1 bogie central porteur. Tous les bogies comportent des freins. Les tramways modernes font appel aux multiples ressources de l'électronique de puissance et l'on obtient de la sorte un fonctionnement satisfaisant des moteurs de tractions, notamment en termes de niveau sonore et de souplesse d'emploi[8].



**Figure IV-4 :** Les composants du tramway

## **IV .4-Bogie Moteur :**

### **IV .4.1-Principe d'installation :**

Chaque élément CITADIS 301 est composé de 3 caisses sous lesquelles sont implantés 2 bogies moteurs extrêmes pour plancher haut et 1 bogie porteur pour plancher bas.

Chaque élément CITADIS 401 est composé de 5 caisses sous lesquelles sont implantés 2 bogies moteurs extrêmes pour plancher haut, 1 bogie moteur intermédiaire ARPEGE 350 M pour plancher bas et 1 bogie porteur pour plancher bas.

Chaque élément CITADIS 302 est composé de 5 caisses sous lesquelles sont implantés 2 bogies moteurs ARPEGE 350 M pour plancher bas et 1 bogie porteur pour plancher bas[9].

Chaque élément CITADIS 402 est composé de 7 caisses sous lesquelles sont implantés 2 bogies ARPEGE 350 M moteurs extrêmes pour plancher bas, 1 bogie moteur intermédiaire ARPEGE 350 M pour plancher bas et 1 bogie porteur pour plancher bas[10].

Chaque bogie moteur ARPEGE 350 M est bimoteur à roulement sur fer et comporte 2 châssis - ponts moteurs. Un châssis pont - moteur est constitué d'un pont moteur, objet de cette spécification, et d'un longeron fixé rigidement au pont moteur. Chaque châssis - pont moteur fait office d'essieu et de demi - châssis de bogie, le pont réalisant la partie transversale du 1/2 châssis de bogie.

Chaque moteur est fixé rigidement à un pont et entraîne la chaîne cinématique sans accouplement. Le pont est muni de 2 moyeux sur lesquels sont fixées les roues fer élastiques[9].

### **IV .4.2-Principe de fonctionnement :**

Le pont moteur sert à transmettre:

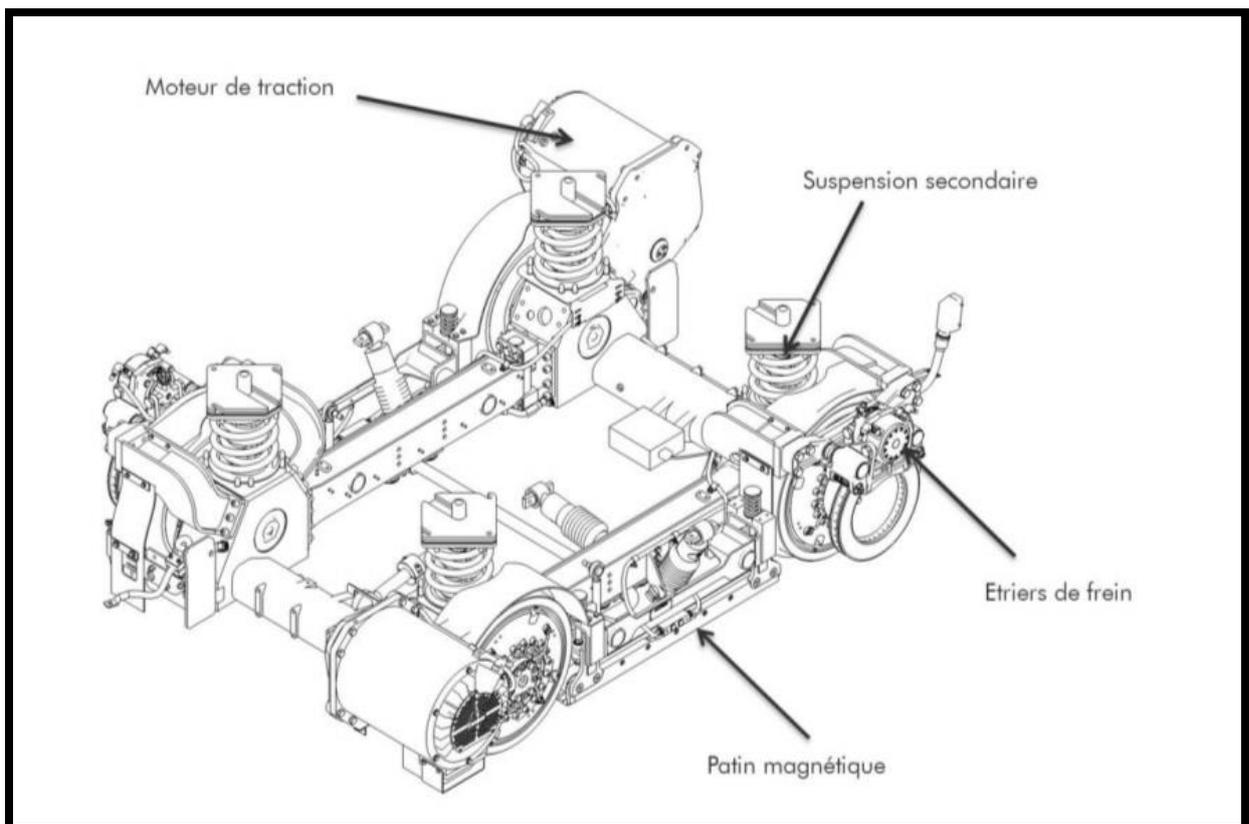
- Les charges verticales, transversales et longitudinales de la caisse du véhicule (respectivement par l'intermédiaire de 2 suspensions secondaires à ressorts hélicoïdaux par pont, 2 butées transversales par pont et 1 bielle d'entraînement par bogie) à la voie (par l'intermédiaire des roues).
- Le couple moteur du moteur aux roues, aussi bien en accélération qu'en décélération (freinage électrique) et ceci dans les 2 sens de marche.
- Les efforts de freinage aux roues en décélération (freinage mécanique) et ceci dans les 2 sens de marche.

Les 2 roues d'un même essieu sont entraînées par un unique moteur de traction, ce par l'intermédiaire d'une chaîne cinématique en "méga" logée en partie dans la poutre du pont réducteur et en partie dans un carter secondaire, dit carter support moteur, solidaire de cette poutre.

Le moteur est flasqué sur le carter support moteur, centré sur celui-ci par un alésage et bridé par des vis.

La transmission du mouvement entre moteur et roues est assurée par un réducteur à 2 étages de réduction. Le moteur entraîne un premier étage à partir duquel le mouvement est distribué, par

l'intermédiaire d'un deuxième étage, directement sur la roue coté moteur et via un arbre de transmission (passant sous la partie basse du plancher de caisse à 350mm) sur la roue coté opposé au moteur[9].



**Figure IV-5: Bogie Moteur**

### IV .4.3-Centrale hydraulique :

La centrale est un organe hydraulique utilisé dans certaines phases de freinage (de service, d'urgence, de secours, d'immobilisation et de parking). Compresseur de sablage :Le compresseur permet la production d'air comprimé utilisé pour la mise en œuvre du sablage, il est utilisé dans le cas où il y a le patinage ou l'enrayage.

### IV .4.4-Compresseur de sablage :

Le compresseur permet la production d'air comprimé utilisé pour la mise en œuvre du sablage, il est utilisé dans le cas où il y a le patinage ou l'enrayage.

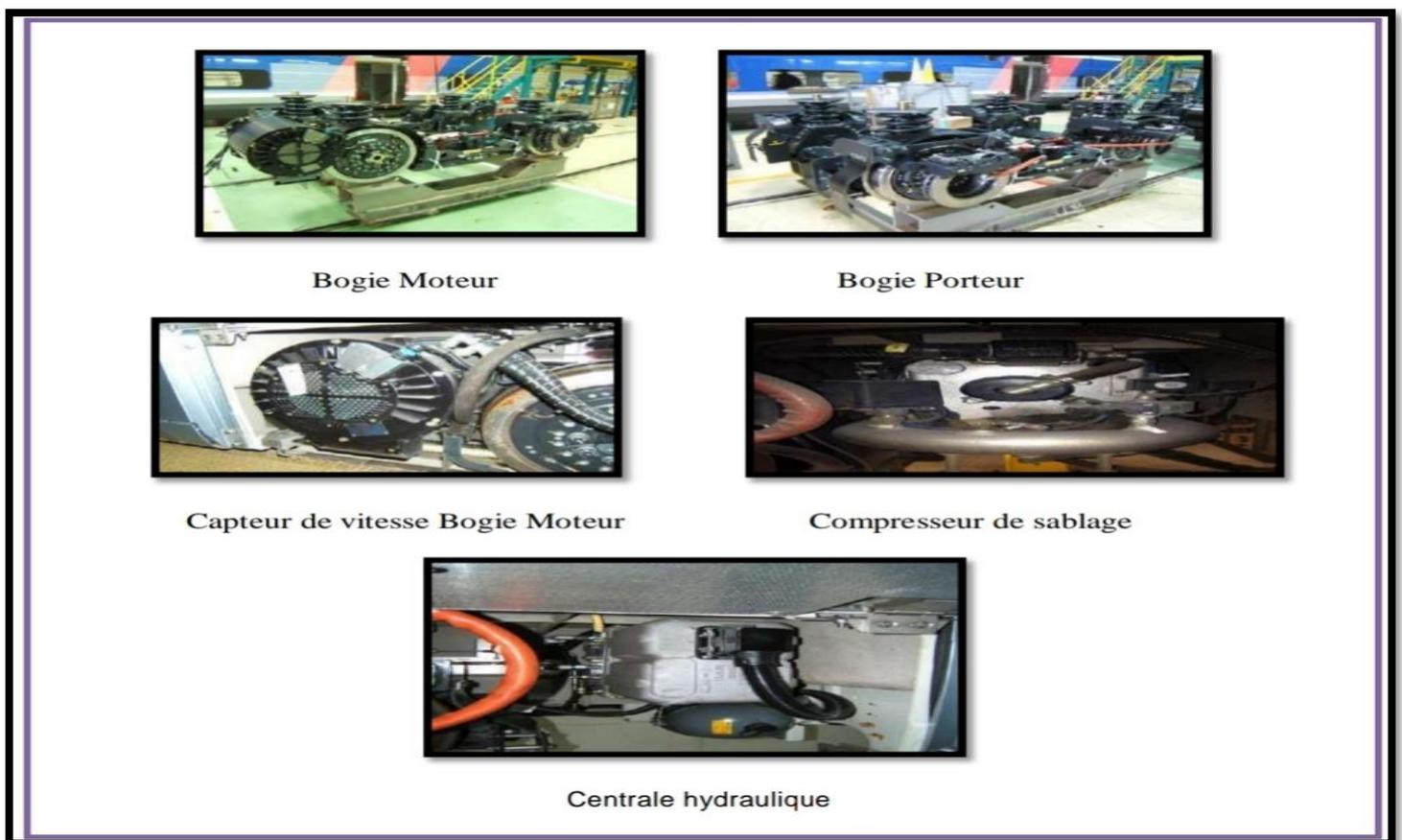


Figure IV-6 : Les équipements en fosse d'un élément du tramway

## **IV .5-Definition d'une machine alternatif :**

C'est une machine électrique tournante qui peut fonctionner par un courant alternatif, monophasé ou triphasé.

Ces machines alternatives se déclinent en trois types :

- Les machines synchrones.
- Les machines asynchrones.
- Les moteurs universels.

Les deux premiers types de machines ne diffèrent que par leur rotor[11].

## **IV .6-Description du moteur de traction:**

### **IV .6.1-Machines asynchrones :**

Les machines asynchrones sont les machines à courant alternatif les plus répandues. On les utilise dans de nombreux dispositifs domestiques (machines à laver, sèche linge, tondeuse électrique...etc.), ainsi que dans des dispositifs industriels (machine outil...). Elles sont également utilisées pour la traction ferroviaire dans les derniers modèles de TGV. Le principal avantage de ces machines est leur faible coût de fabrication et leur grande robustesse. Elle peut fonctionner soit en moteur asynchrone soit en génératrice hypersynchrone[11].

#### **IV .6.1.1-Génératrice asynchrone (hypersynchrone):**

La Machine Asynchrone (MAS) est utilisée dans la plupart des cas car cette génératrice peut supporter de légères variations de vitesse ce qui est un atout pour les éoliennes où la vitesse du vent peut évoluer rapidement notamment lors de rafales. Ces variations de vitesses engendrent des sollicitations mécaniques importantes sur le système qui se trouvent plus réduites avec une machine asynchrone qu'avec une génératrice synchrone qui fonctionne à vitesse fixe. La machine asynchrone est peu utilisée sur site isolé car elle nécessite des batteries de condensateurs pour la fourniture d'énergie réactive. La génératrice asynchrone nécessite de fonctionner à une vitesse nominale de plusieurs centaines de tours par minute, ce qui implique l'utilisation d'un multiplicateur entre le rotor (arbre lent) et la génératrice (arbre rapide). Cette chaîne cinétique implique des forces de frottements qui empêchent la rotation du rotor par vent faible, il faut donc vaincre ces forces d'inertie au démarrage grâce à un coup de vent plus important [12].

## **IV .7-Machines asynchrones triphasées :**

### **IV .7.1-Organisation fonctionnelle :**

Une fois encore, on va distinguer le stator et le rotor. Comme dans les machines synchrones, le champ tournant est créé par le stator. En revanche, nous allons voir que la structure du rotor est très différente[11].

## IV .8-Moteur de traction 4 HGA 1433 :

Ce moteur de traction est un moteur triphasé, asynchrone 4 pôles , à cage d'écureuil, fermé et refroidi par fluide caloporteur (Le groupe de refroidissement « GRF » est dimensionné par l'intégrateur électricien).

La conception du moteur de traction est similaire aux moteurs déjà développés et en service pour les applications urbaines et suburbaines, depuis l'utilisation des onduleurs de traction triphasés.

Le refroidissement global moteur est fait par une circulation de liquide à l'intérieur d'une enveloppe concentrique, dimensionnée en fonction des performances du train, des pertes à évacuer, du volume imposé par le bogie et la caisse (pignon et étanchéité à chicanes ), des contraintes de masse, de bruit, du type de fixations, ainsi que des contraintes de coût, de disponibilité et de maintenance[13].

Les pertes moteurs sont transférées par conduction et convection jusqu'à la carcasse extérieure et échangées via la circulation de liquide.

Particularités de la conception ALSTOM Ornans :

- Les pertes stator sont transférées à la carcasse d'eau par conduction radiale au travers du circuit magnétique .
- Les pertes rotor sont transférées par convection via la circulation d'air interne au moteur produite par le brasseur et par conduction avec la surface froide.

La conception du moteur 4 HGA 1433 est similaire aux machines installées sur le tramway de Bruxelles, trolley CIVIS, CRISTALIS et Automotrices CORADIA LIREX et CORADIA X60 pour la Suède:

- Moteur totalement fermé et protégé contre l'eau, la neige et les poussières .
- Aucune absorption d'humidité et d'eau par l'isolation .
- Aucun risque d'obstruction du circuit d'air par la pollution.
- Aucun risque de d'usure de l'isolation par abrasion .
- Aucun risque de dépôt conducteur dans le bobinage et connections .
- Pas de pollution au niveau de la graisse des roulements.

**Ce type de conception permet d'obtenir des qualités de service optimales :**

- Totale protection du moteur dans toutes les conditions de service .
- Refroidissement permanent lors des phases d'arrêt .
- excellent rendement .
- Très faible bruit à toutes les vitesses[13].

### IV .8.1-Caractéristiques spécifiées du Moteur :

Les principaux paramètres de dimensionnement du moteur sont les suivants :

Tension ligne nominale pour performance :

- Tension ligne, mode traction.....750 V DC
- Tension ligne, mode freinage.....900 V DC

#### **IV .8.2-Tension onduleur:**

Tension phase et entre phases, mode traction

- pleine onde, fondamental RMS .....500 V / 290 V
- mode freinage pleine onde, fondamental RMS .....625 V / 360 V

#### **IV .8.3-Caractéristiques roue et transmission :**

- Diamètre roue neuve.....590 mm
- Diamètre roue mi-usée.....560 mm
- Diamètre roue usée.....530 mm
- Rapport de transmission ..... 6,88/1
- Rendement de transmission .....96 %
- Vitesse max du véhicule.....70 km/h
- Vitesse moteur (pour 70 km/h et roues mi-usées).....4563 tr/min
- Vitesse moteur (pour 70 km/h et roues usées).....4820 tr/min
- Survitesse pour essais type.....5785 tr/min

#### **IV .8.4-Caractéristiques du véhicule de référence :**

- Véhicule bidirectionnel.....TGA 302
- Masse à vide du véhicule.....40 t
- Masse du véhicule (CCM) .....62 t
- Inertie tournante.....2,8 t
- Résistance à l'avancement....."DAVIES"
- Taux de motorisation.....4/6 [13]





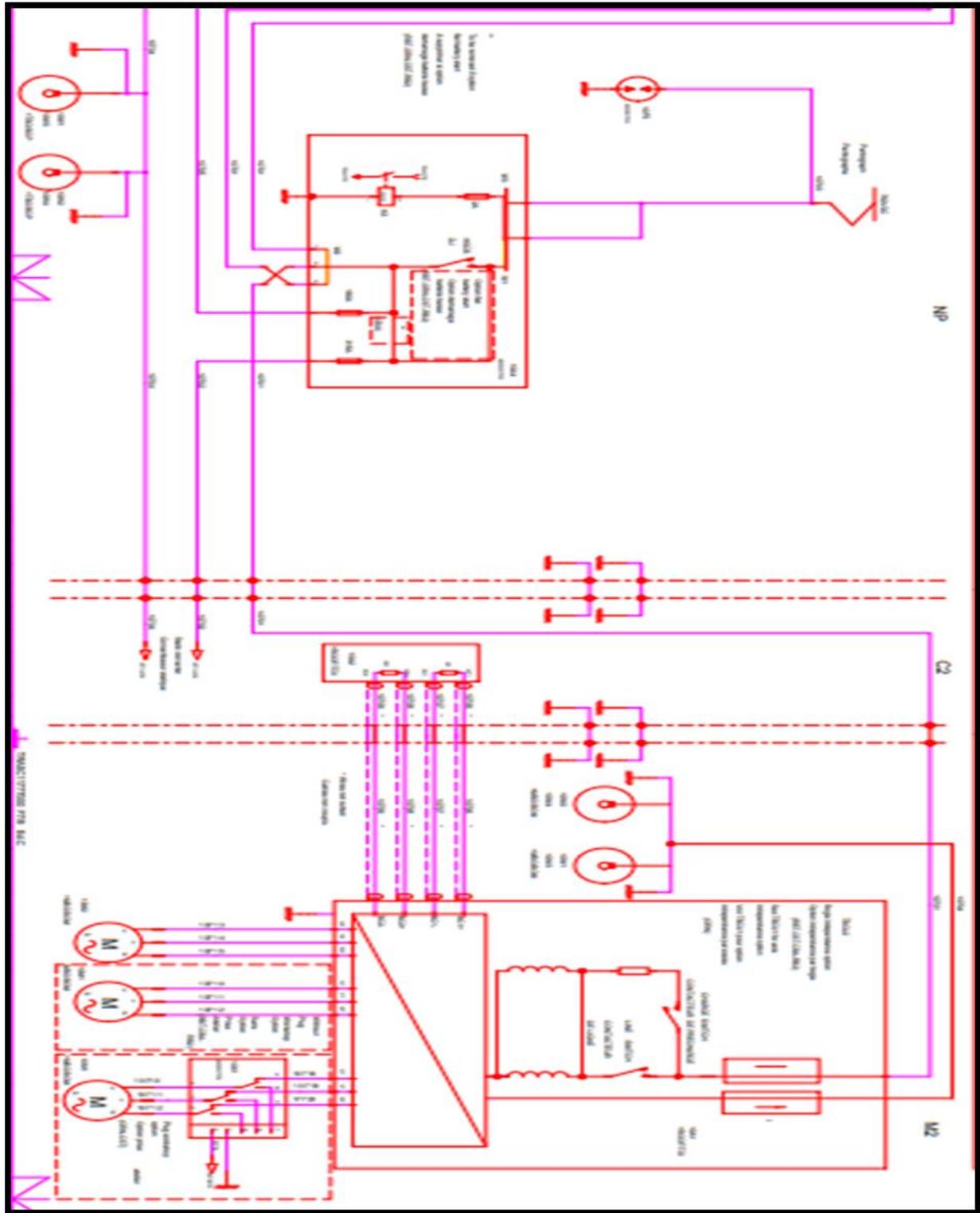


Figure IV-7-c :Partie 3 de schéma électrique de moteur .



### IV .8.6-Régime continu garanti (CEI 60349-2):

Le régime continu garanti en onde sinusoïdale pour le moteur de traction 4 HGA 1433 est le suivant :

- Tension..... 290 V / 500 V
- Fréquence..... 88 Hz
- Puissance à l'arbre ..... 120 kW
- Courant phase \* ..... 168 A
- Vitesse moteur \*..... 2600 RPM
- Rendement ..... 94%
- Débit d'eau mini par moteur ..... 840 l/heure ( 14l/min)
- Température max du fluide en entrée..... 80°C

## IV .9-Technologie du moteur 4 HGA 1433 :

### IV .9.1-Généralités :

Le moteur est de type asynchrone à cage d'écureuil, 4 pôles, fermé refroidis par liquide, moteur à deux paliers de roulements dont un est refroidis par l'huile de réducteur. Le moteur est flasqué au réducteur et l'entraîne par un pignon solidaire de l'arbre moteur[13].

### IV .9.2-Descriptif de la technologie du moteur :

#### IV .9.2.1- Carcasse externe et circuit d'eau :

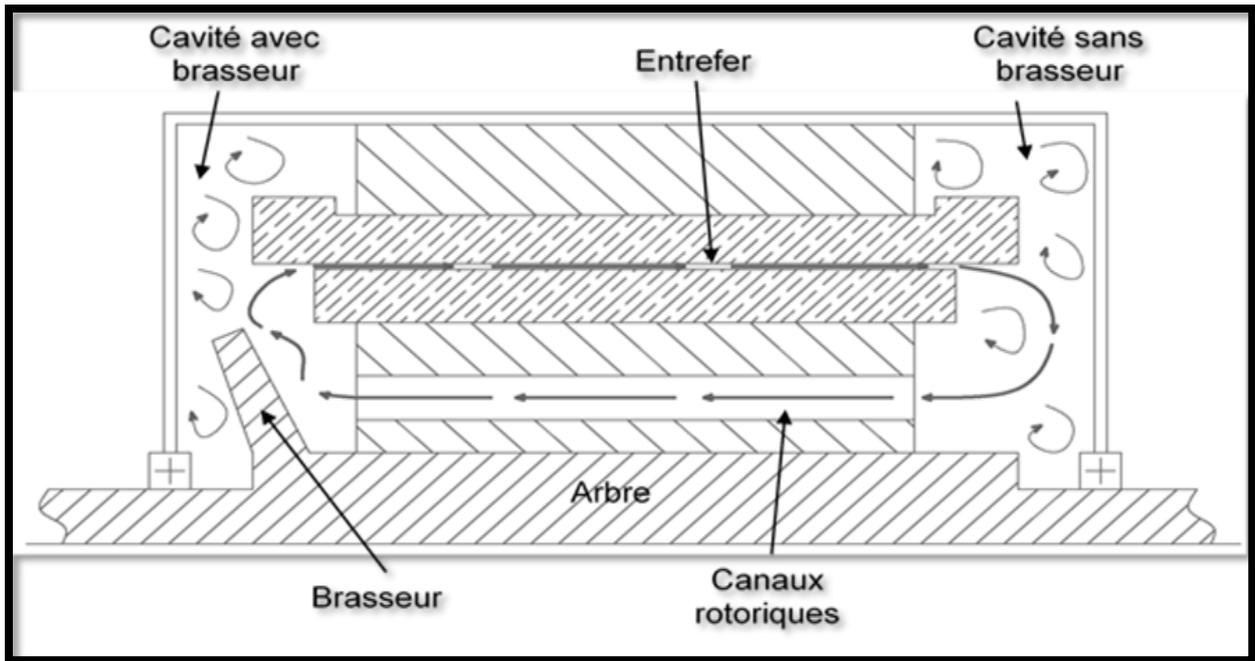
La carcasse externe cylindrique est en acier moulé , usinée et protégée contre la corrosion.

Le circuit d'eau est un circuit série, usiné longitudinalement dans la carcasse. Ce circuit d'eau est ensuite fermé par une enveloppe soudée sans joints, sur la périphérie de la carcasse.

L'étanchéité de chaque circuit est contrôlée sous une pression d'eau chaude de 5 bars par le fournisseur des carcasses . La pression normale du circuit est de 1 à 2 bars et la perte de charge entre entrée et sortie d'eau est de l'ordre de 0.5 bars.. Les raccords des entrées et sorties d'eau sur la carcasse sont adaptées au débit demandé pour un refroidissement nominal de la machine (14 l/min minimum par moteur ) et sont disposées sur la carcasse. pour un montage optimal des connections hydrauliques entre moteur et bogie[13].

#### IV .9.2.2-Circulation de l'air intérieur :

L'air intérieur n'est jamais renouvelé, il est juste mis en mouvement dans le moteur pour homogénéiser la température et permettre l'évacuation du flux thermique du rotor. Cet air circule de la cavité avec brasseur, vers la cavité sans brasseur en traversant l'entrefer puis revient en empruntant les canaux rotoriques percés dans le rotor. Pour simplifier l'étude, nous ferons l'hypothèse que l'air interne est isotherme. La figure ci-dessous représente le trajet global de l'air dans le moteur en gras et les trajets 'secondaires' au niveau de chaque espace frontal en trait fin[13].



*Figure IV-9 : Circulation de l'air intérieur*

#### **IV .9.3-Enveloppe du moteur :**

La structure du moteur consiste en une enveloppe massive rigide garantissant la rigidité mécanique de la machine dans laquelle le circuit d'eau est usiné. Le circuit magnétique stator est

monté bobiné et imprégné (VPI) par frettage à chaud dans la carcasse moteur. Des canaux axiaux sont organisés entre la périphérie du circuit magnétique stator et la carcasse, permettant

la circulation d'air interne au moteur et facilitant les échanges thermique[13].

#### **IV .9.4- Bobinage stator :**

Le stator a une structure semblable à celle des machines synchrones avec un bobinage triphasé distribué dans des encoches creusées dans un circuit magnétique doux destiné à canaliser le flux magnétique. C'est lui qui va créer le champ tournant[14].

Le circuit magnétique est constitué de tôles magnétiques empilées et frêtées à l'intérieur de la structure moteur.

Le bobinage est formé de bobines de fil de cuivre méplat isolé par un film polyamide « Kapton ».

L'isolation par rapport à la masse des bobines est assurée par rubans de « verre Samica » et de verre. Les bobines sont disposées dans les encoches préalablement protégées par une capote NOMEX KAPTON[13].

L'ensemble bobinage est traité par imprégnation sous vide et pression avec une résine silicone de classe 200 (échauffement maximum toléré de 210 K pour une ambiante max de 40°C et une température d'eau maximale de 80°C ).

Le stator crée un champ tournant au synchronisme  $\Omega_s = \omega/p$  (en rad/s), avec  $\omega$  est la pulsation propre et  $p$  le nombre de paires de pôles de la machine, qui induit au rotor un système triphasé de courants, créant à leur tour un champ tournant à la vitesse de synchronisme  $\Omega_s$  [14].

#### **IV .9.5- Rotor :**

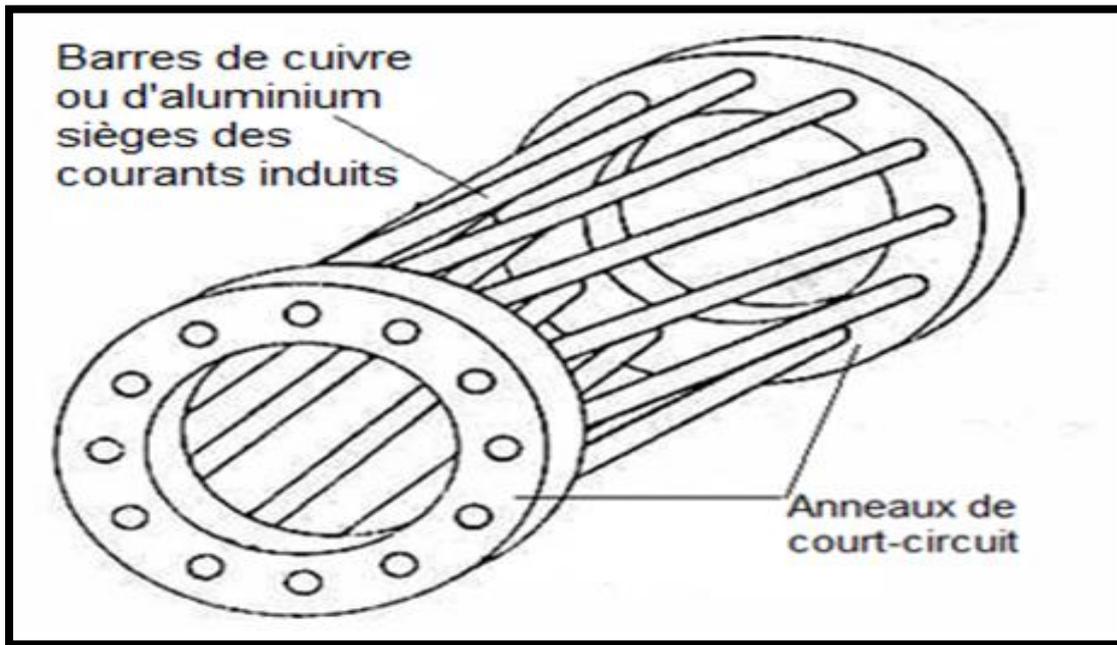
Le rotor comprend un circuit magnétique monté à chaud sur l'arbre, et une cage d'écurieul formée de barres et de cercles brasés à haute température. Les barres, en cuivre au chrome zirconium, sont formées d'un conducteur tréfilé directement à la forme trapézoïdale finale. Les cercles en cuivre au chrome zirconium sont obtenus par forgeage, et sont traités thermiquement pour assurer la résilience nécessaire à leur bonne tenue mécanique.

Le champ tournant résultant (du stator et du rotor) et les courants triphasés génèrent un couple électromagnétique qui entraîne le rotor à une vitesse  $\Omega < \Omega_s$  (loi de Lenz) [14].

##### **IV .9.5.1-Rotor à cage d'écurieul (rotor en court-circuit) :**

L'enroulement est remplacé par des barres en cuivre ou en aluminium logées dans des encoches et réunies à leurs extrémités par 2 couronnes en cuivre ou en Aluminium. Généralement, ces barres sont inclinées afin de réduire les harmoniques de dentures.

Le courant qui passe par une barre revient par la barre situé à une distance polaire et il n'est pas nécessaire d'isoler les barres de la masse du rotor, car les courants induits s'établissent surtout dans les barres (résistivités différentes : beaucoup plus faible pour le cuivre). Par comparaison avec les moteurs à bagues, les moteurs à cage ont l'avantage d'être robuste et de coût beaucoup plus faible ; mais ils présentent l'inconvénient qui est l'impossibilité de faire varier la résistance du rotor, ce qui rend défavorable les conditions de démarrages avec la tension du réseau [15].



**Figure IV-10 :** Schéma Rotor à cage d'écureuil

#### **IV .9.6-Arbre moteur :**

L'arbre moteur est réalisé en acier allié à haute limite élastique.

#### **IV .9.7-Roulements :**

Le roulement, côté opposé à l'accouplement, assure le guidage axial et radial du rotor. Il est composé d'une butée axiale et d'un roulement à rouleaux radial. Ce palier est lubrifié par une graisse à haute caractéristique thermique. Un graisseur permet des apports périodiques de lubrifiant sans dépose.

Le roulement, côté réducteur, assure la tenue à la charge radiale de la transmission. Il est lubrifié à l'huile du réducteur[13].

#### **Remarque**

La vitesse rotorique doit être différente de la vitesse du champ tournant dans un moteur asynchrone.

#### **IV .9.8-Glisement :**

Le glissement mesure l'écart relatif entre la vitesse de rotation de la machine et la vitesse de synchronisme, il est calculé par :

$$g = (\Omega_s - \Omega) / (\Omega_s) = (n_s - n) / (n_s) \quad \dots[14]$$

**g** : Le glissement du moteur asynchrone en pourcentage.

**$\Omega_s$**  : La vitesse de rotation du champ tournant en  $\text{rad.s}^{-1}$ .

**$\Omega$**  : La vitesse mécanique du rotor  $\text{rad.s}^{-1}$ .

**$n_s$**  : La vitesse du champ statorique en trs.  $s^{-1}$ .

**n** : La vitesse mécanique du rotor en trs.  $s^{-1}$

## IV .10-Avantages et inconvénients du moteur asynchrone :

### IV .10.1-Les avantages:

- Leur construction est très simple, donc faible coût (5 à 10 fois moins cher qu'un moteur à courant continu de même puissance).
- Aucun contact électrique mobile, donc très peu d'usure et d'entretien.
- Quand il est alimenté directement par le réseau, sa vitesse est assez stable : variation de quelques pour cents entre le fonctionnement à vide et la pleine charge.

### IV .10.2-Les inconvénient:

- Jusqu'aux années 80, la variation électronique de fréquence n'existait pas. Les moteurs asynchrones étaient alimentés par le réseau, à fréquence constante.
- L'inconvénient majeur des moteurs asynchrones était alors contenu dans leur principal avantage : leur vitesse en tours par seconde ne pouvait être que "un peu inférieure" à la fréquence de l'alimentation alternative ou à l'un de ses sous-multiples entiers.
- Un autre inconvénient traditionnel des moteurs asynchrones est la consommation importante de puissance réactive, même aux faibles charges.

## IV .11- Refroidissement moteur :

Le refroidissement moteur, donc l'évacuation des pertes, est effectué entre autres par échanges thermiques entre le fluide circulant dans les canaux internes des moteurs et le circuit de refroidissement disposé en toiture du véhicule, appelé Groupe de Refroidissement (GRF).

Ce système (GRF ) est défini par l'ensemblier intégrateur en fonction des performances des machines et des pertes à évacuer. Il comprend un ensemble constitué d'une pompe de circulation, d'un échangeur eau/air, d'un moto-ventilateur, d'un vase d'expansion et de tuyauteries de circulation et de systèmes de contrôle et sécurisation. Le tout monté en toiture de véhicule.

Ces GRF sont définis pour garantir et maintenir la circulation nominale de fluide dans les moteurs de traction (deux moteurs en parallèle par GRF ), contrôler les débits et les températures du liquide à leurs valeurs spécifiées (14l/min par moteur et 80°C de température

max d'eau en entrée à 40°C d'ambiance), et ceci en permanence (arrêts en station, retournements, période de dé-préparation au dépôt, ...)

Le contrôle permanent de la circulation et des températures de fluide permettent en cas d'anomalie du système, d'inhiber l'onduleur, et ainsi de garantir la durée de vie des moteurs ( bobinages, roulements, circuit d'eau ...).

Lors des passages en modes dégradés, la température de liquide sera automatiquement maintenue < 80°C, et les performances ainsi réduites. A la fin de chacune des journées d'exploitation ( retour au dépôt ), la circulation d'eau devra être maintenue pendant quelques minutes pour permettre aux calories de continuer à s'évacuer et ainsi ne pas mettre en péril la durée de vie des roulements[13].

## IV .12-Rhéostat de freinage :

Le freinage rhéostatique est un type de freinage qui permet de ralentir ou d'arrêter des moteurs électriques à l'aide de rhéostats, c'est-à-dire de résistances.

La varistance de freinage sert à dissiper l'énergie fournie par le moteur, en Pendant la phase de freinage, le moteur agit comme un générateur et injectent l'énergie sur la caténaire, mais lorsqu'elle n'accepte plus de flux d'énergie est envoyé au rhéostat.

ur les engins de traction électrique, l'effort de décélération est obtenu simultanément par le freinage mécanique (sabots et disques) et par freinage électrique, le plus souvent rhéostatique qui met en fonction des résistances à hautes performances. Les rhéostats Resistel équipent aussi bien les TGV aux décélérations puissantes que les trains de banlieue (TER, REGIOLIS) ou tramway type CITADIS. Nos rhéostats sont conçus pour freiner de façon puissante et à intervalles très rapprochés[16].



Figure IV-11: Rhéostat de freinage

## IV .13-Les rails :

Un rail est une barre d'acier profilée. Deux files parallèles de rails mis bout à bout forment une voie ferrée. Ils reposent alors généralement sur des traverses pour conserver un écartement constant.

Les rails servent à la fois de guide et de support de roulement pour les véhicules ferroviaires comme le train et le tramway. Étant conducteurs électriques, ils peuvent aussi être utilisés pour la transmission de signaux (circuits de voie) et pour le retour des courants de traction et des auxiliaires du train (ligne train pour le chauffage et la climatisation sur les rames tractées).

Des rails à gorge (type « Broca ») sont utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

Les rails de tramway sont souvent posés à plat, et leurs roues sont parfois cylindriques. Les virages sont si serrés sur les réseaux de tramways (jusqu'à des rayons de 20 m) que l'on ne cherche même pas toujours à utiliser l'effet bicône. On limite le crissement et l'usure soit par arrosage, soit par le graissage des boudins et en limitant la charge des essieux. On peut également traiter les rails par apport de métal dur (acier inoxydable à environ 450 HB) tant sur la table de roulement que sur le congé, afin d'apporter respectivement un effet anti-crissement et anti-usure[17].

### IV .13.1-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[1].

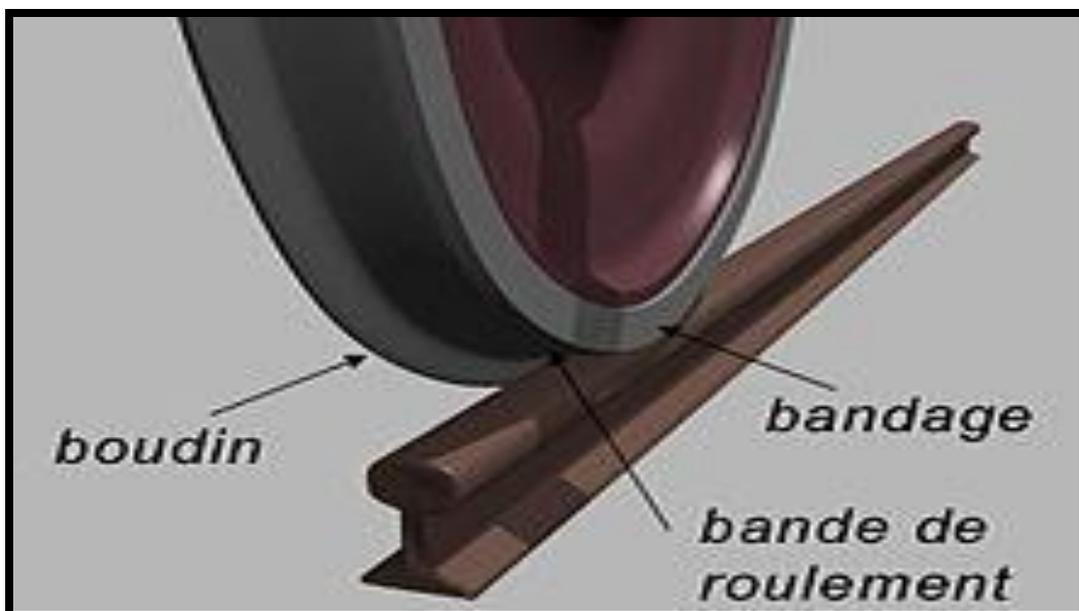


Figure IV-12: Les rails

# **CHAPITRE V :**

## **Signalisation**

### **Fenorainon**

## **CHAPITRE V : Signalisation Fenorainon**

### **V .1-Généralités :**

Le rôle principal du système d'enclenchement du tramway est de permettre la gestion en sécurité de la commande des appareils de voie et des signaux pour permettre les manœuvres des tramways sur les zones d'aiguilles, situées en ligne ou au dépôt.

### **V .2-Système télécommande d'itinéraires :**

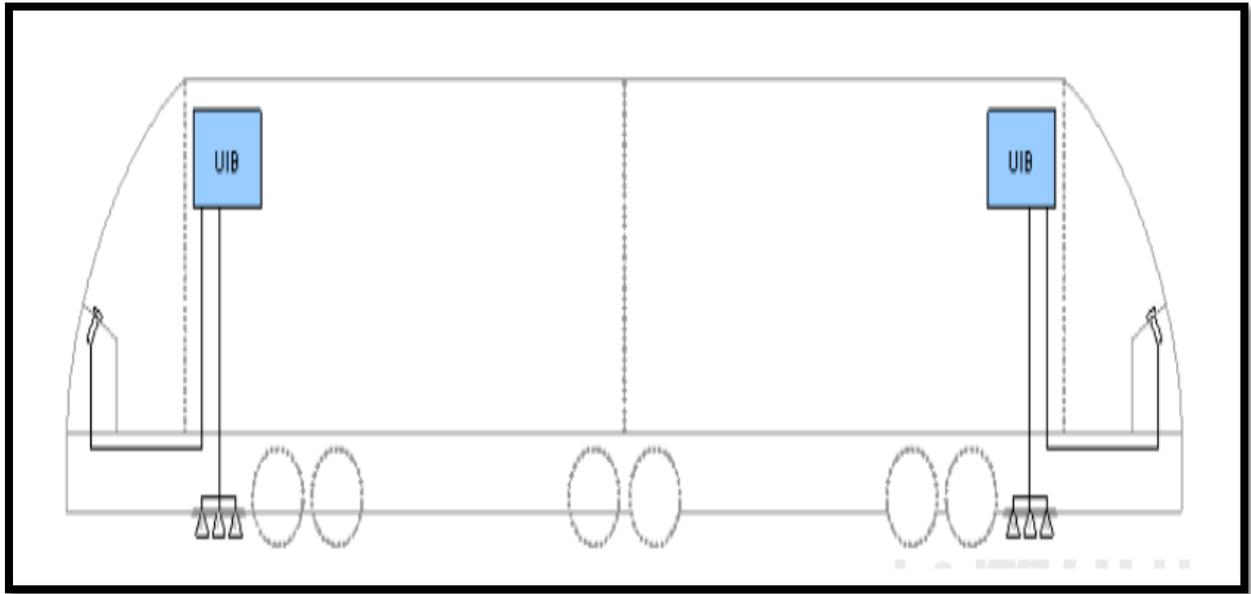
Il y à deux Système :

- Un sous-système bord, embarqué dans le tramway.
- Un sous-système sol, installé sur la voie et en local technique[17].

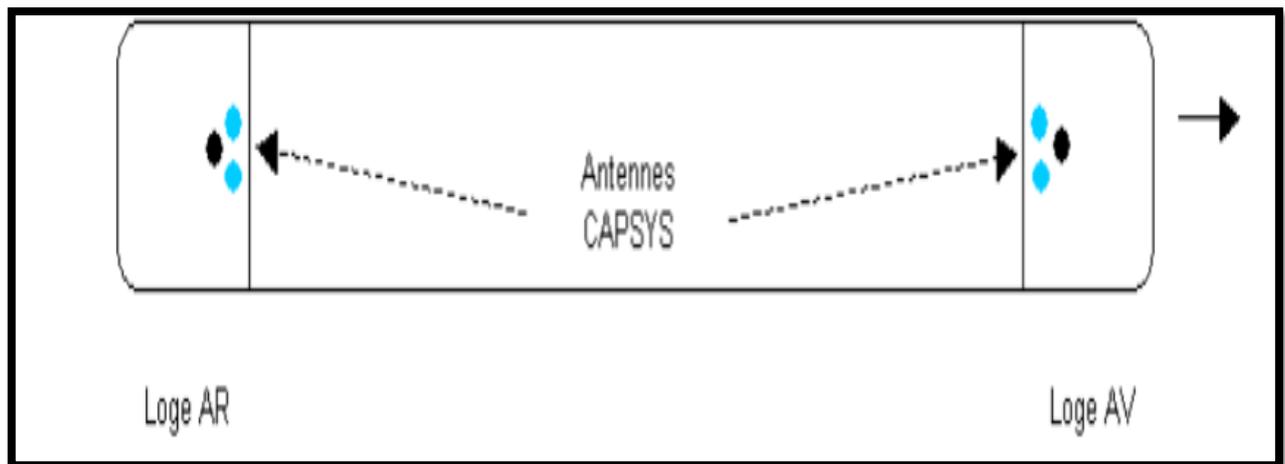
#### **V .2.1-sous-système bord :**

Les 2 cabines du tramway sont équipées de deux systèmes bord comprenant les élémentssuivants :

- Un sous-ensemble d'émission/réception Capsys.
- Un support de fixation du sous-ensemble.
- Une unité d'interface bord (UIB).
- Des câbles de liaison.
- Pupitre de commande Conducteu[17].



**Figure V-1:** Sous-Système Bord



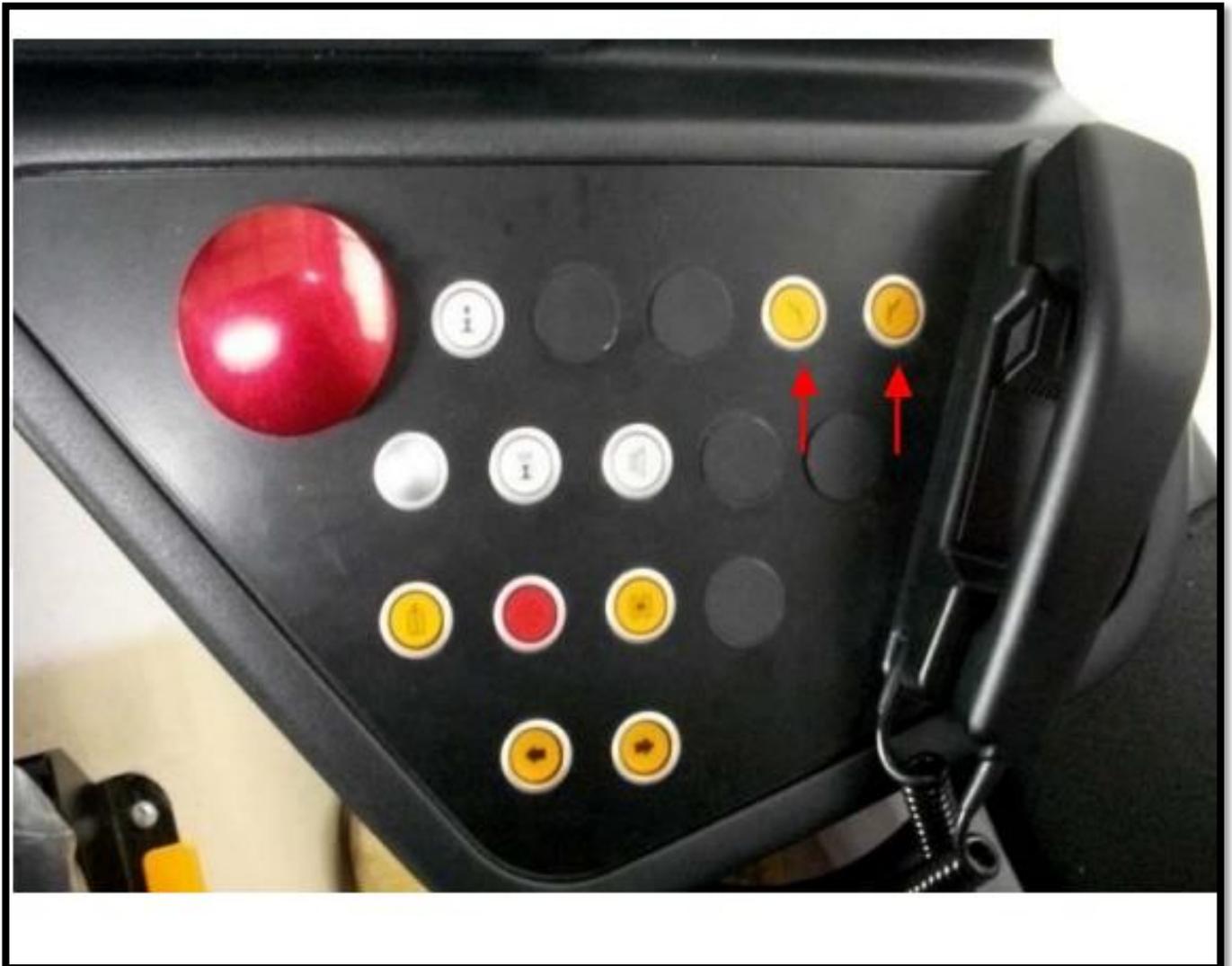
**Figure V-2:** Sous-système Bord Vue de Dessus

## V .2.2-Pupitre de Commande Conducteur :

### V .3.1 - sous-système sol :

Le matériel au sol de télécommande d'aiguilles est constitué :

- Une boucle antenne inductive et sa queue de boucle.
- Un Module d'Adaptation Sol Capsys.
- Un câble de liaison.
- Une Unité d'Interface Sol.
- Un câble de liaiso[17].



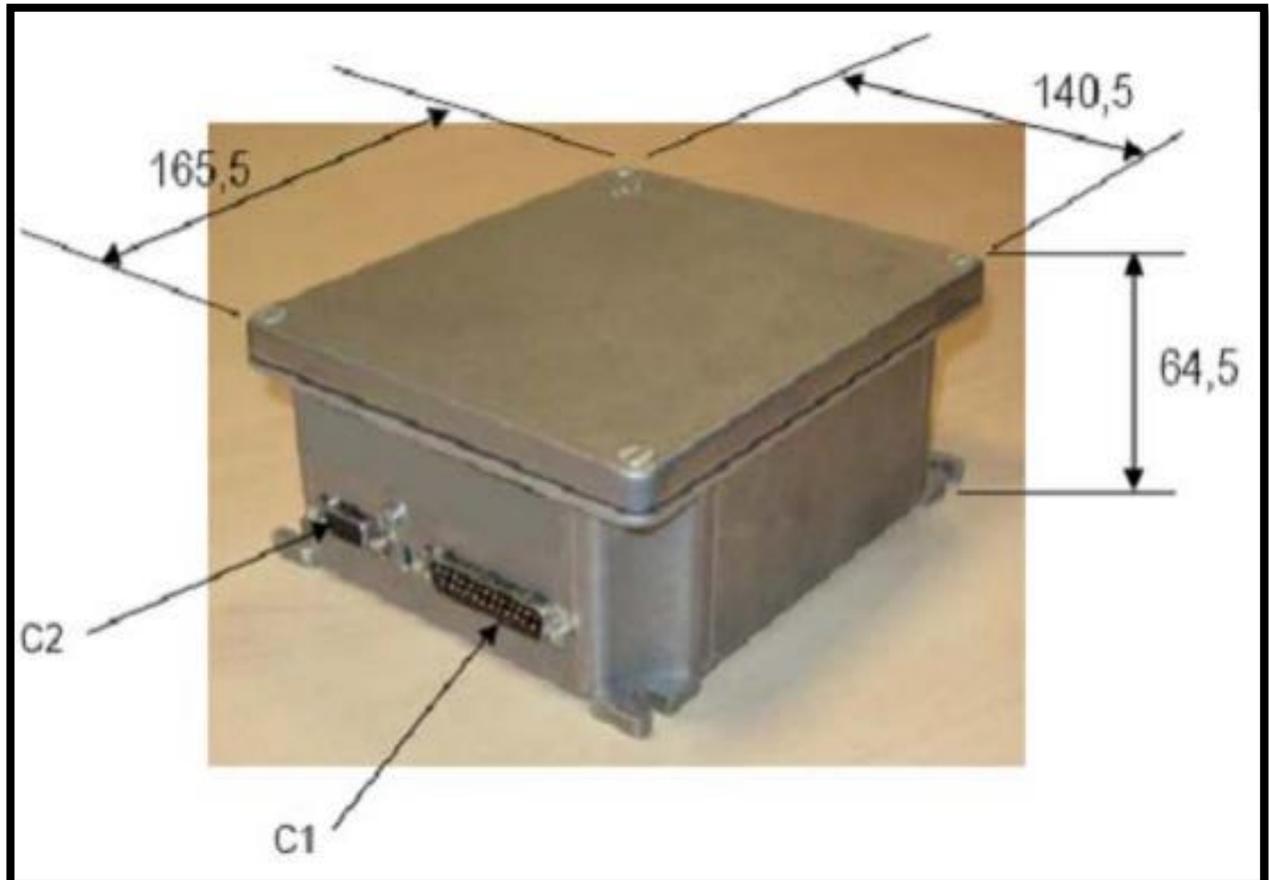
*Figure V-3 : Pupitre de Commande Conducteur*

### V.3.2 -Unité d'Interface Sol (UIS) :

Dimensions hors tout en mm (L x l x h) : 165,5 x 140,5 x 64,5 mm.

L'ensemble de la connectique et des visualisations (C1 et C2) se trouvent en face avant du Boîtier.

La fixation du boîtier est faite par 4 vis M6 sur entraxe rectangulaire 144x125 mm[17].



*Figure V-4: Unité d'Interface Sol*

## V.4-Description du sous-système de signalisation :

### V.4.1-Architecture :

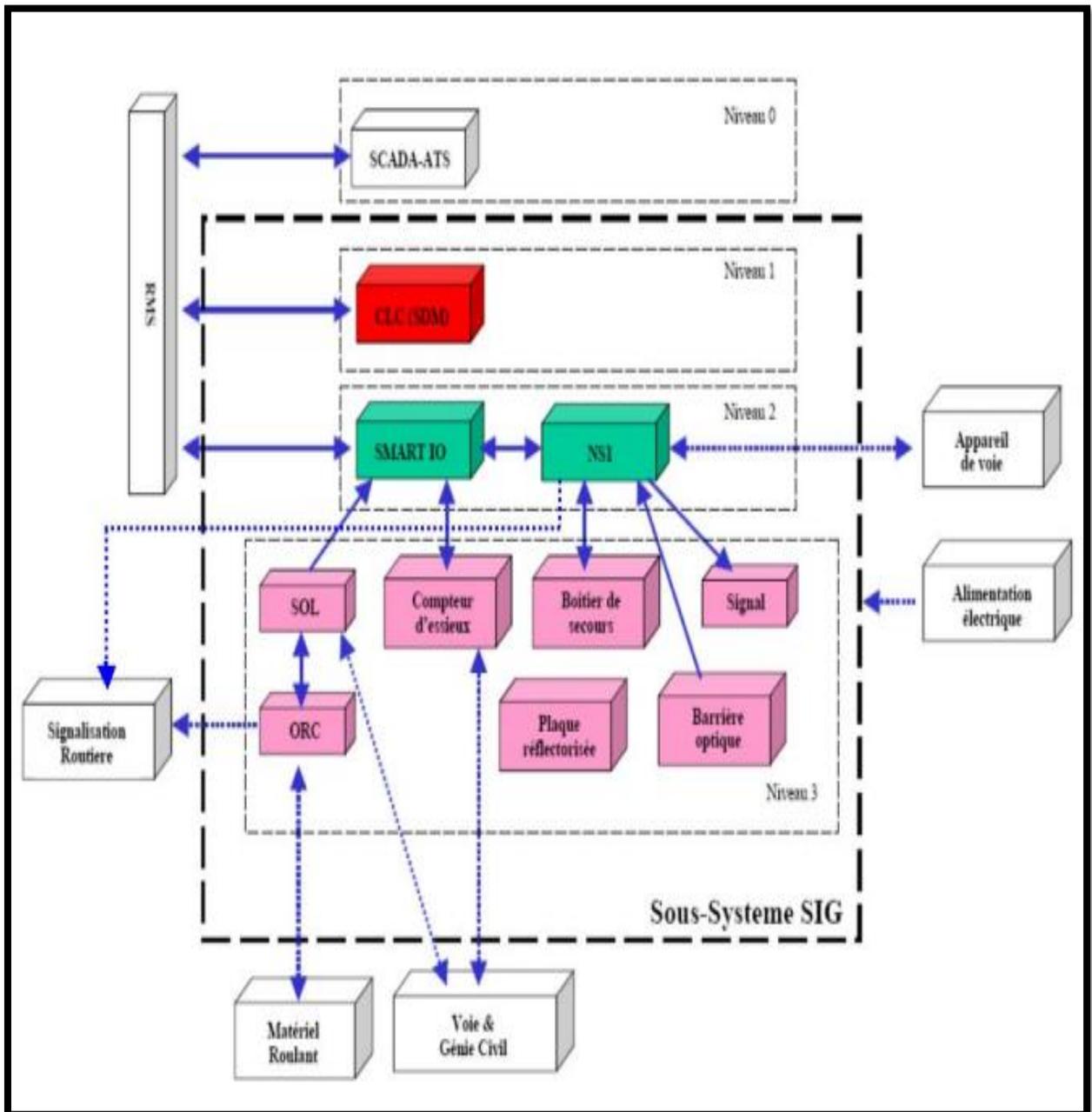
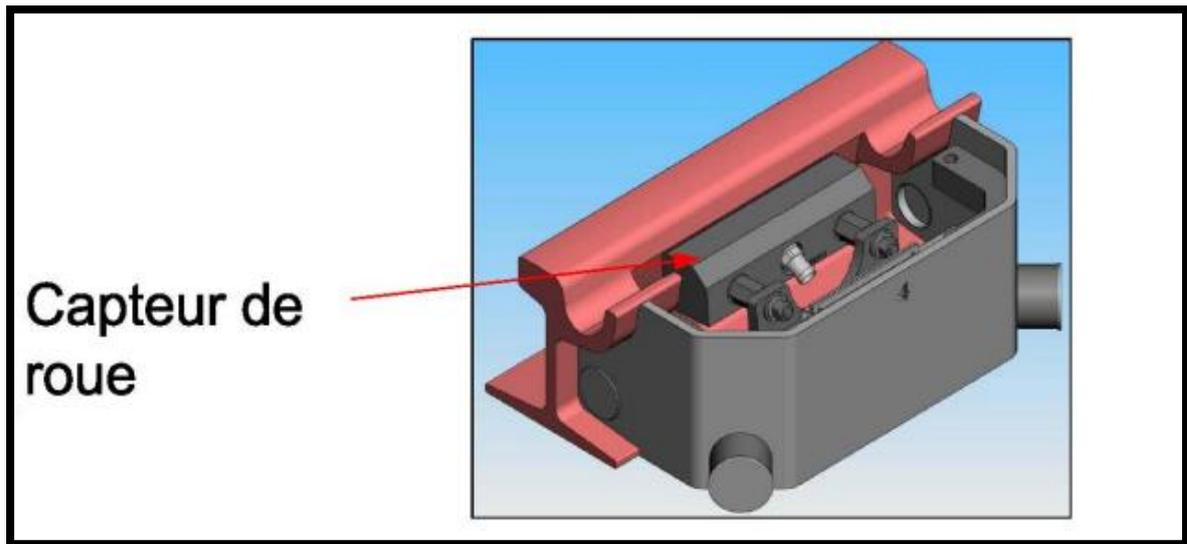
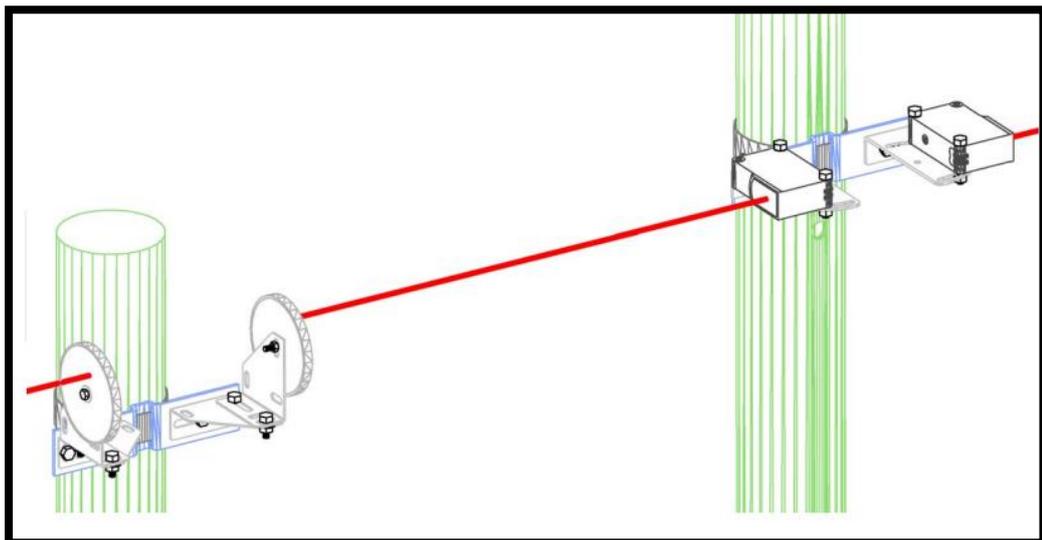
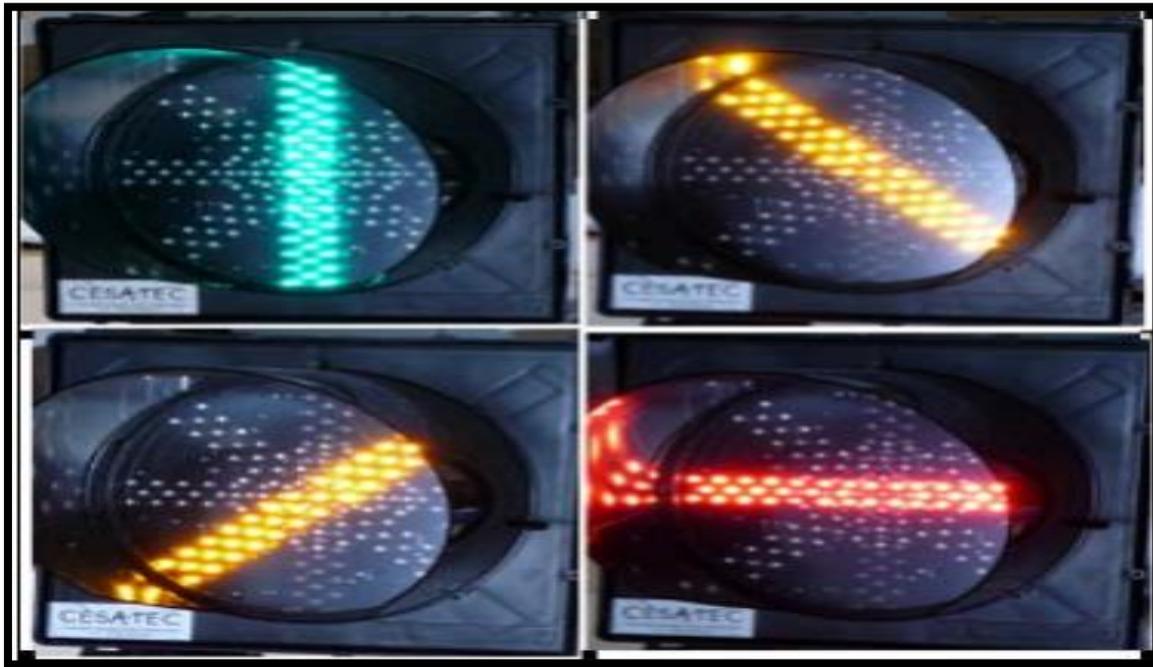


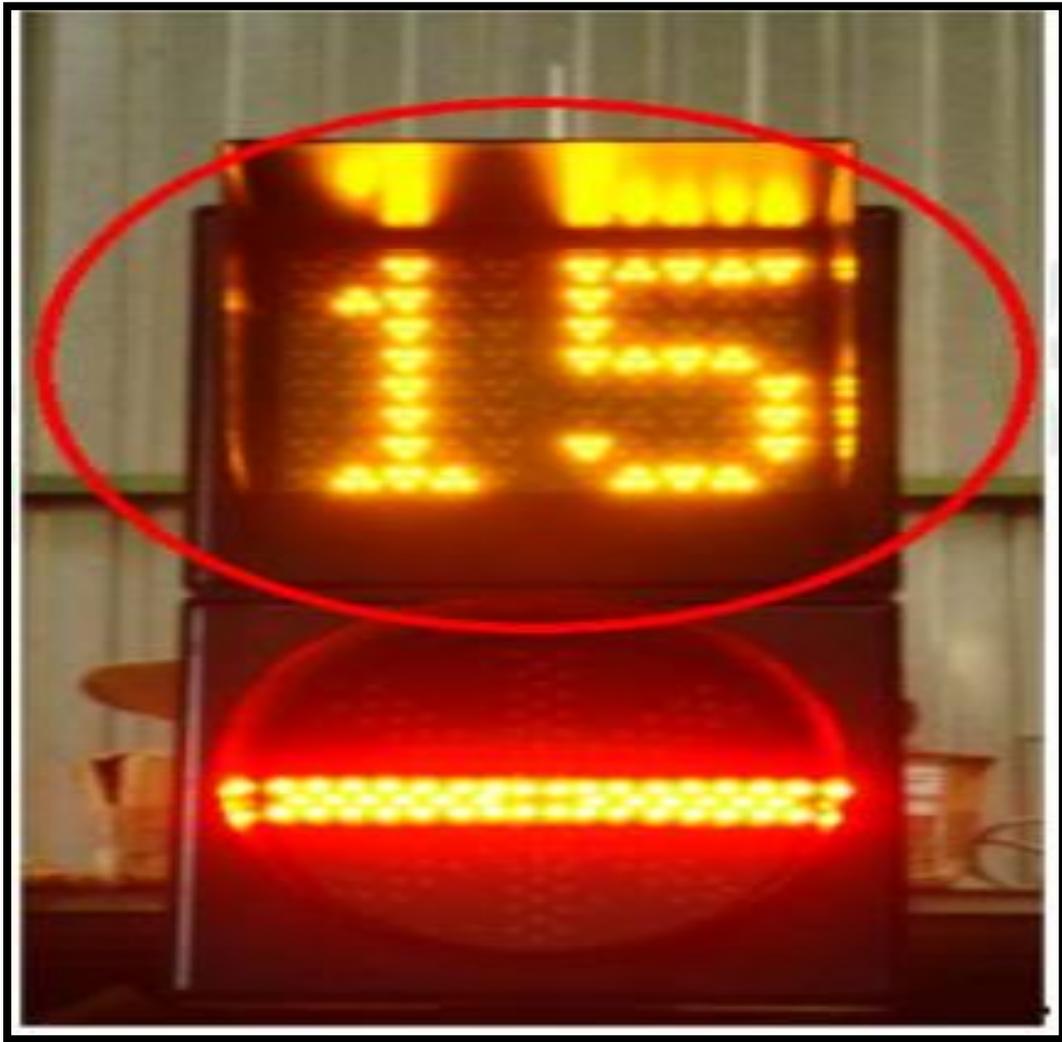
Figure V-5: Architecture de Signalisation

V.4.2-Introduction aux éléments de l'architecture :

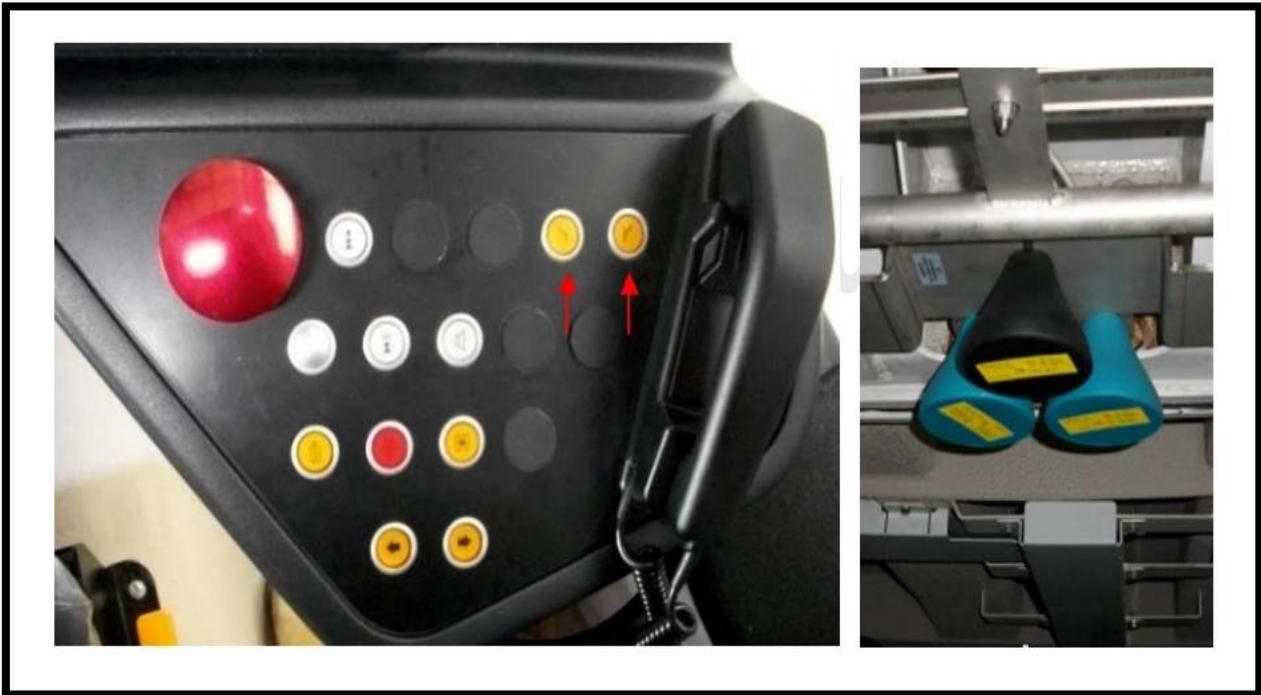
**V .4.2.1-Compteurs d'essieux :****Figure V-6: Compteurs d'essieux****V .4.2.2-Barrière optique :***Figure V-7: Barrière optique.*

**V .4.2.3-Signaux d'itinéraire :**

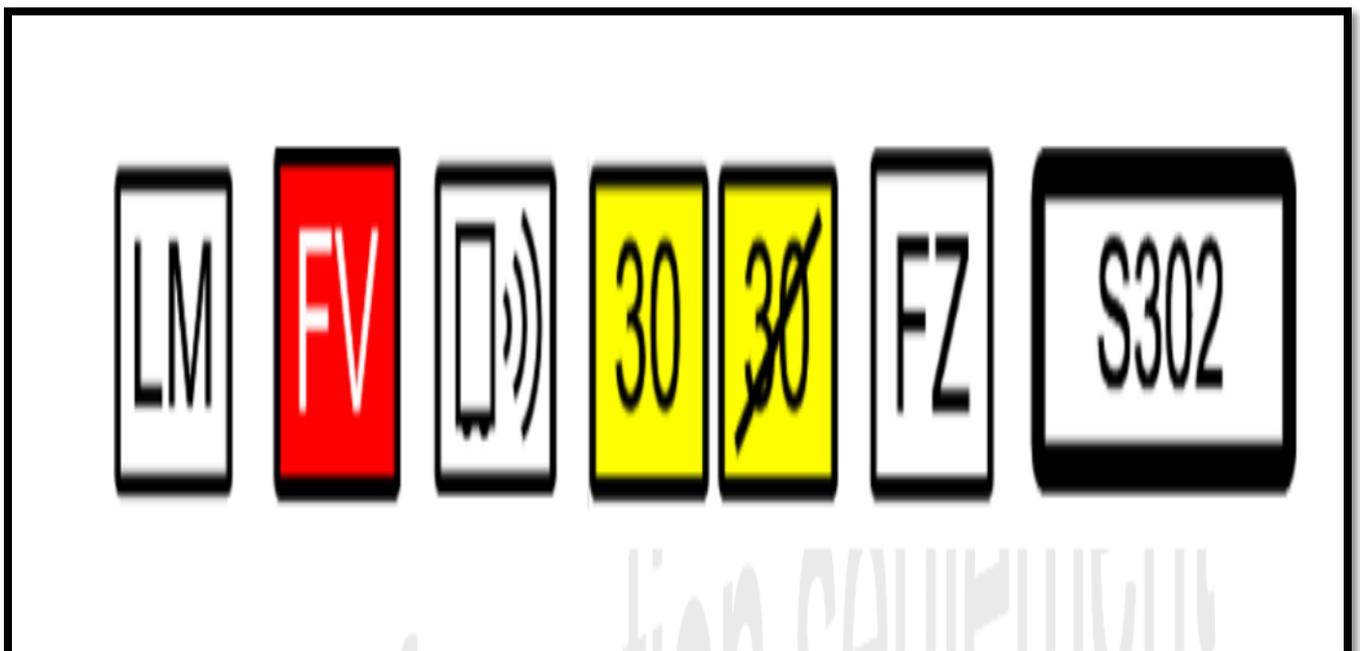
**Figure V-8:** Signaux d'itinéraire.

**V .4.2.4-Signaux indicateur de direction:****Figure V-9 : Signaux indicateur de direction**

**V .4.2.5-Boîtier secours de commande/destruction d'itinéraires:****Figure V-10 : Boîtier secours de commande**

**V .4.2.6-Système de télécommande d'itinéraire embarquée :**

**Figure V-11 :** Système de télécommande d'itinéraire embarquée

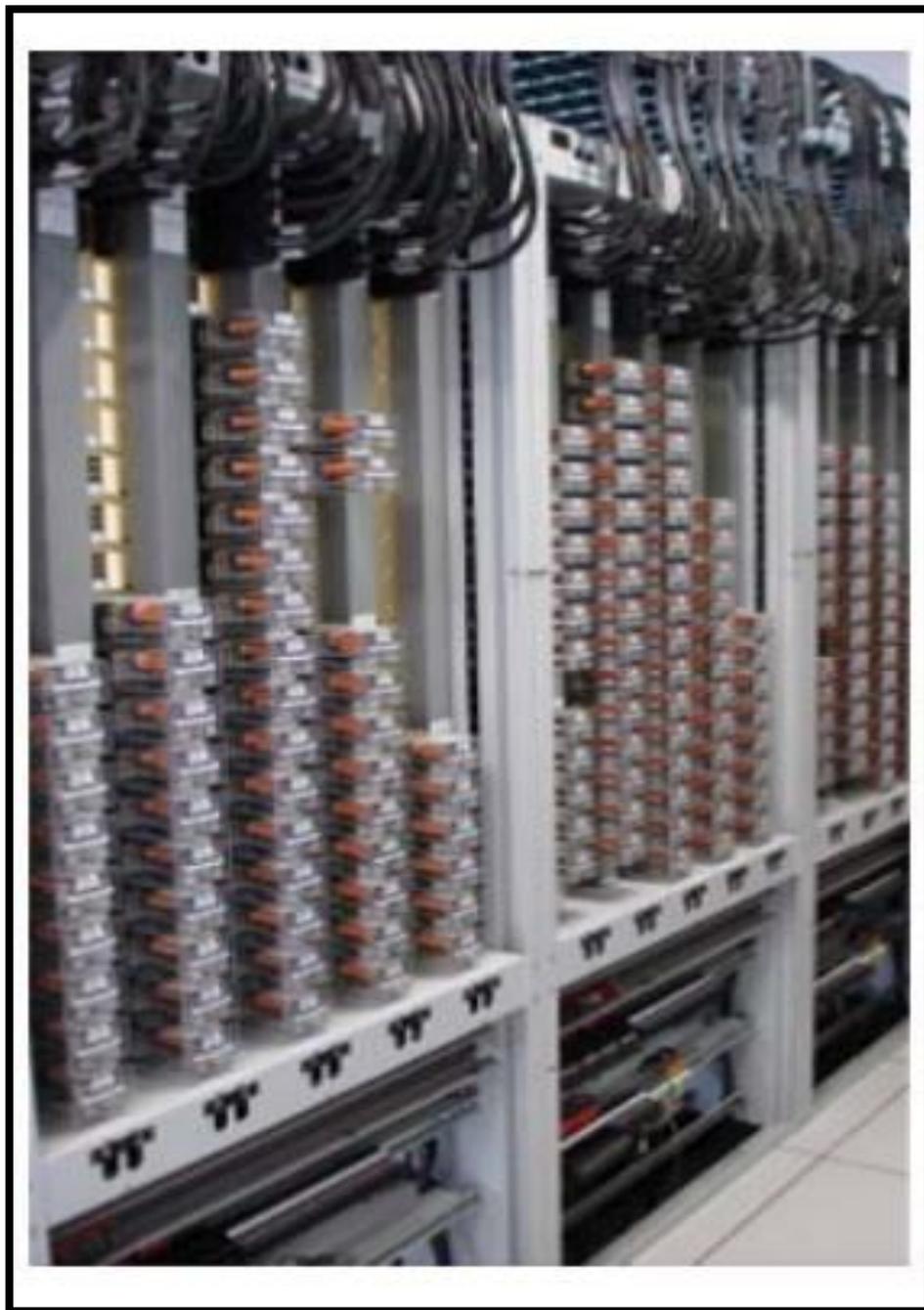
**V .4.2.7-Plaques statiques de manœuvre et de vitesse :**

**Figure V-12 :** Plaques statiques de manœuvre et de vitesse

- Limite des Manœuvres
- Fin de Voie
- Commande d'itinéraires
- Limite de vitesse
- Fin de Zone signalisée
- Noms des signaux

#### **V .4.2.8: Relais de sécurité type NS1:**

- Relais NS1 Poste: pour les informations en salle technique
- Relais NS1 Ligne: pour les informations en ligne
- Relais NS1 Rupteur: pour les commandes des aiguilles[17].



**Figure V-13 : Relais de sécurité type NS1**

#### V .4.2.9-Appareils de voie:

- **Appareil de voie motorisé** : Commande électrique.
- **Appareil de voie talonnable** : Abordage par le talon sans détérioratio.
- **Appareil de voie talonnable renversable** : Lorsque abordé par le talon, les aiguilles se disposent au passage du premier essieu dans la position de l'itinéraire et restent dans cette position.
- **Appareil de voie talonnable non renversable** : Lorsque abordé par le talon, les aiguilles reviennent dans la position initiale après le passage de chaque essieu du tramway.

#### V .4.2.10-Interface Homme/Machine (Sous-système ATS):

L'Interface Homme-machine se fait à partir du sous-système ATS (SCADA).

- **L'acquisition logique des états de contrôles ou de commandes issus de l'enclenchement:**

État des commandes des signaux, zones de comptage, barrières optiques, mode manuel des aiguilles, position des aiguilles, commandes des aiguilles, destructions d'itinéraire et des itinéraires.

- **L'envoi de télécommandes à destination de l'enclenchement:** Commande de formation et de destruction d'itinéraire aux dépôts, Commandes de réarmement de zone de comptage (Préparation de réarmement et confirmation de réarmement d'une zone de comptage)[17].



Figure V-14: Sous-Système ATS

## V .5-Fonctionnalités du sous-système de signalisation :

### V .5.1-Gestion des zones de manœuvre :

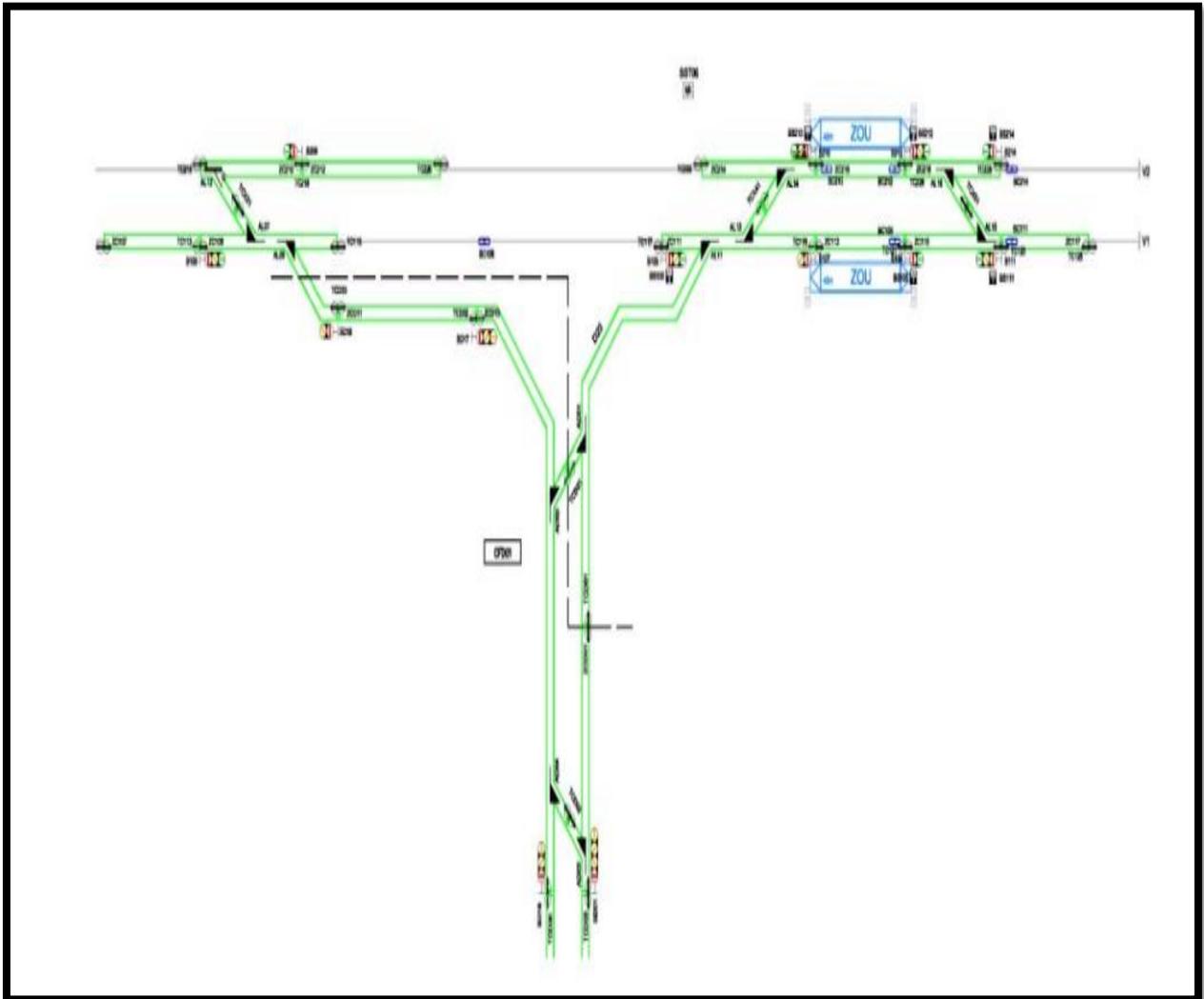


Figure V-15 : Gestion des zones de manœuvre

### V .5.2-La détection des tramways:

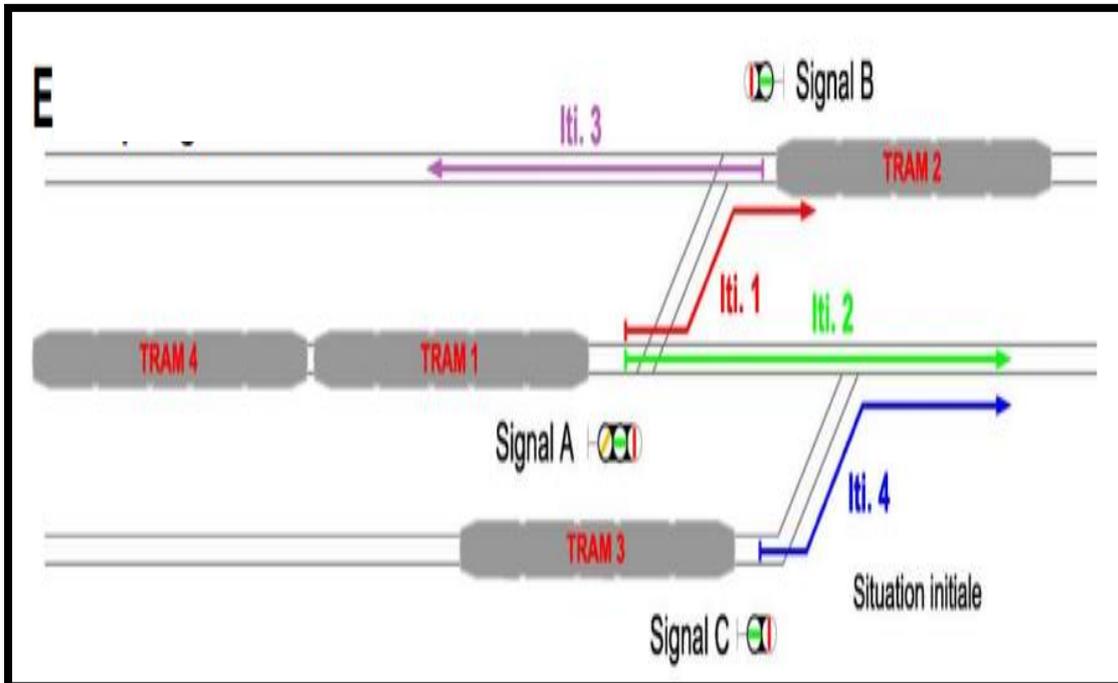
détecte la présence d'un tramway par comptage/décomptage d'essieux entrant et sortant de la zone de comptage Chaque zone est délimitée par 2 têtes de comptage (et jusqu'à six) L'état des zones est envoyé au SMIO à travers d'une armoire électronique de comptage[17].

### V .5.3-Gestion des itinéraires :

Conditions:

- Les zones de comptage parcourues par l'itinéraire sont libres.
- L'itinéraire est enregistré ou en tracé automatique.
- L'itinéraire n'est pas en cours de destruction.

- Aucun itinéraire incompatible n'est formé.
- Commande automatique des appareils de voie.
- Commande manuelle des appareils de voie.
- Détection des pannes sur les commandes des aiguilles[17].



**Figure V-16:** Gestion des itinéraires

#### **V .5.4-La protection des mouvements du tramway:**

Le système de signalisation assure la protection des mouvements du tramway en :

- Traçant l'itinéraire demandé par l'opérateur ou le conducteur et ouvrant le signal correspondant.
- Positionnant les aiguilles dans la position requise.
- Assurant la sécurité du mouvement en vérifiant les conditions d'enclenchement :
  - Zone de comptage libre.
  - Aiguilles en détection.
  - S'il n'existe pas d'itinéraires incompatibles formés[17].

#### **V .5.5- Information pour le conducteur et l'opérateur :**

- **Le système de signalisation informe les conducteurs au travers des :**
  - Panneaux de signalisation .
  - Signal d'itinéraire .
  - Signal de destination .
- **Le système de signalisation informe les opérateurs via :**

Les postes opérateurs PCC, sur l'IHM ATS. Les opérateurs peuvent visualiser :

- État des commandes des signaux .
- État des zones de comptage.
- État des barrières optiques .
- État du mode manuel des aiguilles .
- État des positions des aiguilles .
- État de commandes des aiguilles .
- État des destructions d'itinéraire .
- État des itinéraires .
- Commande de formation d'itinéraire au dépôt .
- Commande de destruction d'itinéraire au dépôt .
- Commandes de réarmement de zone de comptag[17].

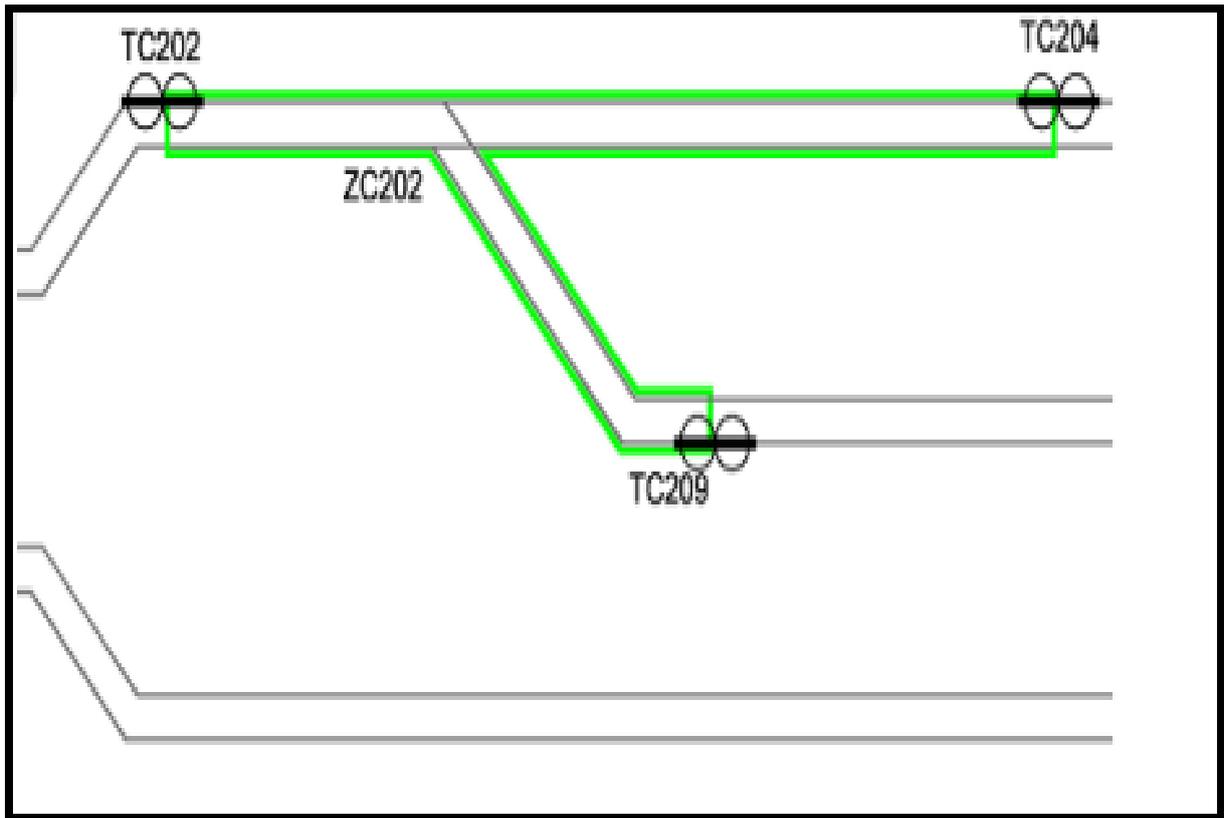
## **V .6- Utilisation du sous-système de signalisation :**

### **V .6.1-Détection des tramways :**

L'occupation de la zone de comptage ZC202 se fait par passage du premier essieu du tramway en entrée de zone de comptage (TC202 ou TC204 ouTC209). La libération s'effectue lorsque le système aura détecté le passage du dernier essieu en sortie de zone (TC202 ou TC204 ou TC209).

L'enclenchement reçoit pour chaque zone de comptage les informations suivantes :

- Libre .
- Occupée.
- Sans erreur .
- Avec erreur mineure[17].



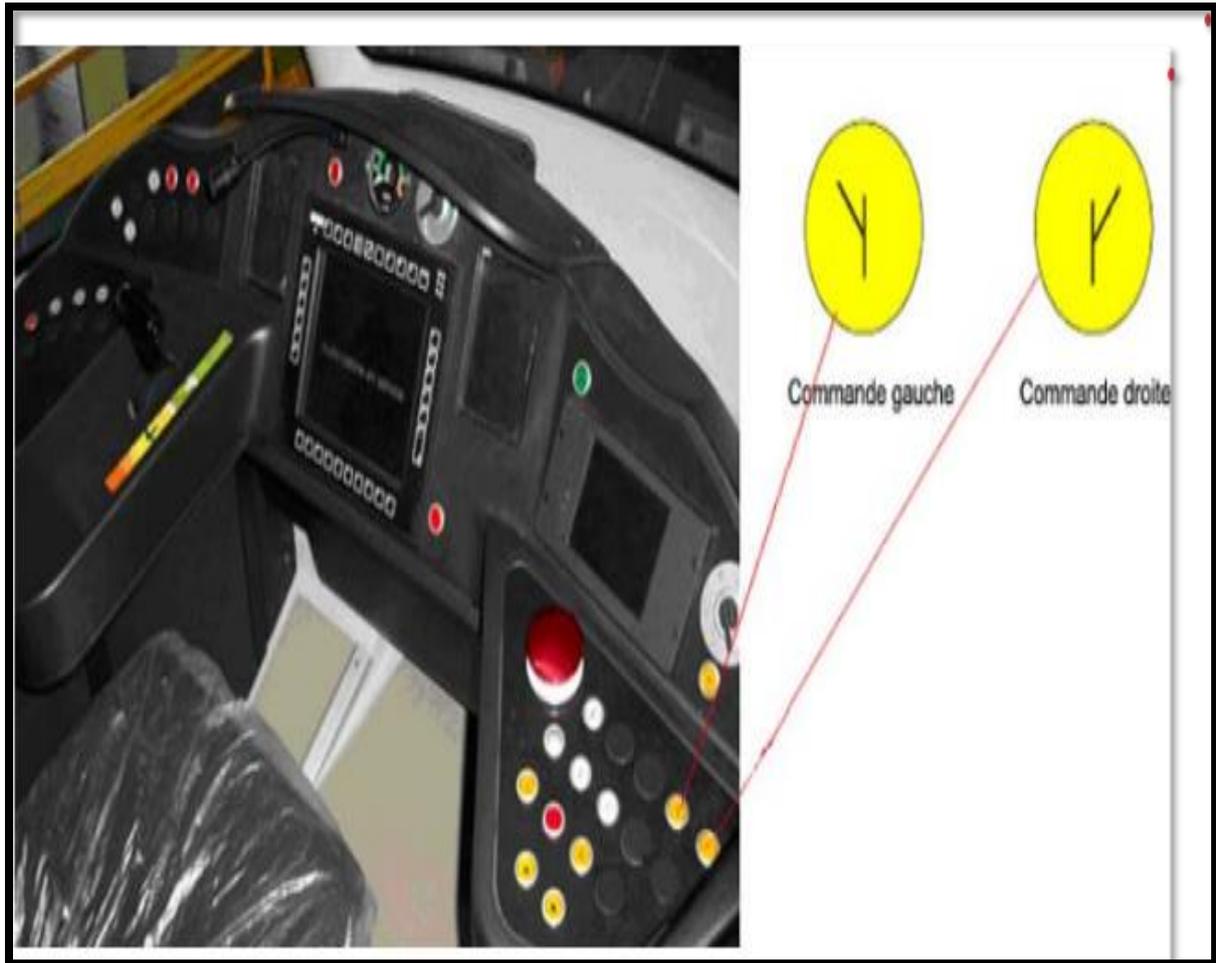
**Figure V-17:** Détection des tramways

### **V .6.2-La commande des mouvements du tramway :**

Des panneaux à la voie seront placés pour indiquer la présence des boucles dont la commande se fait en mouvement.

Les demandes seront faites:

- Entre 2 et 10 seconde avant de passer sur la boucle pour les demandes en mouvement.
- Soit a 2m du signal origine de l'itinéraire pour les demandes à l'arrêt(position d'arrêt)[17].



**Figure V-18 :** La commande des mouvements du tramway

---

# *Conclusion*

## **Conclusion :**

Cette étude présentée en 5 chapitres, avec une introduction générale et une conclusion, nous a permis de comprendre les différentes parties qui composent le réseau tramway de Constantine.

Bien que générale, cette étude nous a facilité la compréhension détaillée d'un réseau électrique de tramway avec ces différentes parties : réseau haute tension, réseau de postes de redressements, chaîne de traction-moteurs et enfin le réseau de signalisation. Les différentes parties sont détaillées avec le maximum d'explication et schémas. La partie chaîne de traction que nous voulions étudier en particulier a été traitée d'une manière globale. L'étude détaillée des schémas d'alimentation des moteurs électriques de traction prenant beaucoup de temps et d'espace mémoire pourra faire l'objet d'une attention particulière dans une prochaine approche dans un futur mémoire avec un prochain binôme d'étudiants. L'étude détaillée de la signalisation pourra également faire l'objet d'un sujet ou projet de fin d'étude à l'avenir.

# *Bibliographie*

## Bibliographie :

- [1] [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)
- [2] présentation d'entreprise SETRAM Constantine pour les stagiaires.
- [3] Études de conception PHT- SST-THT , Spécification fonctionnelle , tramway de Constantine.
- [4]. Cour de transformateur (Mécanique auto) université les Freres Mentouri Constantine.
- [5]. Études de conception, spécification fonctionnelle traction, Tramway de Constantine.
- [6]. **J.MAKIK & K.HARICHLI** , «Spécification d'alimentation externes pour équipements du tramway » ,thèse de Master ,Université Sidi Mohammad Ben Abdellah,(2013/2014).
- [7]. Spécification générale LAC.
- [8]. [https://eduscol.education.fr/sti/concours\\_examens/agrégation-externe-sii-2013-epreuve-commune-dadmissibilite-science-industrielles](https://eduscol.education.fr/sti/concours_examens/agrégation-externe-sii-2013-epreuve-commune-dadmissibilite-science-industrielles)
- [9]. Sujet de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur.
- [10]. Entrepris de réalisation d'exploitation du chemin de fer urbain pour l'agglomération d'Alger « Spécification fonctionnelle traction ».
- [11]. Projet de fin d'étude pour l'obtenir du diplôme de Master en électrotechnique « Étude des performances des moteurs asynchrone », « **Mr.Chiali , Mr.Hader** » Université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbés .
- [12]. **JEAN-CHRISTOPHE** « Générateur électrique » Paris-France ,2013.
- [13]. Spécification Technique et plans , Moteur de traction 4 HGA 1433 , ALSTOM Constantine.
- [14]. **GUY CHATEIGNER , DANIEL BOËS , JACQUES VILLANT , DANIEL VERKINDERE** « Manuel de génie électrique » Dunod, Paris,2006.
- [15]. **A.BENDAOU**, «Machines électriques à courant alternative »,notes de cours,2013,Université de Sidi Bel Abbés.
- [16]. Contribution a une approche patrimoniale pour la voie ferrée de tramway, thèse dirigée par **Fabien LEURENT , Paris,2020.**
- [17]. Support de formation – ORC SIG-1 Commande d'itinéraire, Tramway de Constantine .